



PODPIS ZAUFANY

JOANNA
CZAJKOWSKA

25.10.2024 08:29:11 (GMT+2)

Dokument podpisany elektronicznie
podpisem zaufanym

Dr hab. inż. Joanna Czajkowska, prof. PŚ

Katedra Informatyki Medycznej
i Sztucznej Inteligencji
Wydział Inżynierii Biomedycznej
ul. Roosevelta 40
41-800 Zabrze

Zabrze, 25.10.2024 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej

Tytuł rozprawy:

Zastosowanie metod analizy fraktalnej do oceny guzów płuc w obrazach PET/MRI

Autor rozprawy: mgr inż. Ewelina Bębas

Promotor rozprawy: dr hab. Edward Oczeretko, prof. PB

Promotor rozprawy: prof. dr hab. inż. Jolanta Pauk

Promotor pomocniczy: dr inż. Marta Borowska

Dziedzina: nauk inżynieryjno-technicznych

Dyscyplina: inżynieria biomedyczna

Recenzja została przygotowana w związku z uchwałą nr 4/2024-2028 Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Białostockiej z dnia 25.09.2024 r, działającej na podstawie art. 28 ust. 4, art. 178 ust. 1 pkt 1 w zw. Z art. 185 ust 1 pkt 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz.U. z 2023 r. poz. 742), § 39 a ust. 1 pkt 1 Statutu Politechniki Białostockiej (tj. z dn. 29 czerwca 2023 r.) oraz § 15 ust. 2 pkt 3 „Zasad przeprowadzania postępowania w sprawie nadania stopnia doktora w Politechnice Białostockiej”. Zgodnie z uchwałą Rada Naukowa Wydziału Mechanicznego Politechniki Białostockiej powołała mnie na recenzenta w przewodzie doktorskim mgr inż. Eweliny Bębas.



Politechnika Śląska
Wydział Inżynierii Biomedycznej
Katedra Informatyki Medycznej i Sztucznej Inteligencji
ul. Roosevelta 40, pok. 216, 41-800 Zabrze
+48 32 277 74 67
joanna.czajkowska@polsl.pl



1. Temat, zakres i cel rozprawy

Przedłożona rozprawa doktorska porusza temat zastosowania metod analizy fraktalnej do oceny guzów płuc w obrazach PET/MRI (pozytonowej tomografii emisyjnej/rezonansu magnetycznego), co lokuje ją w obszarze deklarowanej dyscypliny. **Celem rozprawy było opracowanie metod wspomagających diagnostykę podtypów niedrobnokomórkowego raka płuc (NSCLC, ang. non-small cell lung cancer).** Autorka zaproponowała rozwiązania związane z wykorzystaniem zaawansowanych technik analizy tekstury i fraktalnej. Badania przeprowadzono na grupie pacjentów z NSCLC, stosując hybrydowe obrazy PET/MRI, które przetworzono w kilku etapach: standaryzacji, segmentacji oraz filtracji obrazów. Następnie wyodrębniono szereg cech istotnych w różnicowaniu podtypów NSCLC. Metodyka i eksperymenty są sformułowane i opisane poprawnie, a uzyskane wyniki ilościowe uzasadniają przyjęte założenia.

Rozprawa napisana jest w języku polskim. Zawiera 132 strony uzupełnione trzema dodatkami o łącznej liczbie 29 stron. Główna część rozprawy została podzielona na sześć rozdziałów. W pracy zamieszczono również wykazy skrótów oraz używanych oznaczeń parametrów. Bibliografia jest obszerna i obejmuje 181 pozycji, ale tylko dwie prace, których autorką jest Doktorantka. 46 pozycji datowanych jest na trzecią, a 82 na drugą dekadę XXI wieku, co sugeruje, że praca dotyczy aktualnych problemów analizy obrazów.

Pracę **rozpoczyna wprowadzenie**, w którym Autorka przedstawiła motywację podjęcia badań oraz sformułowała ich cel: **przedstawienie nowych narzędzi analitycznych wspierających automatyzację procesu różnicowania raka gruczołowego i raka płaskonabłonkowego w oparciu o diagnostykę obrazową metodą PET/MRI.**

W **rozdziale 1.** zatytułowanym „Stan Wiedzy” Autorka wprowadza czytelnika w poruszane zagadnienia opisując stosowane protokoły diagnostyczne niedrobnokomórkowego raka płuc oraz aktualne kierunki badań nad rozwojem diagnostyki obrazowej w rozpoznaniu nowotworów płuc. Szeroko opisane są **medyczne aspekty problemu oraz wykorzystywane techniki obrazowania.** Autorka wyjaśniła znaczenie tytułowej techniki PET/MRI we współczesnej diagnostyce nowotworów płuc. Bardzo szeroko opisane zostały parametry tekstury wykorzystywane w obrazowaniu medycznym. Następnie scharakteryzowane zostały główne aspekty analizy fraktalnej. Pomimo, iż tytuł podrozdziału brzmi „Analiza fraktalna w obrazowaniu medycznym” autorka przedstawia tu jedynie ogólne zastosowanie fraktali w analizie obrazów. Dalej opisane zostały popularne algorytmy klasyfikacji danych. Rozdział podsumowuje fragment dotyczący metod oceny skuteczności algorytmów klasyfikacyjnych. W rozdziale tym zabrakło analizy algorytmów komputerowego wspomagania diagnostyki nowotworów płuc w obrazach PET/MRI lub innych obrazach radiologicznych, opisywanych w literaturze.

W **rozdziale 2. zdefiniowano cel i tezy pracy.** Autorka wspomina, iż „żadna z prac nie analizuje różnicowania pomiędzy rakiem gruczołowym i płaskonabłonkowym za pomocą rezonansu magnetycznego z pozytonową tomografią emisyjną przy użyciu analizy tekstury”. W pracy nie przytoczono jednak do tej pory, żadnego podejścia do analizy obrazów w diagnostyce tytułowego raka niedrobnokomórkowego, do którego wyników można by się odnieść.

Celem głównym pracy jest wspomniana już uprzednio klasyfikacja podtypów NSCLC na podstawie analizy teksturalnej i fraktalnej obrazów PET/MRI płuc. Autorka definiuje również cele szczegółowe pracy, które obejmują: „1) różnicowanie ADC (raka gruczołowego) i SCC (raka płaskonabłonkowego) płuc w oparciu o analizę obrazów PET/MRI poprzez: a) identyfikację różnic w parametrach tekstury, b) ocenę wpływu filtracji na parametry tekstury, c) identyfikację różnic w parametrach fraktalnych, d) ocenę wpływu filtracji na parametry fraktalne; 2) opracowanie modelu klasyfikacji podtypów NSCLC wykorzystującego metody ucze-

nia maszynowego w tym: a) selekcję parametrów tekstury i parametrów fraktalnych istotnych dla klasyfikacji ADC i SCC płuc, b) wybór optymalnego algorytmu uczenia maszynowego na podstawie oceny skuteczności klasyfikacji." Zdefiniowane zostały również dwie tezy pracy, brzmiące następująco: „**1. Możliwa jest detekcja złożonych cech charakteryzujących nowotwory złośliwe płuc z obrazów PET/MRI poprzez zastosowanie procedur analizy fraktalnej i analizy tekstury. 2. Zastosowanie hybrydowego modelu klasyfikacji, łączącego metody uczenia maszynowego z analizą fraktalną i tekstury, poprawia dokładność i precyzję klasyfikacji złośliwych nowotworów płuc.**” Pierwsza z tez sformułowana jest poprawnie, podczas gdy w drugiej brakuje informacji względem czego nastąpi poprawa.

Materiał badawczy oraz metody analizy opisane zostały w rozdziale 3. Wspomniano również, że badania zrealizowano w ramach projektu finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach Programu "Profilaktyka i leczenie chorób cywilizacyjnych" – STRATEGMED, co niewątpliwie podkreśla wagę podejmowanego w rozprawie problemu i dobrze świadczy o założeniach rozprawy. Autora nie opisała jednak charakteru swojego udziału w tym projekcie.

W pracy przeprowadzono badania eksperymentalne dla **45 pacjentów ze zdiagnozowanym rakiem gruczołowym i płaskonabłonkowym**. Badania te obejmowały obrazowanie rezonansu magnetycznego z pozytonową tomografią emisyjną. Autorka przytoczyła kryteria włączenia oraz charakterystykę badanej grupy. Dalej opisany został protokół akwizycji obrazów oraz ich podstawowe parametry. W badaniach rezonansu magnetycznego wykorzystano sekwencje T2_HASTE (ang. half fourier acquisition single shot turbo spin echo) oraz VIBE (ang. volumetric interpolated breath-hold examination) – obrazowanie morfologiczne, a podczas badania PET zastosowano radioizotop 18F-FDG – obrazowanie funkcji metabolicznych.

Obrazy PET/MRI wykorzystano do identyfikacji nowotworu, natomiast dalszą analizę teksturalną i fraktalną przeprowadzono na obrazach MRI.

Jako etap przetwarzania wstępnego zaproponowano prostą, półautomatyczną metodę segmentacji za pomocą progowania Otsu. Kolejnym krokiem była filtracja obrazów z wykorzystaniem filtru normalizującego, uśredniającego oraz wyostrzającego, a także filtru dodającego szum gaussowski. Wprowadzenie tego ostatniego służyło testowaniu metod analizy obrazów w obecności zakłóceń.

Kolejne dwa podrozdziały dotyczą obliczania parametrów tekstury oraz fraktalnych, a właściwie ich wywołania z poziomu języka Python.

Główna, w zasadzie najważniejsza część rozprawy znajduje się w **podrozdziale 3.5.1**, w którym Autorka **proponuje nowy parametr analizy tekstury, a mianowicie fraktalny wskaźnik zmienności skalowej (FSVI)**. Opisana metoda została przetestowana na generowanym sztucznie zbiorze danych. W trakcie eksperymentów do generowania obrazów wykorzystano ułamkowe ruchy Browna (fBm).

Rozdział kończy informacja odnośnie implementacji algorytmów selekcji cech, co jednak nie jest typowym elementem rozpraw doktorskich. Interesujące byłoby raczej szczegóły dotyczące metodyki doboru parametrów poszczególnych algorytmów.

Wyniki przeprowadzonych eksperymentów opisane zostały w **rozdziale 4**. Autorka podzieliła rozdział na cztery części. Struktura dwóch pierwszych jest podobna. W obydwu wykorzystano test t-studenta do sprawdzenia czy wyekstrahowane cechy różnią się pomiędzy grupami ADC i SCC, i czy te różnice są istotne statystycznie. **W pierwszej części autorka porównuje jedynie cechy tekstury podczas gdy w części drugiej przeanalizowane zostały również parametry fraktalne.** Na podstawie przytoczonych wyników można stwierdzić, że istnieją cechy tekstury oraz fraktalne, które statystycznie różnią się pomiędzy dwoma analizowanymi typami nowotworów. Niestety wprowadzony przez autorkę parametr FSVI nie wykazuje istotnych różnic pomiędzy podtypami NSCLC. Jego dalsze wykorzystanie budzi zatem pewne wątpliwości.

Trzecia część rozdziału dotyczy metody selekcji cech. Autorka posłużyła się metodą lasów losowych. Wybór metody nie jest jednak w żaden sposób uargumentowany. Na podstawie wyników selekcji cech, do

dalszej analizie wybrano czterdzieści najbardziej znaczących cech. Porównano wyniki analizy cech teksturowych oraz połączonych cech teksturowych i fraktalnych. Dodatkowo autorka przeanalizowała cechy obrazów poddanych filtracji oraz zaszumionych.

W części czwartej opisane zostały wyniki klasyfikacji obrazów do dwóch grup, w oparciu o przygotowane uprzednio zbiory cech. **Przeanalizowano wyniki klasyfikacji z użyciem różnych klasyfikatorów.** Najwyższą skutecznością cechował się klasyfikator SVM w analizie połączonych zbiorów cech tekstury oraz fraktalnych. Przetestowane zostało również działanie klasyfikatorów na obrazach po filtracji. Autorka nie podała jednak szczegółów odnośnie parametrów wykorzystanych klasyfikatorów. Istotne byłoby również przebadanie wpływu tych parametrów na ostateczny wynik klasyfikacji.

Nie podano również szczegółów odnośnie eksperymentów numerycznych. Istotna byłaby informacja odnośnie zasad wyboru zbioru uczącego i testującego.

Główną część rozprawy kończy **rozdział 5.**, w którym autorka zawarła dyskusję oraz kierunki dalszych badań. Autorka podsumowuje, że „Zastosowanie standaryzowanych procedur akwizycji obrazów w tym badaniu pozwoliło na uzyskanie wysokiej jakości, porównywalnych danych anatomicznych i metabolicznych. Sekwencje MRI, takie jak T1 VIBE, w połączeniu z precyzyjnym obrazowaniem PET przy użyciu 18F-FDG, zapewniły dokładną diagnostykę raka płuc.” Niestety w pracy nie opisano jak wykorzystane zostały obrazy PET. Rozdział ten zawiera również wnioski wynikające z badania wpływu filtracji obrazów na klasyfikację. Autorka zauważa, że filtracja zmienia charakter obrazu, a w konsekwencji wynik wyboru cech istotnych w klasyfikacji oraz metodę analizy.

Rozdział kończy obszerny opis aktualnego stanu wiedzy. Autorka wskazuje prace, w których opisano eksperymenty z wykorzystaniem cech tekstury do analizy obrazów CT oraz MRI guzów płuc, w tym różnicowania podtypów raka niedrobnokomórkowego. W kolejnym podrozdziale opisuje również zastosowanie analizy fraktalnej w diagnostyce nowotworów płuc, nowotworów wątroby oraz zmian w obrębie węzłów chłonnych. Ostatnia część traktuje metody uczenia maszynowego w różnicowaniu podtypów niedrobnokomórkowego raka płuc. Wspomniane zostały zarówno podejścia klasyczne jak również intensywnie ostatnio rozwijane modele spłotowych sieci neuronowych. Autorka wspomina, że „transfer uczący” w połączeniu z modelami takimi jak MobileNetV2 może znacznie poprawić efektywność segmentacji. Chodziło zapewne o uczenie z transferem wiedzy, które istotnie służy poprawie efektów uczenia modeli.

Autorka powinna się była odnieść do aktualnego stanu wiedzy już na etapie formułowania celu badawczego (w rozdziale 1.) wskazując elementy, czy problemy, które rozwiązuje zaproponowana w pracy metoda.

W dalszej części autorka niespodziewanie motywuje wybór lasów losowych jak metody selekcji cech oraz opisuje zastosowanie narzędzia do ważenia cech poddanych analizie. Tego opisu czytelnik spodziewa się również w rozdziale 1.

W podsumowaniu rozdziału autorka porównuje się do wyników klasyfikacji obrazów MRI opisywanych w literaturze wskazując, że uwzględnienie wymiaru fraktalnego znacząco poprawiło skuteczność klasyfikacji w stosunku do analizy jedynie cech tekstury.

Dysertację ostatecznie podsumowuje **rozdział 6.**, w którym opisano wnioski. Autorka pisze, że badania zawarte w rozdziałach 3. i 4. wykazały, że precyzyjna segmentacja i filtracja obrazu pozwala na detekcję parametrów tekstury i parametrów fraktalnych charakterystycznych dla nowotworu gruczołowego i płaskonabłonkowego, co jej zdaniem potwierdza pierwszą z tez. Istotnie, zgodnie z pierwszą tezą pracy, która brzmi: **Możliwa jest detekcja złożonych cech charakteryzujących nowotwory złośliwe płuc z obrazów PET/MRI poprzez zastosowanie procedur analizy fraktalnej i analizy tekstury**, na podstawie przeprowadzonych eksperymentów wnioskować możemy, że taka detekcja jest możliwa. Analiza dotyczyła jednak

nie obrazów PET/MRI, a jedynie obrazów MRI. Co do potwierdzenia tezy drugiej nie mam tego typu wątpliwości. **Na podstawie przeprowadzonych badań można wnioskować, iż deklarowana poprawa dokładności i precyzji klasyfikacji odnosi się do porównania wyników klasyfikacji z uwzględnieniem cech teksturalnych oraz fraktalnych do klasyfikacji bazującej jedynie na cechach teksturalnych.** Autorka osiągnęła również deklarowany cel pracy.

2. Ogólna ocena rozprawy

Autorka rozprawy zaproponowała połączenie cech teksturalnych oraz fraktalnych w klasyfikacji podtypów niedrobnokomórkowego raka płuc. Wskazane zostały cechy istotne w różnicowaniu zmian, które mogłyby uzupełnić diagnostykę medyczną. Autorka udowodniła, że połączenie obydwu typów cech znacząco poprawiło jakość klasyfikacji.

Struktura rozprawy jest jednak mało czytelna. Analiza aktualnego stanu wiedzy w zakresie diagnostyki nowotworów płuc w obrazach CT i MRI znajduje się dopiero w rozdziale 5. Motywacją autorki do wprowadzenia tego typu zabiegu była najpewniej chęć porównania się z tymi metodami po opisie własnych eksperymentów, utrudniło to jednak odbiór pracy.

Lektura rozprawy nasuwa szereg uwag o charakterze merytorycznym bądź dyskusyjnym. Proszę Doktorantkę o ustosunkowanie się do wymienionych poniżej komentarzy:

1. Celem rozprawy było opracowanie metod wspomagających diagnostykę podtypów niedrobnokomórkowego raka płuc. Autorka wymieniła trzy podtypy, podczas gdy analizowana grupa badawcza obejmuje jedynie dwa z nich. Czy można zatem uogólnić hipotezy badawcze na wszystkie trzy?
2. Jedna z tez pracy brzmi: „Możliwa jest detekcja złożonych cech charakteryzujących nowotwory złośliwe płuc z obrazów PET/MRI poprzez zastosowanie procedur analizy fraktalnej i analizy tekstury”. Na stronie 71 Autorka pisze jednak, że obrazy PET/MRI wykorzystano do identyfikacji nowotworu (która to wykonana została przez radiologów), natomiast dalszą analizę teksturalną i fraktalną przeprowadzono na obrazach MRI. Jak zatem ta analiza ma się do postawionej tezy pracy? Wydaje się (na podstawie Rys. 6.), że cechy obrazowe PET mogłyby stanowić istotne uzupełnienie analizy obrazów MRI (np. SUVmax). Autorka jednak zrezygnowała z ich analizy, dlaczego?
3. W mojej ocenie krok segmentacji przeprowadzono w sposób niepoprawny, a przynajmniej nadmierny lub niepoprawnie opisany. Półautomatyczna segmentacja z wykorzystaniem narzędzia Image Segmenter w programie Matlab może bazować na bardziej i mniej skomplikowanych algorytmach analizy obrazów (zależnie od konfiguracji). Skoro w drugim kroku wyznaczono zgrubnie region zainteresowań, w jakim celu wykorzystano Image Segmenter, jeżeli następnym krokiem (szóstym z kolei) po tej analizie jest progowanie obrazu metodą Otsu? Albo odwrotnie, zgodnie z Rys. 7 i 8 c) wystarczyłoby kliknięcie w obiekty wynikowe kroku Image Segmenter lub wybranie obiektu o największej powierzchni w masce wynikowej.

4. Jednym z deklarowanych celów pracy jest „wybór optymalnego algorytmu uczenia maszynowego na podstawie oceny skuteczności klasyfikacji”. Autorka nie podała jednak żadnych kryteriów optymalizacji. Wybrany ostatecznie jako najlepsze narzędzie w klasyfikacji dwuklasowej jest klasyfikator SVM, który wymaga zdefiniowania szeregu parametrów jak chociażby wspomniana przez autorkę funkcja jądra. Proszę scharakteryzować metody wyboru parametrów opisywanych w dysertacji narzędzi klasyfikacji.
5. Dlaczego na podstawie wyników selekcji cech autorka wybrała akurat 40, a nie np. 10 najlepszych? Niezbędna byłaby analiza uzyskanych parametrów jakości klasyfikacji ze względu na liczbę wybranych cech.
6. Autorka wprowadziła nowy parametr fraktalny (FSVI) po czym udowodniła, że nie ma statystycznie istotnych różnic dla tego parametru pomiędzy grupami ADC i SCC. W następnym rozdziale znajduje się on jednak w grupie 40 cech wybranych algorytmem lasów losowych. Tu wracamy do punktu 5. Ograniczenie liczby cech do 20 ograniczyłoby wykorzystanie parametrów fraktalnych do jednego (FD). Czy wyniki klasyfikacji nie byłyby lepsze? Niezbędny jest stosowny komentarz w tej sprawie.
7. Autorka pisze, że „Zgodność rozkładu każdej serii danych z rozkładem normalnym testowano za pomocą testu t-studenta.” Co do zasady rozkład normalny testujemy za pomocą innych metod statystycznych. Ponadto, aby możliwe było wykorzystanie testu t-studenta (tu należy się odnieść do tego czy założono, że grupy są zależne czy niezależne), w przypadku zmiennej zależnej, jej rozkład powinien być zbliżony do rozkładu normalnego, dla prób niezależnych wymagane jest spełnienie założenia o jednorodności wariancji w porównywanych grupach. Jakie testy były zatem wykonywane i z jakim skutkiem?
8. Dlaczego do selekcji cech nie wykorzystano wyników analizy statystycznej? Na jakiej podstawie wybrano metodę selekcji cech?
9. Najistotniejszym aspektem jest problem walidacji. Należy podać jak dobrany został zbiór uczący i testujący. Zbiór danych obejmował 45 serii obrazowych. Na podstawie opisu grupy badawczej założyłam, że analizie poddanych zostało 45 zmian. Łącznie przeanalizowanych zostało 277 obrazów, co daje ok 6 obrazów jednego guza. Czy zatem Autorka pracy zapewniła taki podział danych na zbiór uczący i testujący, aby pojedyncza zmiana (wszystkie 6 obrazów) znalazła się tylko w jednym z nich? To samo dotyczy wspomnianej w Tabeli 7 walidacji krzyżowej. Czy dane zostały podzielone na 5 części w taki sposób aby zapewnić, że wszystkie obrazy jednego pacjenta znajdują się w jednym foldzie? Jest to zdecydowanie krytyczne element pracy, wymagający wyjaśnienia.
10. Analizie poddanych zostało 45 serii obrazowych. Skoro mamy do czynienia z danymi wolumetrycznymi, dlaczego analiza przeprowadzona została na danych 2-wymiarowych? Czy zatem można w jakiś sposób podjąć decyzję odnośnie całego badania? W przypadku ilu serii obrazowych diagnoza była jednoznaczna (wszystkie obrazy w danej serii zaklasyfikowane zostały do jednej, prawidłowej grupy guzów), zakładając, że dane jednego pacjenta nie mogą zostać podzielona pomiędzy zbiór uczący i testujący?

Poniżej wymieniam szereg usterek redakcyjnych lub niestaranności merytorycznych, które nie wymagają komentarza Doktorantki:

1. Str 17. „główną przyczyną spośród wszystkich nowotworów złośliwych zgonów”
2. Str 18. „śmiertelność jest ściśle związane ze stosunkowo późnym rozpoznaniem”
3. Str 18. „istotnie zmniejsza ryzyko zachorowanie”
4. Str 54. „do obliczenia wymiary fraktalnego”
5. Str 19. „G (ang. grading)” oznacza uroczysty. Chodziło najpewniej o grading – ocena
6. Niekonsekwentne stosowanie wielkich liter w nazwach angielskich, , np. Str 22. (ang. tyrosine kinase inhibitors, TKI) ale już w kolejnym zdaniu (ang. Checkpoint Inhibitors, CI) – nie ma potrzeby stosowania ich w ogóle.
7. Str 25. „Z kolei badania Zhu i innych [34] skupiają się na różnicach w obrazach HRCT u pacjentów z rakiem płuc o różnej funkcji płuc”. Zdanie jest niezrozumiałe.
8. Str 28. „na podstawie parametrów statystyki pierwszego rzędu, w tym objętości, średniej, odchylenia standardowego, skośności, kurtozie, entropii czy jednorodności” à kurtozy
9. Str 28. „Autorzy wskazują na szerokie możliwości określania podstawowych parametrów tekstury we wspomaganiu diagnostyki na wczesnym etapie obrazowania à chodziło chyba o sformułowanie: „na wczesnym etapie rozwoju zmiany”
10. Błędy interpunkcyjne, np. Obejmują miary takie jak średnia intensywność, odchylenie standardowe, skośność, kurtoza, entropia à Obejmują miary, takie jak...
„kontrolnych takie jak pembrolizumab, nivolumab. stosuje się w leczeniu SCC, natomiast unika w przypadku ADC”
11. Autorka pisze: „ADC płuc występuje częściej u kobiet niż u mężczyzn, zwłaszcza u osób niepalących.” A dwa zdania dalej czytamy: „Wśród czynników ryzyka wymienia się przede wszystkim palenie tytoniu.”
12. Pojawia się pewna niekonsekwencja wprowadzania nazw angielskich: ‘nazwa w języku polskim (ang. nazwa w języku angielskim, skrót)’ a w innym miejscu ‘nazwa w języku angielskim (skrót)’, np. European Society for Medical Oncology (ESMO) ale Światowej Organizacji Zdrowia (ang. World Health Organization, WHO).
13. Str 59. „znalezienie hiperpłaszczyzny w przestrzeni cech, która maksymalnie oddziela dane należące do różnych klas”. Jest to pewne uproszczenie zasady działania tego algorytmu stosowane w języku potocznym.
14. Str 61. „rzutowanie danych do wyższej przestrzeni”. Najprawdopodobniej chodziło o rzutowanie danych do przestrzeni o większej wymiarowości.

15. W równaniach matematycznych nie ma jednoznacznego rozróżnienia oznaczeń wektorów oraz skalarów, co nie powinno mieć miejsca w pracy naukowej.
16. Nie wszystkie skróty są wyjaśnione w tekście, np. CT.
17. Znaleźć można również pewną niekonsekwencję oznaczeń. Na stronie 53 H oznacza wykładnik Hursta, a na stronie 58 jest to entropia. Liczba klas w podziale danych opisywana jest w jednym miejscu jako c , a w drugim jako k .
18. Nazwa Tab. 1. „Wartości średnie danych pacjentów $\pm$ SD” wydaje się nie w pełni oddawać jej zawartość.
19. Pojawia się niekonsekwencja w notacji separatora dziesiętnego. Czasem separatorem jest kropka – notacja angielska, a czasem przecinek – notacja polska.
20. Rys. 5 wymaga dodatkowego komentarza. Co znajduje się na osi X ? Z informacji w tekście wynika, że ADC występował u 26 pacjentów, zaś SCC u 19. Na Rys. 5 widocznych jest 20 kropek szarych – SCC, oraz 24 niebieskie – ADC. Z wykresu wynika, że kropki niebieskie mogły być przykryte szarymi, jednak liczba szarych wciąż się nie zgadza.
21. Dość niecodzienną praktyką w przypadku rozpraw doktorskich jest uzupełnienie rozważań fragmentami kodu źródłowego, szczególnie jeżeli dotyczą one jedynie wywołania odpowiednich metod w danym środowisku programistycznym. Tego typu zabiegi stosowane są raczej w pracach inżynierskich.
22. W równaniu (123) nie występuje zmienna K , która jest jednak wyjaśniona poniżej, jako stanowiąca jego składową. Ponadto w tym samym równaniu, co należy rozumieć poprzez liczbę wybranych rozdzielczości i co oznacza zmienna n ?
23. Wymiar fraktalny w niektórych miejscach dany jest jako FD , w niektórych jako DF , a w jeszcze innych FD .
24. Na Rys. 23 oraz 24 autorka przedstawiła krzywe ROC, brak jest jednak informacji odnośnie ich powstawania. Jak dopierano progi decyzyjne w tej analizie (szczególnie w kontekście metody kNN)?
25. Rys 23 i 24 „czułość” i „swoistość”
26. Opis osi na Rys.15 jest niepełny. Brakuje informacji na osi Y . Średnie z pomiarów czego Autorka miała na myśli?
27. Rys 22 „Wykres dokładności czterech modeli klasyfikacji parametrów obliczonych na podstawie obrazów znormalizowanych w dwóch grupach parametrów.” Podpis jest niezrozumiały.
28. Opis głównej części pracy dotyczącej fraktalnego wskaźnika zmienności skalowej jest dość lakoniczny. Brakuje szczegółowych informacji odnośnie metod generowania obrazów fBm opisywanych w eksperymentach.

Usterek jest niestety bardzo wiele, co świadczy o pewnej niestaranności Doktorantki w przygotowywaniu pracy.

Po zapoznaniu się z rozprawą i przy uwzględnieniu wszystkich uwag mogę stwierdzić, że Autorka osiągnęła zakładany cel badawczy. Badania potwierdzają również postawione tezy. Należy jednak uznać, że są one sformułowane dość ogólnie, a zaproponowane narzędzie klasyfikacji łączy dwa, szeroko już eksplorowane w literaturze podejścia. Opis metodyki wymaga doprecyzowania metod doboru parametrów narzędzi klasyfikacyjnych oraz ugruntowania opisu eksperymentów numerycznych. Siła rozprawy tkwi w użytecznym aspekcie rozwiązania. **Badania były prowadzone w ramach programu STRATEGMED, co niewątpliwie podkreśla wagę podejmowanego w rozprawie problemu i dobrze świadczy o założeniach rozprawy.** Ponadto, Doktorantka posiada w swoim dorobku dwie wysoko punktowane publikacje naukowe w czasopiśmie z Listy Filadelfijskiej. W jednej z nich jest pierwszym autorem. Na uwagę zasługuje fakt, że prace są ściśle powiązane z tematyką rozprawy i opisują znaczące jej fragmenty.

3. Podsumowanie i konkluzja

W konkluzji szczegółowej opinii sformułowanej i uzasadnionej w niniejszej recenzji stwierdzam zatem, że przedstawiona do recenzji rozprawa prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki w dyscyplinie inżynieria biomedyczna oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a jej przedmiotem jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a zatem spełnia warunki, stawiane rozprawom doktorskim w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. **W związku z powyższym zwracam się do Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Białostockiej o dopuszczenie mgr inż. Eweliny Bębas do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.**



