

Recenzja rozprawy doktorskiej

Marka Sochy

pt. Computer-assisted detection and quantification of low-attenuation lung patterns in CT studies of COPD patients

Prof. dr hab. inż. Robert Cierniak
Politechnika Częstochowska
Katedra Sztucznej Inteligencji

Częstochowa, 11. grudnia 2025r.

Niniejsza recenzja została przygotowana stosownie do Uchwały nr 133/2025 Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacji Politechniki Śląskiej, pismem z dnia 24. czerwca 2025 roku.

Ocena rozprawy doktorskiej

1. Uwagi wstępne

Zakres recenzowanej rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Marka Sochy dotyczy opracowania technik z obszaru zastosowania algorytmów przetwarzania obrazów, czyli w swojej naturze zagadnienia z zakresu informatyki. Główny problem badawczy ujęty w niniejszej pracy dotyczy poszukiwania metod przetwarzania i wykorzystania danych pomiarowych pochodzących z rentgenowskiej tomografii komputerowej CT do określenia stopnia rozedmy płucnej u pacjentów z przewlekłą obturacyjną chorobą płuc (POChP). Konstruowane w ramach pracy algorytmy miały za zadanie lokalizację zmian w płucach na obrazach CT i określenie tych zmian w sposób obiektywny z wykorzystaniem miar. Zasadniczą motywacją dla podjęcia się tego wyzwania dla Doktoranta było szerokie rozpowszechnienie choroby płuc o powyżej wspomnianej naturze i staraniami, aby zmniejszyć uciążliwość życia ludziom nią dotkniętym, w czym pomóc ma opracowanie nowych metod diagnostycznych w tym kierunku. Głównym wyzwaniem związanym ze sformułowaniem wydajnych i skutecznych podejść

diagnostycznych w tym zakresie jest niska kontrastowość obrazów tomograficznych w obszarze płuc, komplikująca w analizowanych obrazach istniejące okoliczności obecność oskrzeli, wysoka zmienność osobnicza pacjentów, duże zróżnicowanie tkanek w obserwowanym polu. Wobec rozwiązań technicznych związanych z powyższym problemem stoi zadanie, aby na podstawie obrazów CT klatki piersiowej opracować odpowiednie procedury algorytmiczne, które pozwoliłyby na wiarygodną ocenę umiejscowienia zmian w płucach i wyznaczyłyby w miarę obiektywną ocenę istniejących zwyrodnień, pomimo występowania powyżej zakreślonych obiektywnych trudności. W pracy użyto zaawansowanych algorytmów przetwarzania sygnałów i ich analizy, aby spełnić wszystkie zakładane cele, co sprawia, że w świetle powyżej zarysowanego kontekstu należy uznać, że wyzwania stojące przed Doktorantem w określonym przez Niego obszarze są naukowo istotne. Należy zatem uznać wysiłki naukowe i inżynierskie Kandydata do stopnia naukowego doktora, które są ujęte w Jego pracy, za w pełni umotywowane.

Dodatkowo nie można zaprzeczyć, że pola zastosowań proponowanych rozwiązań dotyczą bardzo szerokiego spektrum kompetencji w obszarze dwóch podstawowych dyscyplin, tj. medycyny i informatyki, co w sumie mogłoby wskazywać na bezpośrednie odniesienie pracy do dyscypliny inżynieria biomedyczna. Jednakże dysertacja niniejsza kładzie główny nacisk na rozwijanie wątków związanych z rozwiązaniami algorytmicznymi, co sprawia, że klasyfikacja tejże pracy jako mieszczącej się w dyscyplinie naukowej informatyka techniczna i telekomunikacja jest w pełni uzasadniona.

Podsumowując, problem badawczy, przed którym stanął mgr inż. Marek Socha należy uznać za wymagający na wielu płaszczyznach, naukowych i praktycznych, dotykając w swojej naturze dyscypliny informatyki technicznej i telekomunikacji, w szczególności w zastosowaniu do konkretnego problemu medycznego. W tym sensie perspektywicznie praktyczną stronę niniejszej pracy należy szczególnie podkreślić.

2. Zawartość rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Marka Sochy pt. *Computer-assisted detection and quantification of low-attenuation lung patterns in CT studies of COPD patients* została napisana w języku angielskim i zajmuje w sumie 123 strony. Praca składa się z części zatytułowanej *Introduction*, w którym Autor przedstawił swoją motywację, aby zająć się tytułową tematyką, cele pracy, postawione tezy badawcze i strukturę dysertacji. Rozdział 2. pokrótce omawia podstawy technik obrazowania CT, w szczególności jej odniesienie do tytułowego

zagadnienia. Rozdział 3. to zaprezentowanie fundamentów medycznych stojących za formułowanym zadaniem badawczym postawionym w pracy. W Rozdziale 4. wprowadzono opis materiału badawczego, na którym bazowały wykonane w ramach badań eksperymenty. W Rozdziałach 5, 6, 7 i 8 Doktorant pokazuje swoje autorskie dokonania. W szczególności w ramach Rozdziału 5 pokazuje On zastosowane metody segmentacji obrazów płuc, w Rozdziale 6. metody segmentacji dróg oddechowych w celu ich ekstrakcji, w Rozdziale 7. zastosowane podejścia do segmentacji wzorców charakteryzujących się niskim współczynnikiem rozproszenia, a w Rozdziale 8. wdrożone przez Niego podejścia do obiektywnej oceny wykrytych zmian patologicznych w płucach. Praca podsumowana jest w Rozdziale zatytułowanym jako *Summary*, gdzie znalazły miejsce elementy podkreślenia oryginalnych dokonań Doktoranta, które zostały uzyskane w ramach Jego pracy. Dysertację uzupełniają: wykaz bibliograficzny 233 pozycji literaturowych spis ilustracji i tabel.

3. Ocena pracy

W mojej ocenie recenzowana praca Pana Mgr inż. Marka Sochy posiada znaczącą wartość naukową, jak i określony charakter praktyczny, gdyż prezentowane w ramach niniejszej dysertacji rozwiązania znalazły bezpośrednie zastosowanie w konkretnym zastosowaniu z zakresu wybranej jednostki chorobowej, tj. odmy płucnej. Po lekturze niniejszej pracy nasuwa się nieodparte wrażenie, że Doktorant musiał na wstępie realizacji swoich zamierzeń badawczych przejść głębokie studia nad dziedziną problemu, w tym przypadku fizjologicznymi i fizjonomicznymi uwarunkowaniami funkcjonowania systemu oddechowego człowieka, co znajduje swoje odzwierciedlenie w wielu miejscach opisu Jego dysertacji.

Rozdział 2. wprowadza czytelnika w zagadnienia związane z techniką obrazowania, czyli rentgenowskiej tomografii komputerowej, na podstawie której powstają dane, które są produktem wejściowym dla badań naukowych prezentowanych w niniejszej pracy. Rozumiejąc, że zaprezentowany tam materiał poznawczy miał stanowić jedynie zarysowanie ogromnej istniejącej wiedzy na ten temat, trzeba zwrócić jednak uwagę na kilka niedostatków podanego opisu. W moim przekonaniu w punkcie 2.2. powinien znaleźć miejsce zapis formuły na wyznaczenie wartości w skali Hounsfielda na podstawie wartości fizycznych współczynników rozpraszania promieniowania. Poza tym często błędnie określa się w całej pracy od punktu 2.6 parametr determinujący dawkę promieniowania zaabsorbowaną przez pacjenta jako „mA” zamiast prawidłowego zapisu mAs. W punkcie 2.7 mylnie zapisano firmę Toshiba jako jednego z producentów aparatów CT, aktualnie jest to firma Canon. W punkcie

2.8 podana jest bardzo kontrowersyjna definicja jądra splotu stosowanego w algorytmach rekonstrukcyjnych. Poza tym Rysunek 2.1b jest stanowczo zbyt niewyraźny, zwłaszcza napisy w nim umieszczone.

W Rozdziale 3. znalazł miejsce dość wyczerpujący opis zagadnienia, którym zajął się Doktorant, tym razem z biologicznego (medycznego) punktu widzenia. Lektura tej części daje nawet niezorientowanemu głęboko w tej problematyce czytelnikowi wystarczający pogląd o naturze problemów, aby był on w stanie właściwie ocenić techniczne aspekty poruszane w niniejszej dysertacji.

Następnie, w bardzo skromnym Rozdziale 4. Doktorant odniósł się do materiału badawczego, którym posługiwał się On w trakcie prac badawczych, czyli bazy danych z obrazami tomograficznymi płuc wraz z medycznym opisem. Jest poniekąd zrozumiałe, że rozdział ten jest ekstremalnie krótki, ale pytanie brzmi: czy nie można go było połączyć np. z Rozdziałem 2.?

Rozdziały 5-8 stanowią o fundamentalnych dokonaniach Doktoranta w ramach prac prowadzonych w trakcie realizacji swoich zamierzeń badawczych.

W szczególności Rozdział 5. traktuje o pierwszym etapie przetwarzania obrazów tomograficznych, w całej procedurze automatycznego wykrywania i określenia natężenia odmy płucnej. Etap ten to w istocie zadanie segmentacyjne, którego celem jest wyodrębnienie z obrazów klatki piersiowej tkanek związanych z płucami, w taki sposób, aby maksymalnie wyeliminować zachodzenie na płuca sąsiednich organów i struktur anatomicznych. Warto zwrócić uwagę, że nie wyodrębnia się w tym momencie naczyń krwionośnych w obrębie płuc i oskrzeli. Po bardzo obszernie zaprezentowanym stanie wiedzy w zakresie stosowanych podejść segmentacyjnych w tym zastosowaniu, Doktorant przechodzi do opisu użytych przez Niego metod. W tej liczbie wymienia On metodę Otsu, algorytm wzrostu regionów (ang. *region-growing algorithm*), algorytm szybkiego marszu (ang. *Fast Marching algorithm*) i zastosowanie głębokiej sieci neuronowej typu U-net 2D. Wizualne rezultaty przeprowadzonych symulacji zaprezentowane są przy okazji omawiania tych podejść. W części tej w moim odczuciu brakuje głębszej krytycznej dyskusji nad zastosowaniem poszczególnych podejść do segmentacji w tym konkretnym medycznym przypadku. Może również dziwić skromna liczba jedynie czterech użytych metod przy tak dużej istniejącej liczbie alternatyw.

W Rozdziale 6. zaprezentowano zaproponowany przez Kandydata do stopnia naukowego doktora etap przetwarzania obrazów CT, tj. wyodrębnienie z tych obrazów dróg oddechowych, głównie oskrzeli, w celu ich usunięcia z obrazów do dalszej analizy lub w celu analizy tych właśnie dróg oddechowych pod kątem istniejących tam zmian. W pierwszej kolejności w pracy

zastosowano segmentację śródpiersia, później segmentację tchawicy. Następnie Doktorant pokrótce opisał segmentację elementów o niskim i wysokim współczynniku rozpraszania. Wspomniał On o użyciu modelu GMM, ale niestety nie prezentuje w tym miejscu tej techniki, natomiast czyni to później, przy innej okazji w punkcie 7.2.2, dość dokładnie go wprowadzając (dlaczego taka konstrukcja?). Potem Autor wyjaśnia tworzenie obrazu mapy szybkości. W tym miejscu wykorzystuje On aparat matematyczny skupiony na wyznaczaniu wartości własnych Hessianu. Występuje tutaj szereg potknięć w narracji: odwołania do poszczególnych wzorów jest bardzo nieczytelne, a jedno z tych referencji opatrzone jest znakami zapytania. Poza tym niejasne jest wprowadzenie związku (6.2), którego wynik nie jest później w ogóle użyty w tekście pracy. Kontynuacja wywodów w dalszej części tego rozdziału dotyczy generowania punktów początkowych dla segmentacji metodą szybkiego marszu, którego rezultaty są korygowane przez segmentację z użyciem ścian dróg oddechowych i sprawdzane. Czynności te są zaprezentowane w zanadto zdawkowy sposób, aby poznać całość problemów napotykanych z użyciem różnych podejść i technik. Rozdział kończy się prezentacją wyników symulacyjnych i wnioskami. Nie jest jasne w jaki sposób oceniana jest jakość segmentacji, jaki jest wzorzec.

Należy uznać, że Rozdział 7. wraz z Rozdziałem 8. stanowią główną część pracy. W Rozdziale 7. Doktorant omawia swoje wysiłki badawcze ukierunkowane na opracowanie skutecznych metod segmentacji w przypadku wzorców umiejscowionych w płatach płucnych, charakteryzujących się małym współczynnikiem rozpraszania promieniowania rentgenowskiego. W tym celu przysposobił On dwa podejścia, oba wykorzystujące tzw. *Gaussian Mixture Models*. Wypracowane przez Autora procedury przetwarzania obrazów zawierają etap preprocessingu, etap dekompozycji z użyciem właśnie techniki GMM, fazę grupowania i w zależności od zastosowania danego podejścia różne wydania etapu tworzenia funkcji przynależności i wyprowadzenie progów odcięcia. W toku analizy treści tego rozdziału powstają następujące wątpliwości:

1. Nie jest jasne co oznacza sformułowanie uwarunkowania pojawiającego się w pierwszym zdaniu drugiego akapitu na stronie 55;
2. Brak udokumentowania, że metoda zaprezentowana w punkcie 7.3.2 to *Expectation Maximization* a nie *Maximum Likelihood*;
3. Nie wyjaśniono co oznacza n (N) i x_n we wzorach od (7.3);
4. Czy w opisie w punkcie 7.3.3 liczba n odnosi się do n z punktu 7.3.2;
5. Czy w opisie w punkcie 7.3.4 oznaczenie k odnosi się do GMM;

Należy podkreślić, że na zakończenie prezentacji zastosowanych w tym rozdziale podejść zamieszczono bardzo wyczerpującą analizę krytyczną tych metod i wyczerpującą prezentację uzyskanych wyników.

W Rozdziale 8. Kandydat do stopnia naukowego doktora prezentuje swoje dokonania w zakresie tworzenia metod pozwalających na ocenę ilościową zmian o charakterze odmy. W tym celu wykorzystano wyniki uzyskane w Rozdziale 7. Na wstępie aktualnie branego pod uwagę rozdziału zaproponowano systematykę istniejących w tym względzie podejść o przekonującej formie. W przypadku oryginalnego dokonania Doktoranta procedura oceny ilościowej zmian wykonywana jest w procedurze zawierającej kilka faz, w tym: rozdzielenie regionu zainteresowania na kilka masek z zastosowaniem metody *k-menas*, ekstrakcję cech obrazu w tych maskach i utworzenie wektorów cech, preprocessing, w tym standaryzację danych i zmniejszenie rozmiarowości (PCA, metody UMAP, określenie istotności cech z wykorzystaniem normalnej sieci neuronowej). Rozdział kończy się dość wyczerpującą prezentacją uzyskanych wyników i krytyczną dyskusją nad zastosowanymi metodami, w tym w szczególności cech w najbardziej odpowiedni sposób wpływających na ocenę zmian przy zastosowaniu konkretnych podejść UMAP.

Należy jednoznacznie w tym miejscu podkreślić, że do swoich badań Kandydat do stopnia naukowego doktora przystąpił z pełną świadomością praktycznego wymiaru swoich zamierzeń naukowych i technicznych. Z tą świadomością rozpoczął On wysiłki naukowe i inżynierskie od sformułowania metodologii badawczej, w ramach której natknął się On na specyficzne problemy, z którymi poradził sobie zgodnie z zasadami stosowanymi w nauce. Zgodnie z aktualnie panującymi standardami Doktorant rozpoczął od dogłębnego zaznajomienia się z uwarunkowaniami medycznymi, które dotyczą problematyki diagnozowania zmian typu odmy płucnej. Następnie dobrał On odpowiednie metody wstępnego przetwarzania danych, by doprowadzić je do stanu, w którym mogą zostać wykorzystane do przeprowadzenia podstawowych dla budowanego systemu procesów segmentacji obrazów klatki piersiowej z użyciem CT. Trzeba podkreślić, że w trakcie swoich naukowych peregrynacji Doktorant wybierał odpowiednie narzędzia i metody rozwiązywania problemów z pełną świadomością celów i konkretnych napotykanym uwarunkowań. Wykazał się On przy tym bardzo dużą wiedzą o istniejących możliwościach w tym względzie (bardzo wyczerpujący przegląd literatury istniejącej w tym zakresie).

Przeprowadzona analiza głównych i pobocznych wątków badawczych zawartych w ocenianej tutaj pracy doktorskiej, z podkreśleniem własnego oryginalnego wkładu Doktoranta w powstanie prezentowanych metod detekcji oceny zmian patologicznych w obrębie płuc,

pozwała stwierdzić, że zaproponowane przez Doktoranta rozwiązania stanowią wartościowy dorobek naukowy i techniczny, z podkreśleniem ich użyteczności. Należy podkreślić szeroką gamę kompetencji posiadanych przez Doktoranta, które pozwoliły na sformułowanie złożonych metod oraz twórczą adaptację znanych wcześniej podejść. Praca Pana mgr. inż. Marka Sochy charakteryzuje się entuzjazmem Autora, a Jego wysiłki najwyraźniej skupiają się na chęci zastosowania uzyskanych wyników w praktyce. W takim sensie pracę oceniam bardzo wysoko.

Szczegółowe uwagi krytyczne w stosunku do treści zawartych w dysertacji zostały już wcześniej przytoczone, jednakże warto odnieść się do zarzutów o charakterze ogólnym, w szczególności dotyczy to braku dostatecznej dbałości w przedstawianiu merytorycznych aspektów poruszanych w pracy (odnośniki do wyrażeń matematycznych, braki w wyjaśnieniu użytych zmiennych), w kilku miejscach brakuje wyjaśnienia, dlaczego Autor zdecydował się na zastosowanie wybranych metod, a inne pominął, a później nie dokonał głębokiej analizy krytycznej obranych opcji (dotyczy to w szczególności Rozdziałów 5. i 6.).

Powyższe uwagi nie umniejszają jednak znaczenia przeprowadzonych przez Doktoranta badań w poszczególnych elementach składowych i ich znaczenia naukowego i praktycznego.

Godne skomentowania jest również strona redakcyjna niniejszej pracy. Praca jest przejrzysta, Kandydat w systematyczny sposób wprowadza w niuanse swoich rozważań, od naszkicowania dziedziny problemu i zagadnień podstawowych, przechodząc następnie do szczegółowego omówienia zbudowanych przez siebie eksperymentów naukowych. W ogólnym zarysie praca prezentuje metodologiczną poprawność pod względem scenariusza prezentacji danego zagadnienia badawczego. Jakkolwiek w trakcie analizy zawartości dysertacji zauważono nieliczne uchybienia w stosunku do edycji tekstu, to jednak nie zmienia to ogólnie pozytywnego odbioru pracy pod względem edytorskim.

Stwierdzam w tym miejscu, że praca Pana mgr. inż. Marka Sochy zatytułowana: *Computer-assisted detection and quantification of low-attenuation lung patterns in CT studies of COPD patients* uzyskała u mnie pozytywną ocenę i może **być przyjęta jako podstawa dopuszczenia do obrony pracy.**

Uwagi końcowe

Z uwagi na pozytywną ocenę rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Marka Sochy uważam, że jako Kandydat do uzyskania stopnia naukowego doktora spełnia On wymagania stawiane przez Ustawę: Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dz. U. 2023, poz. 742 z późn. zm.) osobom ubiegającym się o ten stopień naukowy w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie

informatyka techniczna i telekomunikacja. **Stawiam wniosek o dopuszczenie Pana mgr. inż. Marka Sochy do obrony pracy doktorskiej.**

Robert Cierniak