



dr hab. Maciej Szkulmowski, prof. UMK

Toruń, 4 listopada 2022

maciej.szkulmowski@fizyka.umk.pl

tel.: 56 611 3213

Recenzja rozprawy doktorskiej magister inżynier Marty Katarzyny Skrok pt. „Badanie funkcjonalnej dynamiki zmian geometrii przedniego odcinka oka”

Przedstawiona praca doktorska magister inżynier Marty Skrok dotyczy rozwoju metod metrologicznych wykorzystujących serie obrazów optycznych przekrojów przez przedni odcinek oka ludzkiego in vivo pozyskiwanych za pomocą tomografii optycznej OCT.

Autorka stawia tezę badawczą, że naturalne procesy fizjologiczne zachodzące w ludzkim organizmie znajdują odzwierciedlenie w dynamicznych zmianach właściwości geometrycznych przedniego odcinka oka, które to zmiany można rejestrować przy użyciu OCT. Celem pracy Autorki jest więc opracowanie zestawu metod analizy obrazów i danych, które pozwolą na ilościowe opisanie zmian geometrii rogówki w serii obrazów zebranych w skali czasowej rzędu 10 sekund, a następnie do wykorzystania tych zmian do analizy odkształceń przedniej powierzchni rogówki.

Praca doktorska napisana jest w języku polskim, a jej układ jest czytelny i przejrzysty. Zawiera ona 109 stron głównej części podzielonej na 8 rozdziałów z bogatym spisem literatury zawierającym 218 pozycji. Dodatkowo praca zawiera 9 stron części wstępnej i końcowej zawierającej polskie i angielskie streszczenia, oraz spisy (publikacji autorki, treści, dodatków na załączonej płycie DVD oraz symboli i oznaczeń). Rozdziały od pierwszego do piątego zawierają informacje niezbędne do zrozumienia rozwiązywanego problemu, rozdział szósty zawiera opis procedury pozyskiwania danych, a rozdział siódmy jest głównym rozdziałem merytorycznym zawierającym opisy metod analizy danych opracowane przez Autorkę i uzyskane wyniki, które są omówione w końcowym, ósmym, rozdziale.

Wstęp zawiera ogólne wprowadzenie do tematyki pracy, podaje hipotezę badawczą i zarysowuje układ pracy.

Rozdział pierwszy (Analiza i geometria przedniego odcinka oka) podaje czytelnikowi niezbędne informacje dotyczące budowy przedniego oka ludzkiego. Opis każdego elementu (rogówki, twardówki, rąbka rogówki, tęczęwki, komory przedniej, soczewki) jest wyczerpujący i zawiera informacje o ich morfologii, wymiarach i własnościach optycznych. Podana literatura pozwala na uzyskanie dodatkowej wiedzy.

Rozdział drugi (Procesy fizjologiczne potencjalnie wpływające na geometrię przedniego odcinka) wskazuje przepływ krwi, ruchy fiksacyjne oka i sakkady, zmiany stanu akomodacji, odruch



przedsionkowo-oczny oraz odruch źreniczny jako mające wpływ na geometrię przedniego odcinka oka.

Rozdział trzeci (Metody pomiaru parametrów geometrycznych przedniego odcinka oka)

pokazuje kilka znanych metod obrazowania i pomiaru parametrów geometrycznych gałki ocznej, takich jak kamera Scheimpfluga, biometry optyczne, biomikroskopy ultradźwiękowe, wideokerataskopy i profilometry fluoresceinowe. Wspomniana jest również koherencyjna tomografia optyczna OCT, która szerzej opisana jest w rozdziale czwartym.

Rozdział czwarty (Koherencyjna tomografia optyczna OCT) szczegółowo opisuje historię, zasadę działania z podziałem na różne typy detekcji oraz parametry charakteryzujące układy OCT z typowymi wartościami dla różnych realizacji detekcji.

Rozdział piąty (Pulsometr reflektancyjny) zarysowuje zasadę działania pulsometru wykorzystywanego w pomiarach do rejestracji akcji serca.

Rozdział szósty (Pozyskiwanie danych) opisuje procedurę zbierania danych oraz grupę przebadanych ochotników.

Rozdział siódmy (Metody analizy danych i otrzymane wyniki) jest głównym rozdziałem pracy, w którym autorka umieszcza opis, opracowanej przez siebie, kompleksowej metodologii analizy obrazów przedniej komory rejestrowanych w czasie za pomocą tomografii OCT. Metodologia złożona jest z szeregu kroków, które podzielone są w trzy grupy: przetwarzania wstępnego, znajdowania rąbków rogówki oraz znajdowania i analizy parametrów geometrycznych komory przedniej.

W pierwszej grupie Autorka dokonuje segmentacji i wygładzenia istotnych powierzchni w oku – przedniej i tylnej powierzchni rogówki, przedniej powierzchni tęczęwki i obu powierzchni soczewki. Następnie dokonuje korekcji dystorsji geometrycznej obrazów oka, uwzględniając fakt, że światło załamuje się na powierzchniach łamiących, czego obrazy OCT zwracane przez urządzenie pomiarowe nie uwzględniają wyświetlając punkty leżące wzdłuż pozałamanej wiązki światła prezentowane są jako linie proste. W ostatnim kroku dokonuje globalnej stabilizacji wszystkich obrazów w analizowanej serii. W tej części Autorka bazuje częściowo na pracach innych badaczy, ale układa je w spójną całość, która umożliwia jej wykonanie dalszych kroków analizy.

W części drugiej Autorka opisuje metody wyznaczania punktów rąbkowych rogówki, przedniego i tylnego, które są punktem odniesienia dla dalszych analiz. Dokonuje również szczegółowej analizy statystycznej uzyskanych wyników porównując metodę automatyczną z dwoma ludzkimi ekspertami oznaczającymi rąbki ręcznie, z której wynika, że metoda automatyczna daje wyniki zgodne z manualnymi, przy większej powtarzalności.



W części trzeciej Autorka opisuje parametry opisujące geometrię rogówki, które tam, gdzie to konieczne, określa względem wyznaczonych wcześniej położeń rąbków. Dziewięć z tych parametrów jest znanych z literatury i powszechnie używanych, a pięć jest wprowadzonych przez Autorkę. Wprowadzenie autorskich parametrów stało się możliwe po standaryzacji wyznaczania położenia rąbków rogówki.

Następnie Autorka przeprowadza analizę fourierowską wartości powyższych parametrów w czasie i wprowadza pojęcie częstotliwości osobniczych (dominujących w widmie częstotliwościowym), które następnie znajduje w widmach częstotliwościowych wszystkich wyznaczanych parametrów.

W dalszej kolejności Autorka przeprowadza analizę zależności pomiędzy częstością pulsowania krwi, zmierzonej pulsometrem, a dwoma parametrami geometrycznymi związanymi z położeniem rogówki i soczewki.

Następną metodą wprowadzona przez Autorkę jest metoda pozwalająca na opis zmian powierzchni rogówki w czasie. W tym celu Autorka wylicza drugą pochodną powierzchni rogówki, usuwa wolnozmienną średnią z wszystkich tomogramów w sekwencji, a następnie wylicza spektrogram w celu wyznaczenia charakterystycznego pasma częstości przestrzennych, w którym zachodzą największe zmiany w czasie. Ostatnim krokiem jest analiza przestrzennych zmian drugiej pochodnej powierzchni w czasie.

Rozdział ósmy (Podsumowanie wyników i wnioski) zawiera całościowe omówienie pracy, dyskusję wyników, próby wytłumaczenia obserwowanych zależności i sugestie dalszych prac.

Praca napisana jest w sposób bardzo systematyczny i ma logiczny układ z wyraźnie oddzielnymi częściami. Pierwsze 5 rozdziałów daje wystarczający zakres informacji by móc bez problemu zrozumieć dwa następujące po nich rozdziały techniczne. Główna część pracy zawierająca opracowane przez Autorkę metody pokazuje kompletną metodologię przetwarzania pozyskanych danych od surowych obrazów do parametrów, które mogą być w przyszłości zastosowane do znalezienia biomarkerów zmian patologicznych w oczach. Metodologia w mojej ocenie zawiera wszystkie niezbędne kroki do osiągnięcia tego celu. Metody zaproponowane przez Autorkę są ciekawe i wysoko oceniam koncepcję połączenia analizy czasowej z przestrzenną. W mojej ocenie dużą wartością jest usystematyzowanie sposobu wyznaczania parametrów, który w połączeniu z metodami analizy czasowo-częstotliwościowej, zarówno tymi zaproponowanymi przez Autorkę, jak i bardziej zaawansowanymi, może otworzyć nowy kierunek rozwoju diagnostyki oka z wykorzystaniem tomografii OCT.

Praca nie jest jednak wolna od aspektów, które można by ulepszyć.



Głównym problemem pracy, który osłabia wnioski wyciągane przez Autorkę, jest mała liczba przeanalizowanych zbiorów danych. W sumie przebadano 12 osób, a z każdej osoby zebrano jeden zbiór danych. W efekcie przedstawione przez Autorkę wyniki mają charakter badań eksploracyjnych i wymagają potwierdzenia na większej liczbie osób i dla większej liczby powtórzeń dla każdego badanego. W szczególności brak większej liczby powtórzeń z jednej osoby uniemożliwia wiarygodną ocenę, czy np. częstości osobnicze są powtarzalne dla danej osoby i czy nie są przypadkiem zaburzeniami losowymi – zwłaszcza, że stosunek sygnału do szumu w badanych widmach częstotliwościowych wydaje się być bardzo niski.

Poza powyższym pojawia się kilka kolejnych pytań:

1. Czy w procedurze wyznaczania widma w rozdziale 7.3.2 kroki od 1 do 4 mają istotny wpływ na otrzymane widmo? Krok 1 może trochę wpłynąć na szum w widmie, 2 jest filtrem dolnoprzepustowym, 3 wpłynie tylko na amplitudę pierwszych prążków widma, 4 nie wnosi do widma nic, bo informacja jest zawarta w prążkach o częstościach do połowy oryginalnej częstości próbkowania.
2. Jakie jest kryterium wyboru częstości osobniczych? Na załączonym rys. 25 nie są one znacząco różne od szumu. Uśrednienie większej liczby pomiarów pomogłoby zwiększyć SNR i wyraźniej zobaczyć składowe widma niosące informację o procesach fizjologicznych.
3. Dlaczego nie związano częstości osobniczych z tętnem, tak jak zrobiono to w kolejnym kroku w stosunku do pulsowania rogówki i soczewki?
4. Co to jest amplituda międzyszczytowa? Rozdział 7.3.7.1 nie podaje czytelnie definicji i jest przez to trudny do zrozumienia. W efekcie rysunki 33 i 34 bez tej definicji są niezrozumiałe.

Praca ma też kilka drobnych usterek redakcyjnych:

1. We Wstępie, np. na str. 10-tej, Autorka odnosi się do numeracji rozdziałów z zapewne wcześniejszej wersji pracy, w której wyniki były w oddzielnym rozdziale ósmym. Praca końcowa ma wyniki umieszczone w odpowiednich częściach rozdziału 7.
2. Rozdrobnienie struktury – dużo rozdziałów, kilka ma zaledwie 1-2 strony, struktura podrozdziałów do 5-ciu poziomów wydaje się przesadzona.
3. We wzorze (1) na str. 33 „4ln” powinno być zastąpione „2”.
4. Na str. 77 jest odniesienie do Tabeli 6, powinno być do Tabeli 18.

Wyniki otrzymane przez Autorkę zostały zaprezentowane w trzech artykułach z listy JCR (w tym dwóch pierwszoautorskich) oraz w materiale konferencyjnym i uzyskały do tej pory 6 cytowań. Autorka prezentowała wyniki swoich prac w sześciu wystąpieniach konferencyjnych w formie plakatów i wystąpienia ustnego. Była również stypendystą w grantie OPUS oraz samodzielnie zdobyła stypendium naukowe na zadania badawcze. W mojej ocenie Autorka jest obiecującym



młodym naukowcem, a rozpoczęte przez nią badania mają duży potencjał poznawczy i aplikacyjny. Wymagają jednak weryfikacji na większej liczbie zbiorów danych.

Stwierdzam, że praca doktorska spełnia wszystkie warunki określone w art. 186 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.) i wnioskuję o dopuszczenie do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Maciej Szkulnawski