

Warszawa 28.08.2019

dr hab. inż. Michał Kruk
Katedra Zastosowań Informatyki
Wydział Zastosowań Informatyki i Matematyki
Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Recenzja rozprawy doktorskiej

Pani mgr inż. Zuzanny Krawczyk

pt. „Automatyczne metody tworzenia trójwymiarowych
zindywidualizowanych modeli szkieletów z wykorzystaniem morfingu”

Przedmiotem recenzji jest rozprawa zatytułowana „Automatyczne metody tworzenia trójwymiarowych zindywidualizowanych modeli szkieletów z wykorzystaniem morfingu”, wydana w Warszawie w 2019 roku, której autorką jest mgr inż. Zuzanna Krawczyk. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Jacek Starzyński, prof. PW. Niniejsza recenzja przygotowana została na zlecenie prof. dr. hab. inż. Lecha Grzesiaka, Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej w związku z uchwałą Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej z dnia 26.06.2019.

Problematyka pracy

Praca zawiera opis stworzonych przez Doktorantkę metod służących zbudowaniu zindywidualizowanych modeli fragmentów szkieletu oraz identyfikacji pojedynczych struktur kostnych na podstawie zdjęć pochodzących z tomografii komputerowej (TK). Zdjęcia te dotyczą miednicy i połączonych z nią kości udowych, ale użyte w pracy metody są na tyle uniwersalne, że mogą mieć zastosowanie do innych fragmentów szkieletu po uprzedniej regulacji parametrów oraz zmianie modelu sieci neuronowej (nauczonej na innym zbiorze danych).

Problematyka pracy jest ciekawa i aktualna. Budowane przez Autorkę trójwymiarowe modele kości mogą znaleźć zastosowanie nie tylko w szeroko pojętym obrazowaniu medycznym, ale także np. w edukacji do tworzenia trójwymiarowych atlasów lub w połączeniu z wydrukiem 3D do budowy przestrzennych modeli. Zaznaczyć należy również na wstępie, że Doktorantka podjęła się zadania

niebanalnego, gdyż segmentacja obrazów pochodzących z tomografii komputerowej jest trudna ze względu na nakładanie się poszczególnych struktur oraz niski kontrast zdjęcia.

Tematyka ocenianej dysertacji porusza zagadnienia ściśle powiązane z przetwarzaniem obrazów oraz sztuczną inteligencją, przez co kwalifikuje to w pełni pracę jako przedmiot rozprawy doktorskiej w obszarze informatyki.

Cel, teza i charakterystyka rozprawy

Recenzowana praca składa się z 5 rozdziałów oraz bibliografii. Łącznie są to 132 strony. Literatura liczy 132 pozycje. Układ pracy jest poprawny, podział na rozdziały prawidłowo ilustruje poszczególne etapy wykonywanego zadania.

Cel pracy został jasno sprecyzowany w rozdziale pierwszym, na stronie 8: „Główny cel pracy stanowi opracowanie nowej metody automatycznego tworzenia zindywidualizowanych, powierzchniowych, trójwymiarowych modeli kości miednicy i okolic, w oparciu o dane pozyskane ze zdjęć tomografii komputerowej pacjenta oraz o model referencyjny szkieletu”.

Na podstawie celu i proponowanych na wstępie metod Autorka postawiła następującą tezę:

Metoda oparta o połączenie: technik morfingu zastosowanych do przekształcenia wzorcowego modelu szkieletu według danych pozyskanych z obrazów medycznych, detekcji obiektów z wykorzystaniem głębokiej sieci neuronowej oraz fuzji algorytmów segmentacji pozwala na tworzenie użytecznych, zindywidualizowanych trójwymiarowych modeli kości.

W rozdziale pierwszym Doktorantka zawarła wstęp, w którym prócz celu i tezy pracy opisała zastosowania trójwymiarowych modeli kości, przeprowadziła przegląd literatury i dostępnych rozwiązań oraz streściła proponowane rozwiązanie. Opis literatury jest rzetelny i skupia się na przedstawieniu różnych podejść do rozwiązywanego problemu. Jedynym zastrzeżeniem jest dość pobieżne potraktowanie literatury dotyczącej głębokich sieci neuronowych. Zawarto tylko trzy pozycje, a przecież ważna część pracy opiera się właśnie na tym zagadnieniu. Autorka kończy tę część na konkluzji, że sieci te dają obiecujące wyniki, ale wymagają bardzo dużej liczby danych uczących. W mojej opinii konkluzja jest słuszna, ale brakuje w niej odniesienia do bardzo popularnych w chwili obecnej sieci pretrenowanych.

Rozdział drugi zawiera opis metody segmentacji nazwanej przez Autorkę „metodą klasyczną”. Nazwa ta ma na celu odróżnić opisywany w rozdziale algorytm od tego, który znajduje się w następnym i wykorzystuje głębokie sieci neuronowe. Początek zawiera opis medycznych metod obrazowania struktur kostnych, a także ilustruje format DICOM, służący do przechowywania obrazów tomografii komputerowej i powiązanych z nimi informacji. Dalsza część rozdziału zawiera opis metod

przetwarzania obrazu oraz ich zastosowanie bezpośrednio do problemu rozwiązane przez Autorkę. Część ta obrazuje, że Doktorantka wykazała się umiejętnością budowania algorytmów przetwarzania obrazów nie tylko z metod już istniejących, ale również potrafi wprowadzać do nich autorskie modyfikacje. Na szczególną uwagę zasługuje zastosowanie algorytmu mrówkowego, użytego tu do wykrywania krawędzi poszczególnych struktur, oraz jego zrównoleglenie celem poprawy szybkości działania. W mojej opinii w rozdziale tym brakuje propozycji i przetestowania nieco większej ilości metod progowania i redukcji szumów oraz doboru poszczególnych parametrów, np. opisywana „metoda klasyczna” opiera się na algorytmie Otsu, który został zaproponowany w 1979 roku. Zaznaczyć jednak pragnę, że powyższa opinia nie wpływa na pozytywny odbiór wkładu własnego pracy Autorki, który uważam za wartościowy.

Rozdział trzeci opisuje wykorzystanie sieci YOLOv2 oraz modeli morfingu do przekształcenia modelu referencyjnego szkieletu. Doktorantka proponuje w nim autorską metodę tworzenia modelu, łącząc „model klasyczny” z algorytmami morfingu. Rozdział ten w mojej ocenie stanowi największy wkład własny, wykazuje dużą wiedzę Autorki, a subiektywnie oceniając uważam go za najciekawszy.

W rozdziale czwartym zawarto ocenę wyników, porównując budowane modele do modelu referencyjnego z użyciem miar podobieństwa. Opisuje również porównanie proponowanych w pracy metod.

Piąty rozdział to podsumowanie oraz określenie prac, które mogą zostać zrealizowane w przyszłości.

Uwagi krytyczne i pytania do pracy

Rozprawę oceniam jednoznacznie pozytywnie, chciałbym jednak, nie umniejszając w istotnym stopniu osiągnięć Autorki rozprawy, przedstawić pewne uwagi.

1. W mojej opinii w pracy, w szczególności w rozdziale drugim pojawia się zbyt dużo stałych wartości liczbowych, o których jest jedynie wspomniane, że dobrane zostały w sposób empiryczny. Np.:
 - o Str. 33 – „Empirycznie ustalono, że podział danych wejściowych na 6 klas za pomocą wielopoziomowej metody Otsu daje zadowalające rezultaty.”
 - o Str. 36 – „(...) jeśli odległość pomiędzy wartością referencyjną jest równa 80% maksymalnej wartości jasności obrazu (...)”
 - o Str. 44 – „W algorytmie wykrywania krawędzi Canny’ego wzięto pod uwagę tylko wartości z zakresu 70 do 250 (...)”
 - o Str. 49 – „(...) wartość graniczna, od której różnica jasności pomiędzy pikselami traktowana jest jako krawędź, została doświadczalnie ustawiona na równą 30 (...)”

Wyznaczanie wartości poszczególnych parametrów w sposób empiryczny jest jak najbardziej dopuszczalne, brakuje jednak w przypadku przynajmniej tych kluczowych opisu sposobu i przedstawienia wyników przemawiających za wyborem danej wartości. Dodatkowo stosowanie sztywnych wartości liczbowych wiąże się z ryzykiem, że na innym urządzeniu do tomografii wartości te nie będą dawać powtarzalnych wyników. Czy w pracy użyto danych pochodzących z jednego czy z wielu tomografów?

2. Do doboru parametrów filtra Gaussa, celem pomiaru błędu zastosowano wzór (2.8). Filtr Gaussa jest dolnoprzepustowym filtrem redukującym szum. Czy wartość MSE, której dotyczy wzór (2.8), nie wzrasta w przypadku, gdy filtr prawidłowo usuwa szum? W przypadku jednolitego obrazu zawierającego szum wartość MSE będzie najniższa, gdy nie zastosujemy żadnego filtra.
3. Na stronie 20 pojawia się wartość gęstości powietrza 1000 HU, a w tabeli 2.1 gęstość ta posiada wartość -1000 HU.
4. Str. 24. W mojej opinii w przedstawionej liście algorytmów brakuje algorytmów segmentacji działających na bazie analizy skupień czy transformaty falkowej.
5. Wyjaśnienia wymaga rozdział 2.2.4. Niezrozumiałe są powody, dla których użyto przestrzeni barw CIELab. Obrazy pochodzące z TK są obrazami szarościowymi o wartościach odpowiadających gęstości tkanek liniowo przekształconych do skali Hounsfielda. Dlaczego więc nie używać tej skali do wyznaczenia odpowiednich progów? W pracy napisano „Przestrzeń barw CIELab jest postrzegana jako bardziej równomierna niż tradycyjna przestrzeń barw XYZ.”. Wydaje się, że Autorka nie używa przestrzeni barw XYZ, po co więc to odwołanie?
6. W pracy, w rozdziale 3.2.4 napisano, że dane uczące stanowiły 90%, a testujące 10%. W jaki sposób dokonano takiego podziału? Czy zastosowano krosvalidację?
7. W pracy Autorka dopasowuje i porównuje budowane modele do modelu referencyjnego, stosując miary podobieństwa. Czy nie istnieje ryzyko, że kość, która w rzeczywistości różni się od tej z modelu referencyjnego, zbytnio się do niego nie dopasuje, tracąc swoje pierwotne kształty? Czy jest możliwy inny pomiar podobieństwa, który odwoływałby się do rzeczywistego kształtu kości, a nie do modelu referencyjnego?
8. W Rysunku 3.18 zamieniona została kolejność a) z b).

Drobne uwagi redakcyjne:

1. W części „Podziękowania” jest „Robretowi”, powinno być „Robertowi”;
2. Str. 14. Jest „zborze”, powinno być „zbiorze”;
3. Str. 18. Jest „Podobniej”, powinno być „Podobnie”;

4. Str. 41. Jest „że w podczas działania”, powinno być „że podczas działania”;
5. Rysunek 2.20. Jest „woseli”, powinno być „wokseli”;
6. Str. 75. Jest „W wypadku gdy w dany odcinek lub promień nie przetnie się (...)”, powinno być „gdy dany”.

Pomimo kilku powyższych uwag w moim przekonaniu praca od strony redakcyjnej napisana jest bardzo dobrze, a korekta wykonana poprawnie.

Główne osiągnięcia Autorki rozprawy

Do głównych osiągnięć Autorki rozprawy zaliczyć należy:

- Zaproponowanie metody tworzenia struktur trójwymiarowych z zastosowaniem klasycznych metod przetwarzania obrazu oraz algorytmu mrówkowego
- Stworzenie autorskiej wersji algorytmu mrówkowego poprzez wprowadzenie odpowiednich modyfikacji
- Stworzenie własnego algorytmu morfingu i analiza jego działania
- Opracowanie algorytmu opartego na uprzednio wytrenowanej sieci YOLO oraz algorytmach morfingu do stworzenia trójwymiarowego modelu poszczególnych struktur kostnych
- Przeprowadzenie analizy wyników, które wskazały na skuteczność proponowanych metod.

Uważam, co potwierdzają również zamieszczone w pracy wyniki, że opracowane przez Doktorantkę metody dobrze sprawdzają się w tworzeniu powierzchniowych, trójwymiarowych modeli kości, przez co w moim przekonaniu cel pracy został osiągnięty. Przeprowadzona przez Autorkę analiza wyników pozwala również na stwierdzenie, że **Metoda oparta o połączenie: technik morfingu zastosowanych do przekształcenia wzorcowego modelu szkieletu według danych pozyskanych z obrazów medycznych, detekcji obiektów z wykorzystaniem głębokiej sieci neuronowej oraz fuzji algorytmów segmentacji pozwala na tworzenie użytecznych, zindywidualizowanych trójwymiarowych modeli kości.** W moim przekonaniu postawiona teza została udowodniona.

Dodatkowo podkreślić należy, że Dyplomantka w swojej pracy wykazała umiejętności i samodzielność wymagane na tym stopniu rozwoju naukowego. Zaproponowane, opracowane oraz przetestowane metody stanowią istotny wkład Autorki w rozwój dyscypliny naukowej.

Sformułowane przeze mnie uwagi i pytania nie umniejszają w żaden sposób wartości opracowanych metod ani wysokiego poziomu badawczego rozprawy.

Podsumowanie

Moim zdaniem recenzowana praca mgr. inż. Zuzanny Krawczyk pt. „Automatyczne metody tworzenia trójwymiarowych zindywidualizowanych modeli szkieletów z wykorzystaniem morfingu” **spełnia wszystkie wymagania** stawiane rozprawom doktorskim. Wnoszę o dopuszczenie Autorki do publicznej obrony.

Michał Krak