

dokładności klasyfikacji po procesie normalizacji histogramu badanych obrazów. Do badań zachowuje pliki w formacie bmp.

W Rozdziale 5 Autorka przedstawia ogólne podstawy zastosowanych do badań konwolucyjnych sieci neuronowych w tym sieci głębokich wielowarstwowych. Opisuje role poszczególnych warstw w działaniu sieci. Zakres rozdziału jest adekwatny do wykorzystania metody w badaniach własnych.

W Rozdziale 6 Autorka konkretyzuje opis sieci i przedstawia architektury CNN wykorzystane w badaniach przeprowadzonych w rozprawie doktorskiej. Autorka korzysta z sieci wstępnie wytrenowanej. Charakteryzuje modele sieci używane we własnych badaniach VGG16 i VGG19, cechujące się wysoką dokładnością klasyfikacji przy stosunkowo niewielkiej liczbie warstw. Przedstawia i charakteryzuje architektury sieci MobileNetV2 oraz modelu Xception. Przedstawia i charakteryzuje model głęboki ResNet. Prezentuje sieć InceptionResNetV2 zbudowaną przez zintegrowanie dwóch modeli DCNN – ResNet i Inception.

W rozdziale 7 Autorka omawia miary jakości klasyfikacji w diagnostyce medycznej. Klasyfikuje w prostym układzie kategorii chory – zdrowy. Ponownie wraca do już omawianych ogólnie poprzednio wskaźników wrażliwości TP, FN oraz specyficzności TN i FP. Dokładność klasyfikacji (parametr CA) jest prawdopodobieństwem poprawnej klasyfikacji przypadków do obu kategorii. Podaje zależności statystyczne dla wszystkich podstawowych wskaźników klasyfikacyjnych – ERR, ACC, FPR, PPV, NPV, FDR. Autorka w swoich badaniach zakłada maksymalizację najwyższej wrażliwości klasyfikacji przy zachowaniu możliwie wysokiej specyficzności.

W Rozdziale 8 Autorka dokonuje analizy narzędzi i materiału badawczego oraz przedstawia klasyfikację obrazów tkanki gąbczastej kręgu lędźwiowego L1 przeprowadzone przy pomocy sześciu wymienionych powyżej modeli konwolucyjnych sieci ANN: VGG19, MobileNetV2, Xception, ResNet50, InceptionResNetV2 o różnej głębokości topologicznej. Najpierw omawia budowę modeli klasyfikacyjnych (R.8.1). Następnie (R.8.2) prezentuje wyniki trenowania i ewaluacji klasyfikatorów. Podaje dane techniczne platformy sprzętowej na której wykonywane były obliczenia. Do obliczeń stosuje sekwencyjną bibliotekę Keras zawierającą wiele modeli sieci neuronowych do przetwarzania obrazów. Podaje rodzaje treningu stosowanych sieci i modeli klasyfikatorów na zbiorze ImageNet. Korzysta z modeli dwuczęściowych, złożonych z baz konwolucyjnych i gęsto połączonych klasyfikatorów. Opisuje szczegółowo działanie biblioteki typu Keras. Podaje szczegóły trenowania modelu. Stosuje dodatkowe zabiegi augmentacji danych ze względu na relatywnie mały zbiór danych obrazowych.

W Rozdziale 8.3. Autorka dokonuje porównania i oceny uzyskanych wyników. Stwierdza, że w wielu przypadkach uzyskuje dobre wyniki klasyfikacji powyżej założonych 90%. Wymienia model najlepsze i uzasadnia uzyskane wyniki klasyfikacji dla małego zbioru danych. Najlepsze wyniki klasyfikacji uzyskuje w modelu VGG16 o najmniejszej złożoności topologicznej. Wyjaśnia trudności i ograniczenia dotyczące szerszych porównań własnych wyników z wynikami innych autorów spowodowane nieidentycznością zadań klasyfikacyjnych. Jednak dokonuje porównania ogólnego z innymi pracami dotyczącymi klasyfikacji innych przypadków osteoporozy. Porównuje także wyniki własne z pracami, gdzie klasyfikowano dane osteoporotyczne kręgosłupa uzyskane metodą CT. Uzyskane przez Autorkę wyniki klasyfikacji są bardzo korzystne. Przedstawia dla dalszego porównania inne wyniki klasyfikacji dla innych rodzajów kości – paliczków i śródreżca. W podsumowaniu uzyskanych wyników badawczych Autorka stwierdza, że ich znacznie diagnostyczne, w porównaniu z podobnymi prowadzonymi

badaniami może być znaczące.

W Rozdziale 8.4. Autorka dokonuje oceny istotności statystycznej wyników przeprowadzonych badań. Przeprowadza testy Z osobno dla każdego modelu CNN. Opisuje dokładnie warunki przeprowadzonych testów. Przedstawia przykłady sposobu obliczania statystyki Z dla wybranych modeli CNN. Dla trzech z sześciu badanych CNN (MNV2, Xc, RN50) została przyjęta hipoteza zerowa H_0 przy założeniu wrażliwości klasyfikacji 0,8. Dla modeli sieci Vgg16, Vgg19 i IRNV2 hipoteza H_0 została odrzucona, a więc warunek istotności statystycznej został spełniony.

W Rozdziale 9 Autorka dokonuje podsumowania swoich osiągnięć w czasie realizacji rozprawy doktorskiej. Zestawia oryginalne osiągnięcia pracy oraz przedstawia ambitne plany dalszych prac. Recenzent zgadza się w pełni z przedstawioną przez Doktorantkę syntetyczną listą osiągnięć własnych. Przedstawione osiągnięcia własne są w odpowiedni sposób wplecione w zastaną infrastrukturę obliczeniową i narzędzia którymi Autorka posługuje się sprawnie uzyskując wartościowe wyniki badawcze w obszarze klasyfikacji standaryzowanych obrazów osteoporotycznych.

Ambitny plan dalszych prac nad większym i bardziej uniwersalnym, pełniej zautomatyzowanym systemem diagnostyki osteoporozy jest nakreślony w sposób logiczny i w pełni konsekwentnie. Autorka wyraźnie wymienia kluczowe elementy takiego systemu oraz zauważa najważniejsze problemy teoretyczne, techniczne, praktyczne i organizacyjne.

Rozdział 10 jest spisem powołanej w pracy bibliografii, co do wyboru której recenzent wypowiedział się w paragrafie 2 niniejszej recenzji.

Podsumowując, recenzent stwierdza, że Autorka rozwiązała bardzo dobrze postawione zagadnienie, oraz użyła do ich rozwiązania właściwych metod. Przyjęła właściwie uzasadnione założenia do budowy systemu klasyfikacji osteoporozy. Stworzyła samodzielnie dobrze zdefiniowane środowisko testowe w którym przeprowadziła skutecznie eksperyment naukowy.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autorki, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Jak już wspomniano powyżej Autorka wymienia w punktach swoje osiągnięcia oryginalne w podsumowaniu rozprawy doktorskiej – Rozdział 9. Recenzent zgadza się w pełni z tą listą. Powtarza ją tutaj w sposób formalny, ale jedynie w skrócie: przygotowanie własnego, pełnego środowiska badawczego umożliwiającego przeprowadzenie założonych w celu pracy badań; w tym opracowanie bazy danych, wybór metod testowania, podjęcie decyzji odnośnie rodzaju zastosowanych sieci ANN, opanowanie technik działania z sieciami CNN, dobry wybór relatywnie prostej sieci VGG16 do badań, przeprowadzenie ocen statystycznych prowadzonych badań, poradzenie sobie z problemem małej liczności badanych próbek, uzyskanie korzystnych wyników badań w zaproponowanym ograniczonym, lecz dobrze zaprojektowanym obszarze badawczym.

Podsumowując, oryginalność rozprawy polega na zbudowaniu przez Autorkę pełnego, sprzętowo – programistycznego, działającego systemu funkcjonalnego bazującego na zastanym referencyjnym rozwiązaniu przemysłowym, ale twórczo uzupełnionym przez własne pomysły, sposoby badania i elementy oprogramowania.

Pozycja rozprawy do stanu wiedzy i poziomu techniki reprezentowanych przez

literaturę światową jest bardzo aktualna. Rozprawa sytuuje się w obszarze cały czas szybko rozwijającej się dziedzinie automatyzowanej obrazowej diagnostyki medycznej.

5. Czy autorka wykazała umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników /zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy/?

Układ logiczny pracy jest następujący. Autorka przedstawia motywację i tło realizacji pracy, definiuje tezy a następnie cele realizacji pracy, opisuje bardzo wymagające środowisko aplikacyjne jakim jest obrazowa diagnostyka medyczna, decyduje się na budowę systemu klasyfikacji ściśle określonych i poprzednio dobrze przygotowanych obrazowych danych osteoporotycznych. Proponuje rozwiązanie automatyzujące i standaryzujące badanie osteoporotyczne fragmentu pierwszego kręgu lędźwiowego. Projektuje i przygotowuje środowisko badawcze. Sprawnie przeprowadza pełen zaplanowany cykl badań. Potwierdza realizację założeń. Recenzent uznaje taki układ pracy i sposób przedstawienia problemu a następnie uzyskanych wyników za prawidłowy.

Podsumowując, Autorka wykazała umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników pracy badawczej. Do formy redakcyjnej pracy recenzent nie ma zastrzeżeń. Praca jest napisana zwięzle i jasno. Fragmenty opisowe, przegląd literatury i przedstawienie tła i szerszego obszaru badawczego są zarysowane skrótowo, ale wystarczająco. Opis prac własnych, projektowych, badawczych, programistycznych i obliczeniowych są odpowiednio obszerne. Rysunki są czytelne, choć nie wszystkie są wykonane w jednakowym stylu.

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Nie ma pracy naukowej idealnej. Praca doktorska jest także częścią trudnej, pracowitej drogi rozwojowej młodego uczonogo.

Redakcja wstępu do pracy badawczej multi-dyscyplinarnej techniczno-medycznej jest prawdziwym wyzwaniem dla Autorki o wykształceniu technicznym. Przypuszczam, że wstęp był konsultowany ze współpracującym z Autorką lekarzem. Jednak jego redakcja budzi wątpliwości recenzenta. Wykres 1.3 bez komentarza jest niejasny. Ma chyba tylko pokazać wagę tematyki epidemiologicznej osteoporozy i przestraszyć czytelnika śmiercią, jeśli się natychmiast nie zbada. Powołany przez Autorkę zupełnie nowy raport NFZ z listopada 2019 jest znakomitym dokumentem, na którym Autorka opiera część argumentacji dotyczącej wyboru tematyki pracy, i z którego czerpie wszystkie rysunki w rozdziale 1.1. Wybór taki wydaje się nieco przypadkowy i nie jest dobrą praktyką publikacyjną. Z raportu wybrane są niektóre wnioski ogólne, niekoniecznie w sposób konsekwentny i logiczny przedstawiające i wzmacniające naukową motywację wyboru tematyki.

Na str.13, pod rysunkiem 1.3. w zdaniu dotyczącym ciągłości i aktualności badań nad wczesnym wykrywaniem osteoporozy Autorka powołuje się na pracę sprzed kilkunastu lat. Analiza bliższa tej pracy pokazuje dzisiaj raczej jej wartość zupełnie historyczną jako wczesne porównanie różnych technik obrazowania. W następnym zdaniu Autorka pisze o najnowszych trendach dotyczących badań mikroarchitektury kości i powołuje się, znowu niezbyt zgrabnie, czyli grupowo, na prace sprzed 20 lat. Dzisiejsze techniki badawcze są zupełnie inne niż te sprzed 20 lat. Badania mikroarchitektury kości nie są żadną nowością. Takich, i kilku innych podobnych zastosowanych przez Autorkę, stanowczych stwierdzeń należy używać z „naukową” powściągliwością, ostrożnością, a nawet pokorą.

Podawanie w jednym odwołaniu literaturowym wielu pozycji bez komentarza nie jest dobrym zwyczajem redakcyjnym, jak na str.13 i str.14, gdzie powołano jednorazowo aż 10 pozycji. Można było przy każdej pozycji dodać czego dotyczy, np. na str 14.: lewa komora serca [1], mózg [6, 35], klatka piersiowa [8], nowotwory skóry [24], płuca [43], naczynia siatkówki [46], naczynia wieńcowe serca [59], wątroba [60]. Podobnie na str. 13, prace zgrupowane w liście dotyczącej analizy tekstury dotyczą czasami zupełnie odmiennych metod i zjawisk. Lepiej jest to krótko zróżnicować.

Pozycje literatury 13 i 14 są tożsame. Zwyczaje bazy arxiv są takie, że autor może dodawać poprawki tekstu jako kolejne wersje v, ale powoływanie się na różne wersje w tej bazie nie ma sensu.

Szczególnie pasjonująca jest lektura załączników. Recenzent uważa, że praca doktorska jest pracą czysto naukową lub naukowo-techniczną, a nie raportem technicznym. Wypatrywanie, klasyfikacja i ocena różnic w teksturze obrazów jest zadaniem dla komputera a nie oczu ludzkich. Jeśli już koniecznie to raporty powinny być szerzej komentowane w załączniku tekstowo a nie przedstawiane w pracy in extenso jako wydruki potwierdzające wykonane analizy. Recenzent ufa Autorce bezgranicznie, że analizy zostały wykonane. Przykłady obrazów można było ograniczyć do kilku z krytycznym komentarzem. Badana baza obrazowa jest zresztą niewielka i nie można na podstawie jej przetwarzanie i analiz wyciągać wniosków uniwersalnych. Skalowanie tych badań o rzędy wielkości w górę jest zupełnie innym zagadnieniem niż rozpatrywane w niniejszej pracy.

W ostatnim zdaniu rozprawy, we wnioskach, Doktorantka dzielnie pisze o możliwości praktycznego rozwiązania poważnego problemu starzejącego się społeczeństwa przy pomocy relatywnie prostego systemu oprogramowania i odpowiedniej organizacji badań przesiewowych. Prawda jest jednak zupełnie inna i odważne stwierdzenie Doktorantki jest tylko niewielką częścią całości problemu. Edukacja prozdrowotna społeczeństwa, profilaktyka i organizacja opieki zdrowotnej wymagają gigantycznych środków. W ciągu ostatnich nieco ponad 20 lat średnia długość życia kobiet w Polsce wydłużyła się o dekadę. W kraju nigdy nie było tylu stulatków co jest obecnie. Wszyscy oni mają szklane kości.

Gdyby Autorka miał naprawdę wykorzystać przedstawione wyniki musiałaby zrealizować proponowany program, opracować pełne bezbłędne środowisko testowe, wszechstronnie opatentować, założyć firmę, szeroko rozreklamować, zdobyć wszystkie licencje medyczne i rozpocząć masową dystrybucję.

Uwag mogłoby być więcej. Recenzent przytacza niektóre dla dobra Doktorantki i w trosce o Jej dalszy pozytywny rozwój naukowy. Przytoczone przykładowe uwagi merytoryczne i techniczne nie naruszają znacznej wartości rdzenia pracy doktorskiej i skłaniają recenzenta do uznania pracy za bardzo dobrą, co zostało przedstawione szczegółowo z uzasadnieniem w poprzednich paragrafach recenzji i w konkluzji.

7. Pytania do Autorki pracy

* Dlaczego Autorka porwała się odważnie na tematykę osteoporozy, bardzo trudną tematykę, szeroko badaną przez wiele zaawansowanych ośrodków na świecie?

* Dlaczego analizowana baza danych jest relatywnie niewielka?

* W przypadku, jeśli nie były dostępne inne dane rzeczywiste, czy można było wygenerować na podstawie badanej bazy dane sztuczne i rozszerzając bazę przetestować uczenie sieci, być może, w trudniejszych warunkach?

* Program który Autorka przedstawia jako kontynuację swoich badań to jest tak naprawdę szczęśliwa propozycja wielu lat pracy dla wielu osób. Czy to jest planowany program badawczy dla Zespołu na Politechnice Lubelskiej, we współpracy z miejscowym szpitalem? Jako także kontynuacja poprzednich prac – Z.Omiotek [74], i Zespół [75].

* Jak w takim zaprezentowanym programie kontynuacji, który wydaje się bardzo interesujący, zbudować dostatecznie dużą znormalizowaną bazę danych o wysokiej jakości? Chodzi o bazę specjalistyczną dotyczącą np. osteoporozy, ale o cechach standardów ImageNet, DICOM, itp., zarówno pod względem objętości, wyczerpania różnorodności danych, jak i atrybutów. Czy propozycja Doktorantki nie jest tylko czystym marzeniem, nie do spełnienia? Jak można (zapewne pracowitymi etapami) dojść do stworzenia odpowiednich warunków prowadzenia masywnych, wysokiej jakości, znormalizowanych badań osteoporozy?

* Pozostałe pytania są związane z uwagami umieszczonymi w treści recenzji.

8. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych i medycznych?

Współczesne warunki cywilizacyjne sprzyjają nasileniu epidemii osteoporozy. Wszystkie rozsądne, dobrze zaplanowane i o dobrze zakreślonym celu medycznym, informatyczne badania o charakterze przyczynkowym danych osteoporotycznych, w tym szczególnie obrazowych, mają głęboki sens. Istotą jest zaawansowana prewencja osteoporozy, od której na razie jesteśmy dość daleko. Technologie sprzętowe i programistyczne są rozwijane i koniecznością jest korzystanie z tych możliwości. W technikach obrazowych korzysta się wirtualnej rzeczywistości i sztucznej inteligencji pozwalającej analizować informacje obrazowe zupełnie inaczej, wielowymiarowo, znacznie dokładniej. Korzysta się także np. z metod sensor fusion, nie tylko wzmacniających słabsze, ale ważne dane, ale i dostarczających nowych danych. Lekarzowi specjaliście trzeba udostępniać nowe narzędzia, takie które są zrozumiałe i po treningu akceptowalne.

Recenzowana praca leży w tym, powyżej zarysowanym nurcie badawczym. Oceniam jej ważne miejsce na drodze postępu szczegółowej oceny rozwoju osteoporozy. Wyniki badawcze uzyskane w pracy są przydatne dla dalszego rozwoju technik informatycznych w badaniach obrazowych, oceny i klasyfikacji osteoporozy.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a/ nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy
- b/ wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania
- c/ spełniająca wymagania
- d/ spełniająca wymagania z nadmiarem
- e/ **wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie**

Wnioskuje o dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów procesu doktoryzowania w dyscyplinie Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika. W przypadku pozytywnego przebiegu obrony, a w tym prezentacji i otwartej dyskusji jestem skłonny wnioskować o przyznanie Doktorantce wyróżnienia.

prof. dr hab. inż. Ryszard Romaniuk