

RECENZJA

rozprawy doktorskiej dr inż. Róży Dzierżak

w związku z postępowaniem w sprawie nadania w/w stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria biomedyczna.

Niniejsza ocena została opracowana na podstawie pisma Przewodniczącej Rady

Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna prof. dr hab. inż. Ewy Piętki,

RDIB.002.18.2023 z dnia 20.03.2023 r.

1. Znaczenie podjętej tematyki

Problematyka wspomaganie diagnostyki osteoporozy jest obecnie jednym w ważniejszych kierunków rozwoju metod analizy i przetwarzania obrazów. Liczne podejmowane próby wykorzystania prostych metod analizy i przetwarzania obrazów wymagają znacznego rozszerzenia i wzbogacenia, zarówno od strony ich wyprofilowania do konkretnej struktury kostnej jak też metody obrazowania. Powoduje to znaczny stopień skomplikowania algorytmów metod analizy obrazów a tym samym stanowi istotny i ważny problem naukowy który należy rozwiązać. Dodatkowo istotne jest zaproponowanie takich metod analizy i przetwarzania obrazów, które są odporne na zmienność osobniczą i dostarczają powtarzalnych ilościowych informacji o tkance gąbczastej wybranych kręgach wykonanych techniką tomografii komputerowej co zostało przedstawione w niniejszej rozprawie doktorskiej.

2. Struktura rozprawy

Rozprawa doktorska Pani dr inż. Róży Dzierżak, pt. "Analiza tekstury obrazów tomografii komputerowej kręgosłupa w celu wykrywania obszarów objętych osteoporozą", obejmuje 117 stron podzielonych na 9 rozdziałów w tym spis literatury oraz dwa załączniki. Praca została napisana pod kierunkiem naukowym prof. dr hab. inż. Ewarysta Tkacza.

Autorka, w pierwszym rozdziale odnosi się do ogólnej charakterystyki osteoporozy wskazując na jej definicję, zgodną z WHO z 1994 r., a następnie odnosi się do wpływu pandemii COVID-19 i innych czynników na współczesny rozwój osteoporozy. W rozdziale tym zawarto też podstawowe informacje dotyczące złotego standardu diagnostyki osteoporozy (DXA) odnoszącej się do pomiarów gęstości mineralnej kości oraz podano cel i zakres badań.

Drugi rozdział to omówienie materiału który został wykorzystany przez Doktorantkę do badań. Wskazana jest grupa kontrolna która obejmowała 26 kobiet i 24 mężczyzn w wieku od 53 do 77 lat bez objawów osteoporozy i osteopenii oraz grupa chorych którą stanowiły 33 kobiety i 17 mężczyzn w wieku od 44 do 95 lat ze stwierdzoną osteoporozą.

Autorka w trzecim rozdziale opisuje zastosowane metody badawcze i wyniki które zostały opublikowane w cyklu artykułów wchodzących w skład niniejszej rozprawy. Dotyczą one analizy tekstury obrazu tkanki gąbczastej w rekonstrukcji kostnej i miękkotkankowej, konwolucyjnych sieci neuronowych, analizy fraktalnej czy wpływu normalizacji obrazów CT kręgosłupa na istotność cech teksturalnych w identyfikacji ubytków w strukturze tkanki gąbczastej.

Rozdział czwarty to wykaz publikacji stanowiących rozprawę doktorską. Podano w nim udział procentowy poszczególnych autorów, cel badań oraz wskaźniki bibliograficzne.

Rozdział piąty dotyczy wykazu aktywności i innych osiągnięć naukowych Doktorantki. Wymienione są tutaj staże naukowe, wizyty studyjne, nagrody naukowe oraz aktywność obejmująca działalność lokalną oraz ogólnopolską na rzecz środowiska akademickiego, w tym działalność na rzecz popularyzacji nauki.

W szóstym rozdziale podsumowano wskazane osiągnięcia naukowe ze wskazaniem dalszych planów i kierunków prac naukowych. Autorka wskazuje tutaj, że najlepsze wyniki

uzyskano w przypadku zastosowania modelu konwolucyjnej sieci neuronowej VGG16 charakteryzującego się najmniejszą głębokością topologiczną, otrzymując wyniki dokładności klasyfikacji na poziomie 95%.

Siódmy rozdział to literatura zawierająca 39 pozycji z czego jedna pozycja (rozprawa doktorska) jest Doktorantki.

Załącznik nr 1 zawiera próbki obrazowe tkanki gąbczastej zastosowane w badaniach, grupę kontrolną oraz grupę chorych. Zestawienie tabelaryczne zawiera 50 wierszy dla każdej z grup, w 4 kolumnach tj. różnych fragmentach tekstury dla każdego z pacjentów.

Rozprawę kończy załącznik nr 2 stanowiący wykaz publikacji Doktorantki, które nie wchodzi w skład niniejszej rozprawy. Jest to zestaw 7 artykułów opublikowanych w różnych czasopismach takich jak np.: Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska, 28 rozdziałów w monografiach oraz 5 prac pod redakcją.

Struktura rozprawy jest zatem prawidłowa.

3. Cel pracy

Cel rozprawy został przedstawiony przez Autorkę w pierwszym rozdziale (podrozdział 1.3, str. 11), która brzmi "Celem badań było opracowanie algorytmu opartego na analizie tekstury obrazu CT tkanki gąbczastej kręgosłupa w celu identyfikacji ubytków osteoporotycznych". Autorka podała też trzy szczegółowe zdania badawcze tj.: zastosowanie klasycznych metod uczenia maszynowego do klasyfikacji obrazów na podstawie analizy cech tekstury; zastosowanie głębokich konwolucyjnych sieci neuronowych; zastosowanie analizy fraktalnej. Zarówno cel pracy, jak też zdania badawcze, odpowiadają zakresowi i tematyce rozprawy oraz określają zakres przeprowadzonych badań. W treści rozprawy, głównie z rozdziale 3 i 4, przedstawiono nowy wykład Autorki w inżynierię biomedyczną.

4. Metodyka badań

Metodyka badań przedstawiona przez Autorkę jest prawidłowa. Wykonanie badań zostało w sposób prawidłowy poprzedzone analizą i odniesieniem się Autorki do znanych

i stosowanych dotychczas rozwiązań, zarówno w zakresie diagnostyki osteoporozy. Autorka opisała poszczególne stworzone algorytmy w cyklu czterech publikacji:

- [1] Comparison of the Classification Results Accuracy for CT Soft Tissue and Bone Reconstructions in Detecting the Porosity of a Spongy Tissue, Róża Dzierżak, Zbigniew Omiotek, Ewaryst Tkacz, Sebastian Uhlig, *Journal of Clinical Medicine*, 2022, vol. 11, nr 15, s. 1–11.
- [2] Application of Deep Convolutional Neural Networks in the Diagnosis of Osteoporosis, Róża Dzierżak, Zbigniew Omiotek, *Sensors*, 2022, vol. 22, nr 21, s. 1–18.
- [3] Fractal analysis as a method for feature extraction in detecting osteoporotic bone destruction, Zbigniew Omiotek, Róża Dzierżak, Andrzej Kępa, *Fractals: Complex Geometry, Patterns, and Scaling in Nature and Society*, 2021, vol. 29, nr 4, s. 1–15.
- [4] The Influence of the Normalisation of Spinal CT Images on the Significance of Textural Features in the Identification of Defects in the Spongy Tissue Structure, Róża Dzierżak, Zbigniew Omiotek, Ewaryst Tkacz, Andrzej Kępa: *Innovations in Biomedical Engineering*, Springer, 2019, s. 55–66.

Publikacje te odnoszą się do dwóch rodzajów rekonstrukcji obrazów, rekonstrukcję miękdotkanową oraz kostną. Zastosowanym przez Doktorantkę głównym przedmiotem badań w pierwszym artykule była weryfikacja ze wskazaniem który rodzaj zrekonstruowanych obrazów umożliwia otrzymanie cech tekstury, pozwalających na dokładniejszą klasyfikację stanu tkanki. Zgodnie z informacjami zawartymi w publikacji [1] budowę modeli klasyfikatorów wykorzystano 11 metod: liniową i kwadratową analizę dyskryminacyjną, gaussowską naiwną metodę Bayesa, maszyny wektorów wspierających, k-najbliższych sąsiadów, drzewo decyzyjne, perceptron wielowarstwowy oraz trzy metody zespołowe – las losowy, wzmacnianie gradientu i AdaBoost. Osiągnięto dokładność w diagnostyce na poziomie 92%. W ramach drugiej publikacji [2] wykorzystano 6 modeli zaproponowanych przez doktorantkę o zróżnicowanej architekturze i głębokości topologicznej: Xception, VGG16, VGG19, ResNet50, InceptionResNetV2, MobileNetV2. Przy czym najlepsze wyniki uzyskano dla modelu VGG16 tj. dokładność 95%. Analiza fraktalna przedstawiona w trzeciej pozycji literatury [3] została oparta o liniową regresję krokową. Wykorzystano 3 cechy: Var_FD, Filter oraz Lac. Z zastosowanych przez doktorantkę sześciu metod klasyfikacji (liniowej i kwadratowej analizy dyskryminacyjnej, naiwnego klasyfikatora Bayesa, drzew decyzyjnych, k-najbliższych sąsiadów i lasów losowych) najlepsze wyniki uzyskano dla

klasyfikatora k-najbliższych sąsiadów tj. dokładność 81%. W ostatniej czwartej publikacji [4] Autorka przeprowadziła normalizację badanych obrazów co spowodowało kilku procentowe zmniejszenie jakości klasyfikacji. Sumaryczny impact factor przedstawionego powyżej cyklu publikacji (pierwszych trzech pozycji) wynosi ponad 13, a sumaryczna liczba punktów ministerialnych to 360.

Pani dr inż. Róża Dzierżak posiada także w swoim dorobku 2 staże i wizyty studyjne, 3 nagrody naukowe oraz szeroką aktywność lokalną na rzecz środowiska akademickiego oraz popularyzującą naukę. Przykładowo reprezentowanie doktorantów w Związku Uczelni Lubelskich czy pełnienie funkcji Przewodniczącej Rady Uczelnianej Samorządu Doktorantów. Zgodnie z bazą Scopus Doktoranta posiada h-index równy 7 i 159 cytowań co jest ponadprzeciętnym, wyróżniającym wynikiem dla osób ubiegających się o stopień doktora.

Omawiając cykl publikacji stanowiących podstawę niniejszej rozprawy doktorskiej należy się odnieść do obronionej w 2020 roku przez Doktorantkę pracy doktorskiej pt. *Zastosowanie konwolucyjnych sieci neuronowych w diagnostyce osteoporozy* której promotorem był prof. dr hab. inż. Waldemar Wójcik. Jest ona zbliżona w zakresie tematycznym do niniejszej recenzowanej pracy. Jednakże istotne różnice i nowe metody badawcze, stanowiące przedmiot niniejszej recenzji, dotyczą zastosowania różnego typu modeli klasyfikatorów – sumarycznie 11 metod: liniową i kwadratową analizę dyskryminacyjną, gaussowską naiwną metodę Bayesa, maszyny wektorów wspierających, k-najbliższych sąsiadów, drzewo decyzyjne, perceptron wielowarstwowy oraz trzy metody zespołowe – las losowy, wzmacnianie gradientu i AdaBoost opracowane w zakresie dyscypliny inżynieria biomedyczna. Rozprawa doktorska obroniona w 2020 roku dotyczyła jedynie zastosowania różnych architektur sieci konwolucyjnych. Ponadto doktorat w 2020 roku Pani Róża Dzierżak otrzymała w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika. Nie mam zatem wątpliwości co to nowatorskiego podejścia i nowego rozwiązania problemu badawczego występującego w niniejszej, recenzowanej przeze mnie, rozprawie.

W rozprawie dostrzegłem kilka drobnych usterek merytorycznych, które nie wpływają na moją pozytywną ocenę rozprawy, jednakże chciałbym aby dr inż. Róża Dzierżak się do nich odniosła podczas publicznej obrony, są to:

1. W rozprawie Autorka wskazuje na istotny wpływ normalizacji obrazu na otrzymane wyniki (str. 80). Brakuje w tym zakresie szczegółowej analizy przyczyn

otrzymywania gorszych wyników. Z jakiego zatem powodu otrzymywane wyniki są gorsze? Czy można w tym zakresie stworzyć jakieś rekomendacje dla operatora takie, które pozwoliłyby na otrzymywanie lepszych rezultatów? Dotyczące na przykład ułożenia pacjenta do badania czy ustawienia urządzenia akwizycji obrazów.

2. W pracy brakuje tez pracy. Jakie są zatem tezy pracy? Czy tezy pracy zostały udowodnione?
3. Czy opracowane algorytmy pozwalają na wskazania stopnia progresji osteoporozy? Jeżeli tak, to w jakim zakresie i z jaką dokładnością?
4. Załącznik nr 1 obejmuje obrazy próbek tkanki gąbczastej zastosowane w badaniach dla grupy kontrolnej i grupy chorych. Jaki jest cel wykazywania tych obrazów w załączniku? Czy Autorka może skomentować wybrane, ciekawsze obrazy?

Dodatkowo w pracy zauważyłem kilka błędów redakcyjnych:

1. Rysunki i tabele w pracy nie zostały opisane w tekście. Przykładowo tabela 2.1 – na co ma zwrócić uwagę Czytelnik? Co w niej jest interesującego? Podobnie rys. 2.1 czy rys. 2.2. nie bardzo wiadomo na co ma zwrócić uwagę Czytelnik i czy jest to ciekawe od strony merytorycznej.
2. Symbol „x” nie jest symbolem iloczynu kartezjańskiego a prawdopodobnie o niego chodzi Autorce w definiowaniu rozdzielczości obrazu (np. str. 16 „50x50” powinno być „50×50”).
3. W całej rozprawie brakuje zbiorczego ilościowego podsumowania cyklu publikacji. Przykładowo, jeżeli w pierwszej publikacji z serii Autorka komentuje (str. 24) „W przypadku obrazów rekonstrukcji tkanek miękkich pięć modeli osiągnęło najwyższą dokładność testową wynoszącą 95%, podczas gdy pozostałe wskaźniki jakości (TPR i TNR) również wyniosły 95%” to jak te wyniki mają się do innych opisywanych w pozostałych publikacjach.

Pomimo wskazanych przeze mnie drobnych błędów redakcyjnych i merytorycznych, praca stanowi cenny wkład w zakresie analizy i przetwarzania obrazów osteoporozy kręgosłupa.

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Podsumowując stwierdzam, że Pani dr inż. Róża Dzierżak wykazała się dużą wiedzą z zakresu analizy i przetwarzania obrazów tomografii komputerowej, a także opanowaniem i sprawnym posługiwaniem się warsztatem badawczym. Rozprawa doktorska dr inż. Róży Dzierżak pt. "Analiza tekstury obrazów tomografii komputerowej kręgosłupa w celu wykrywania obszarów objętych osteoporozą" jest oryginalnym, interesująco przedstawionym, uzasadnionym i twórczym wkładem w dyscyplinę inżynieria biomedyczna. Niniejsza rozprawa doktorska zawiera poprawnie sformułowany i rozwiązany problem badawczy oraz posiada bardzo duży aspekt praktyczny, stanowi zatem oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Zgodnie z powyższym stwierdzam, że dr inż. Róża Dzierżak spełnia wymogi formalne o których mowa art. 186 Warunku nadania stopnia doktora, Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie Wyższym i Nauce, Dz.U. 2020 r. poz. 85, z późn. zm. w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora. W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie dr inż. Róży Dzierżak do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Koprowski