

prof. dr hab. inż. Andrzej Obuchowicz  
Uniwersytet Zielonogórski  
Instytut Sterowania i Systemów Informatycznych  
e-mail: a.obuchowicz@issi.uz.zgora.pl

Zielona Góra, 21 sierpnia 2019

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Marty Drażkowskiej

*Identyfikacja kinematycznych modeli ruchu stawu kolanowego na podstawie  
sekwencji obrazów RTG*

opracowana na zlecenie

Rady Wydziału Informatyki Politechniki Poznańskiej

### 1. Problem badawczy i jego znaczenie

Staw kolanowy jest największym stawem w ciele ludzkim, którego funkcjonowanie jest niezwykle istotne dla wykonywania wielu czynności, zwłaszcza motorycznych. Ze względu na skomplikowaną budowę staw kolanowy ulega częstym uszkodzeniom, a także zwyrodnieniom związanym z wiekiem i intensywnością jego obciążenia. Potencjalne dokładne modele kinetyczne stawu kolanowego mogą stać się istotnym elementem procesu diagnozy jego stanu, na przykład przed i w trakcie leczenia rehabilitacyjnego. Dotychczas proponowane w literaturze rozwiązania dotyczyły modeli 2D i 3D stawu kolanowego osób dorosłych i zwykle obciążonych tą samą klasą schorzeń. Badania prowadzone u osób nieletnich, u których proces kostnienia i pełnego formowania się stawu nie jest ukończony, występowały w bardzo ograniczonym zakresie. Wobec powyższych faktów, propozycja wysoce zautomatyzowanego procesu budowy i identyfikacji modeli kinetycznych stawu kolanowego na bazie sekwencji zdjęć rentgenowskich dla szerokiego spektrum pacjentów, w sensie wieku i rodzaju schorzeń, co stanowi cel przedstawionej do opinii pracy doktorskiej, jest zasadna i jak najbardziej godna realizacji.

## 2. Wkład autora

Oryginalność wyników badań doktorantki przede wszystkim wynika z podjętego zagadnienia, budowy modelu kinetycznego stawu kolanowego dla osób nieletnich, dotychczas podejmowanego w bardzo ograniczonym zakresie w literaturze tematu. Odmienność budowy stawu kolanowego dzieci w stosunku do osób dorosłych wymusiła odmienne, nowatorskie podejście do realizacji postawionego zadania. Na szczególną uwagę zasługują:

- opracowanie zestawu kluczowych cech anatomicznych odzwierciedlających konfigurację kości stawu kolanowego na obrazach RTG, wspólnych dla osób dorosłych i nieletnich;
- opracowanie pełni automatycznej metody wykrywania punktów kluczowych na obrazach RTG reprezentatywnych dla wyżej wymienionych cech anatomicznych;
- propozycja dekompozycji modelu stawu kolanowego na modele pozycji i orientacji;
- przeprowadzenie procesu porównawczego wielu modeli alternatywnych dla każdego z podmodeli i wskazanie rozwiązania najkorzystniejszego spośród rozważanych biorąc pod uwagę zaproponowane kryteria optymalizacyjne;
- wykazanie różnic pomiędzy modelami stawów kolanowych osób niepełnoletnich i dorosłych.

Ponadto autorka wskazała, między innymi, na wysoką przydatność splotowych sieci neuronowych w zadaniach estymacji pozycji punktów kluczowych kości, a także przeprowadziła analizę porównawczą zaproponowanego modelu z modelami znanymi z literatury. Każdy z opracowywanych etapów zautomatyzowanego budowania modelu kinetycznego stawu kolanowego wymagał od doktorantki rozwiązania wielu problemów szczegółowych, wymagających rozważenia i przetestowania opcji alternatywnych.

## 3. Poprawność

Opiniowana praca, zawarta na 122 stronach, składa się z 7 rozdziałów uzupełnionych dwoma dodatkami, spisami tablic, rysunków, skrótów i symboli, oraz bibliografią zawierającą 121 pozycji cytowanej literatury, zawierającej wyczerpujący zbiór publikacji obejmujący stan badań prowadzonych w obszarze zainteresowania pracy. Rozdział pierwszy wprowadza czytelnika w rozważane zagadnienie, zaznajamia go z motywacją podjętego zadania, a także, w bardzo przejrzysty sposób, z koncepcją realizacji pracy, najpełniej wyrażoną

na schemacie 1.1 na stronie 10. Dzięki temu zabiegowi, mimo złożoności problemu, konieczności rozwiązania wielu wątków pobocznych, czytelnik w trakcie czytania pracy jest zorientowany jakiego etapu rozwiązania problemu dotyczą bieżące rozważania, ich znaczenia i wkład w całość pracy. Rozdział drugi stanowi omówienie istniejącego stanu wiedzy z zakresu modeli kinetycznych stawu kolanowego, metod identyfikacji modeli i zagadnień analizy obrazów medycznych. Rozdziały od 3 do 5 opisują zasadniczy proces rozwiązywania problemu. Całość podsumowana jest w rozdziale siódmym. Obrona struktura pracy jest właściwa i poprawnie zrealizowana. Na szczególne wyróżnienie zasługuje przejrzystość przeprowadzanych rozważań i analiz. Umiejętne wyróżnienie we wprowadzeniach i podsumowaniach rozdziałów najistotniejszych wniosków i faktów, wraz z odniesieniem do wyżej wspomnianego schematu 1.1, ułatwia czytelnikowi śledzenie myśli autora. Na szczególne wyróżnienie zasługuje również niezwykle dbałość o postać edycyjną pracy.

Z merytorycznego punktu widzenia przeprowadzone eksperymenty symulacyjne, analizy i dowody są właściwe i poprawnie zrealizowane. Stwierdzenia w większości są uzasadnione, bądź podane są odnośniki do literatury, gdzie odpowiednie uzasadnienie można odnaleźć. Wobec obszerności i wielości rozwiązywanych podzadań koniecznych do osiągnięcia głównego celu, doktorantka stanęła wobec dylematu poziomu szczegółowości prezentacji pracy a jej objętością, i podjęcia decyzji, na jakie elementy opisu postawić nacisk, a które potraktować bardziej pobieżnie. W ogólności autorka rozprawy dokonała właściwych wyborów, nie mniej w niektórych fragmentach przyjęty poziom ogólności, moim zdaniem, jest zbyt wysoki.

- **Str. 41, linia 4:** *Zastosowano szereg znanych i dobrze opisanych w literaturze technik przetwarzania obrazu do analizy zdjęć RTG. Niestety żadna nie skutkowała w zada-walającej (...)*— istotną informacją jest podanie tych technik wraz z odnośnikiem do literatury, co definiuje wariant weryfikowanej techniki.
- **Str. 59, linia 34:** *Testowano również inne typy rozkładów, jednak rozkład normalny (...)*— rozpatrywane rozkłady powinny być podane z nazwy.
- **Str. 72, dobór modelu (5.6):** *Po wstępnych symulacjach optymalizacyjnych, została dobrana następująca struktura (...)*— jaki charakter miały „symulacje optymalizacyjne”? W jakiej klasie modeli poszukiwano modelu optymalnego? Jaka była procedura przeszukiwania? Czy to tylko metoda „prób i błędów”?

Brak powyższych informacji nie pozwala czytelnikowi podjąć próby otworzenia wyników pracy, czy poszukiwania alternatywnej techniki, ponieważ nie ma wiedzy jakie obszary zostały już zweryfikowane.



Druga grupa moich uwag dotyczy zastosowania splotowych sieci neuronowych.

- Otrzymane modele sieci zawierają ogromną liczbę parametrów, wręcz przytłaczającą w stosunku do liczby danych uczących. Na przykład sieć opisana na stronie 49 to ponad 6 mln parametrów przy około 12 tys. obrazów. Dysproporcja jest oszałamiająca i podważa zaufanie do otrzymanych wyników. Komentarz nr 6 ze strony 50 rozprawy wskazuje, że znaleziono około 10 modeli o różnych strukturach, ale zbliżonych wartościach funkcji straty. Autorka na tej podstawie jednoznacznie stwierdza, że przedstawiony problem można rozwiązać przy pomocy sieci CNN. Moim zdaniem tych 10 modeli wskazuje na duży nadmiar parametrów modelu w stosunku do liczby prób uczących, w efekcie czego można na wiele sposobów dopasować się do tych prób z dowolną dokładnością. Z powyższą redundancją parametrów związana jest również łatwość przeuczenia sieci. Stąd, na przykład, stwierdzenie na stronie 77 linia 2, które wnioskuje z nieliniowości sieci neuronowej poprawność interpolacji dla walidacji wartości międzywęzłowych, jakkolwiek jest słuszne dla optymalnie dobranych sieci regresyjnych, dla analizowanych w pracy sieci może okazać się zbyt silne.
- Wobec pewnego elementu losowości w procesie uczenia sieci splotowych, związanych choćby z procesem inicjacji pierwszych wartości jej parameterów, brakuje informacji, czy wyniki zawarte w tabelach 5.8 i 5.9 dla poszczególnych modeli neuronowych otrzymano z jednokrotnego uruchomienia procesu uczenia, czy wielokrotnego. Jeżeli wielokrotnego, to czy prezentowane są wyniki najlepszego rozwiązania, czy średniego itp.

Pozostałe uwagi są natury korekcyjnej i terminologicznej.

- **Str. 5, wzór (1.10):** należy przesunąć symbol kwadratu zza nawiasu przed niego.
- **Str. 51, wzór (5.1):** sumowanie w obu sumach powinno przebiegać od 0, a nie od 1, inaczej model ze wzoru (5.5) nie należałby do klasy przedstawionej w (5.1), co więcej dopuszczalibyśmy rozwiązania trywialne.
- **Str. 42, linia 9:** nie rozumiem pojęcia „pierwszy i drugi moment gradientowy”. Zasadniczo dobrze zdefiniowane w analizie matematycznej są pojęcia gradientu i momentu, nie spotkałem się z pojęciem momentu gradientowego.
- Zdaję sobie sprawę z powszechności używania terminu *inicjalizacja*, zwłaszcza jako jednego z pierwszych kroków algorytmów. Jest to jednak zbyt techniczny anglikanizm, który mnie osobiście bardzo razi, a jest często używany przez doktorantkę w rozprawie.

W języku polskim poprawną formą jest *inicjacja* od czasownika *inicjować*. Nie ma w języku polskim czasownika *inicjalizować*.

#### **4. Wiedza kandydata**

Podjęty przez doktorantkę w rozprawie problem naukowy wymaga wiedzy i umiejętności z wielu obszarów badawczych, w szczególności z zakresu obrazowania medycznego, analizy i rozpoznawania obrazów, technik modelowania i identyfikacji, czy sztucznych sieci neuronowych i technik uczenia głębokiego. Przedstawione w rozdziałach wstępnych pracy wprowadzenie w tematykę pracy i opis jej realizacji w rozdziałach następnych wskazuje na szeroką wiedzę autorki rozprawy w powyższych obszarach i umiejętne z niej korzystanie. Ponadto doktorantka wykazała się poprawnością terminologiczną i właściwie ją stosowała.

#### **5. Podsumowanie**

Biorąc pod uwagę opinie zaprezentowane w poprzednich punktach, w tym nieliczne uwagi krytyczne, w większości natury dyskusyjnej, i wymagania zdefiniowane przez artykuł 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach i tytułach naukowych (z późniejszymi zmianami) moja ocena rozprawy pod względem trzech podstawowych kryteriów jest następująca:

A. Czy rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego?

**Zdecydowanie Tak**

B. Czy po przeczytaniu rozprawy zgadzasz się, że kandydatka posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Automatyka i Robotyka?

**Zdecydowanie Tak**

C. Czy kandydatka posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej?

**Zdecydowanie Tak**

Wnoszę o przyjęcie rozprawy przez odpowiednią Komisję powołaną przez Radę Wydziału Informatyki Politechniki Poznańskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony w dyscyplinie Automatyka i Robotyka.

