

Dr hab. inż. Michał Kruk, prof. SGGW  
Instytut Informatyki Technicznej  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
ul. Nowoursynowska 159  
02-776 Warszawa

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Aleksandry Osowskiej-Kurczab pt.: „Uczenie maszynowe w zastosowaniu do różnicowania nowotworów nerek na podstawie obrazowania tomograficznego”, przygotowanej pod kierunkiem promotora prof. dr hab. inż. Tomasza Markiewicza w dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja. Recenzja została sporządzona w związku z powołaniem przez Radę Naukową Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Warszawskiej w osobie przewodniczącego rady - dra hab. inż. Jarosława Arabasa, prof. uczelni, zgodnie z Uchwałą nr 575/2023 z dnia 19.09.2023 roku, do pełnienia funkcji recenzenta w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych pani mgr inż. Aleksandrze Osowskiej-Kurczab.

## **1. Trafność wyboru tematyki pracy doktorskiej**

Praca mgr inż. Aleksandry Osowskiej-Kurczab, zatytułowana „Uczenie maszynowe w zastosowaniu do różnicowania nowotworów nerek na podstawie obrazowania tomograficznego”, przedstawia możliwość zastosowania metod sztucznej inteligencji do wspomagania diagnostyki medycznej nowotworów. Tematyka ma charakter interdyscyplinarny, gdyż łączy Informatykę Techniczną i Telekomunikację z Naukami Medycznymi. Połączenie takie ma prócz wartości naukowej również duże znaczenie społeczne, może w przyszłości znacząco przyspieszyć diagnostykę chorób nowotworowych i innych, wszędzie tam, gdzie brane jest pod uwagę obrazowanie TK. W mojej ocenie wybrany temat jest aktualny i istotny dla dyscypliny naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja.

## **2. Cel, teza i zakres pracy**

Celem pracy było opracowanie systemu automatycznej analizy obrazowania medycznego, mającego wspomagać diagnostykę siedmiu typów zmian chorobowych nerek, w tym czterech podtypów nowotworów złośliwych, dwóch łagodnych oraz torbieli. System bazuje na analizie wyników badania tomografii komputerowej, służącego lekarzom jako narzędzie lokalizacyjne guzów. Wykorzystano zbiór 254 wyników badań tomografii komputerowej z kontrastem, pochodzących od pacjentów z potwierdzoną patologią nerki poprzez badanie histopatologiczne, zebranych w ramach współpracy z Wojskowym Instytutem Medycznym. Ważne jest, że cel

pracy, którym jest stworzenie systemu klasyfikacji o dokładności dorównującej najlepszym, przytaczanym w literaturze, lecz o większej liczbie klas, został postawiony jasno i prawidłowo, a jego weryfikacja może zostać przeprowadzona w sposób ścisły. Również zakres pracy jest prawidłowy i właściwy podjętemu problemowi naukowemu.

Praca ma charakter zarówno badawczy, jak i aplikacyjny. W jej ramach zaproponowany i przetestowany został zestaw danych oraz modeli klasyfikacji tak, aby założone cele zostały zrealizowane.

Autorka postawiła 3 tezy:

- Teza 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.
- Teza 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 (ang. SOTA), ale przy znacznie większej liczbie reprezentowanych klas.
- Teza 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.

W mojej opinii tezy zostały zdefiniowane prawidłowo w oparciu o dogłębną analizę obecnego stanu wiedzy.

### 3. Struktura pracy

Praca zawiera siedem rozdziałów oraz sześć dodatków, w sumie 240 stron. W moim przekonaniu podział dość obszernej pracy na część główną oraz dodatki jest jak najbardziej zasadny, ponieważ pozwala skupić się na głównej tematyce, a szczegóły doczytać oddzielnie.

W **rozdziale pierwszym** zawarto wstęp, przedstawiono problem badawczy wraz z przeglądem literatury i aktualnym stanem wiedzy. Uważam, że przegląd literatury stanowi mocną stronę pracy. Zawiera pozycje klasyczne (nawet z 1936 roku) oraz bardzo aktualne, prezentujące najnowsze osiągnięcia nauki. Ciekawe jest zestawienie tabelaryczne prezentujące najnowsze wyniki w opisywanym problemie badawczym. Na końcu znajdują się prawidłowo postawione cel i tezy pracy. W **rozdziale drugim** opisano aspekty medyczne diagnostyki nowotworów oraz opisano dostępne dane badawcze. Tu również należy zwrócić uwagę, że opis zbioru danych należy do mocnych stron pracy. Odpowiednie przygotowanie zbioru danych uczących i testujących ma decydujący wpływ na wartość modeli klasyfikacyjnych i stanowi podstawę rzetelnej weryfikacji osiągniętych celów badawczych. Autorka pokazuje w pracy, że bardzo dobrze zdaje sobie z tego sprawę, dlatego podeszła do tematu w sposób wnikliwy i obszerny. W **rozdziale trzecim** przedstawiono metody przetwarzania i analizy obrazów, a w **czwartym** opisano modele uczenia maszynowego w zadaniach rozpoznawania obrazów. Rozdziały te stanowią

głównie opis teoretyczny stosowanych metod. **Rozdział piąty** zawiera opis modeli analizy, które wykorzystane zostały w pracy, przedstawia architektury, algorytmy analizy wzorców oraz ich różnicowania. Ważną część pracy badawczej przedstawia **rozdział szósty**. Prezentuje on wyniki eksperymentów z użyciem wcześniej opisanych metod oraz ich dyskusję, a także na ich podstawie prezentuje wnioski. W omawianym rozdziale Autorka umiejętnie i przejrzysto prezentuje wyniki oraz na ich podstawie wyciąga właściwe wnioski. Świadczy to o dużej dojrzałości Doktorantki i przygotowaniu do dalszej pracy badawczej. Rozdział ten zaliczam również do mocnych stron pracy. **Rozdział siódmy** jest podsumowaniem wyników oraz przedstawieniem głównych osiągnięć oryginalnych. Zaprezentowano również prace możliwe do wykonania w najbliższej przyszłości. Do pracy dołączono sześciopunktowy **dodatek**, w którym zawarto rozszerzenie analizy wyników oraz uszczegółowiono opis zawarte w rozdziale drugim i piątym.

#### 4. Główne osiągnięcia naukowe pracy

Do najważniejszych osiągnięć oryginalnych Autorki zaliczyłbym:

- **Zebranie, przygotowanie i weryfikacja zbioru danych.** Jak już wspomniałem, odpowiednio przygotowany zbiór danych jest kluczowy do dalszej budowy modeli klasyfikacyjnych. Autorka stanęła przed niebanalnym zadaniem, gdyż pisząc pracę w dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja, musiała w sposób rzetelny przygotować i co ważne zweryfikować dane medyczne. Na przygotowanym zbiorze danych zrealizowano analizę eksploracyjną oraz zaproponowano serię transformacji surowych danych wejściowych celem poprawy generalizacji wzorców danych.
- **Stworzenie i przetestowanie nowych cech diagnostycznych** – Autorka zaproponowała i zaimplementowała autorski zestaw cech - pozycyjnych i sekwencyjnych.
- **Przygotowanie modeli i architektur klasyfikatorów.**
- **Przygotowanie i implementacja zespołu klasyfikatorów.** Autorka przygotowała modele klasyfikatorów, połączyła je w zespół, opracowała metody selekcji jego członków oraz zaproponowała trzy niezależne metody głosowania na podstawie indywidualnych wskazań.
- **Opracowanie wiarygodnej metody ewaluacji systemów analizujących obrazowanie medyczne oraz przeprowadzenie analizy jakościowej wyników** – Autorka zaproponowała analizę wydajności systemów, która zapobiega wymianie informacji pomiędzy zbiorami oraz minimalizuje tendencyjność wyników. Na koniec Doktorantka przeprowadziła dogłębną analizę jakościową i ilościową wyników.

#### 5. Pytania i uwagi

- str. 63, Tabela 3.3 - brakuje wyjaśnienia części oznaczeń
- str. 64 – W pracy napisano: *W pracy rozważany jest jedynie przypadek zwiększania rozdzielczości obrazów w celu wzbogacenia informacji dostępnej w wejściowych obrazach.* – zastosowane w pracy metody zwiększenia rozdzielczości obrazu (np. metoda

dwusześcienna) poza metodą najbliższych sąsiadów powodują np. rozmywanie krawędzi. Wydaje się, że dodawanie pikseli pochodzących z interpolacji nie prowadzi do zwiększenia informacji w obrazie, a jedynie do zwiększenia ilości danych.

- Str. 67 – W pracy napisano: *metoda najbliższych sąsiadów może być jedynie traktowana jako podstawowy punkt odniesienia dla pozostałych bardziej zaawansowanych matematycznie metod*. Metoda najbliższych sąsiadów jest nie tylko metodą podstawową, jest przydatna np. wszędzie tam, gdzie następuje wielokrotna zmiana rozdzielczości (np. wielokrotne pomniejszanie i powiększanie), w przypadku innych metod obraz wtedy rozmywa się. Oczywiście z punktu widzenia percepcji człowieka efekt końcowy jest słabszy, ale metoda ta jest odwracalna i nie wprowadza do obrazu szumu.
- Str. 71-72 - macierz współjawnień - czy wyznaczana była dla wszystkich poziomów jasności, czy też zostały one zredukowane?
- Str. 116 - Tworzenie maski binarnej. Dlaczego tworzenie maski binarnej odbywa się najpierw przez interpolację konturu, który jest już znany? Dodatkowo, później następuje wyliczenie obszaru maski - dlaczego nie użyto np. wypełniania obszaru dla narysowanego konturu?
- Str. 187 – W pracy napisano: *Cztery wymienione metody (cechy statystyczne, kształtowe, pozycyjne, sekwencyjne) są narzędziami wcześniej nieanalizowanymi w literaturze dotyczącej obrazów medycznych*. Czy na pewno wymienione rodziny cech nie pojawiają się w literaturze dotyczącej przetwarzania obrazów medycznych? W rozprawie doktorskiej prof. Markiewicza i późniejszych jego pracach zarówno cechy statystyczne, jak i kształtowe pojawiają się często.

## 6. Ocena końcowa rozprawy

Moja ocena pracy doktorskiej jest jak najbardziej pozytywna. Rozprawa od strony redaktorskiej jest bardzo starannie napisana, nie zauważyłem literówek i innych błędów edytorskich. Podział pracy na siedem rozdziałów i dodatki jest przejrzysty. Wykresy i rysunki są czytelne, odpowiednio opisane i podpisane. Recenzowana praca świadczy o umiejętności samodzielnego formułowania i rozwiązywania problemów naukowych przez jej Autorkę, która wykazała, że dysponuje dużą wiedzą pozwalającą na przygotowanie i przeprowadzenie badań doświadczalnych, a także posiada solidne podstawy teoretyczne. Recenzowana rozprawa doktorska opisuje oryginalny, nietrywialny oraz ważny społecznie i ważny z punktu widzenia dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja problem naukowy. Pani mgr inż. Aleksandra Osowska-Kurczab przedstawiła oryginalne rozwiązanie istotnego problemu naukowego. Uzyskane przez nią wyniki są osiągnięciem naukowym o wysokiej randze. Spełnia ona również w mojej ocenie wszystkie wymogi zawarte w aktualnie obowiązującej Ustawie w sprawie warunków i trybu przeprowadzania przewodów doktorskich i może być przedmiotem publicznej obrony. Dodatkowo **wniosuję do Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja o nadanie wyróżnienia pracy pani mgr inż. Aleksandry Osowskiej-Kurczab.**

Michał Kwiek