

Abstract

This thesis presents the results of studies concerning the automatic investigation of optical coherence tomography (OCT) retina images. The disorders at the border of the human eye retina and vitreous (called vitreoretinal interface – VRI) can cause severe retinal damage and carry a high risk of vision loss. Their early detection and accurate assessment are beneficial for successful therapy. Current approaches for evaluating the VRI pathologies are based only on descriptive methods (subjective analysis without quantitative measurement). The author of this dissertation introduces innovative solutions for quantitative assessment of the preretinal space and VRI based on automatic OCT image analysis.

The primary measured characteristic indicative of pathological changes is the thickness of particular retina layers. For that reason, precise segmentation of OCT retinal image is the key element for parameterization of the retina and preretinal space. While manual segmentation of volumetric data is very time-consuming, current automatic methods are insufficient to investigate the changes in the vitreoretinal interface.

The author investigated individual steps of the retina image segmentation process and designed procedures for improving the automatic analysis of low quality data acquired with OCT. The research included selecting appropriate methods for speckle noise reduction and identifying low-quality image parts that hinder the overall segmentation process. In addition, the proposed improvements were evaluated for graph theory-based segmentation of retinal layers for subjects with VRI disorders.

The main research conducted by the author concerned the development of novel methods for segmentation and parameterization of VRI pathology, namely the vitreomacular traction (VMT). The proposed method uses fully convolutional neural networks. The tested architectures based on the encoder-decoder design are UNet, LFUNet, ReLayNet, AttUNet, and DRUNet. The proposed system allows for achieving preretinal space segmentation accuracy of up to 96 %.

The presented research was conducted as a part of the CAVRI (Computer Analysis of VitreoRetinal Interface) Project. This project is based on interdisciplinary cooperation between the Division of Electronic Systems and Signal Processing, Poznan University of Technology, with ophthalmology specialists from the Department of Ophthalmology, Heliodor Swiecicki University Hospital, Poznan University of Medical Sciences. The proposed solutions were tested on a specially prepared database of OCT images. In addition, the author of this thesis prepared a custom software called *OCTAnnotate* to provide the ophthalmology experts with specialized tools to evaluate the vitreoretinal interface. The methods proposed in this thesis were also implemented in this open-source software.

The obtained segmentations were the basis for automated parameterization of pathologic retina structure. The devised parameters valuable for clinicians are the volume of the preretinal space, the area of attachment of the vitreous to the retina surface, the contour of the fovea, and the parameters of the fovea pit shape. The developed techniques allowed for the generation of profiles of VMT disorder in the form of data or images understandable to clinicians. The results of experiments show that the designed algorithms provide valuable information for quantitative analysis of the VMT pathology stage and its progress in a long-term observation.

Streszczenie

W pracy przedstawiono badania dotyczące automatycznej analizy obrazów optycznej tomografii koherencyjnej (*ang. optical coherence tomography* — OCT) siatkówki oka ludzkiego. Choroby na granicy siatkówki i ciała szklanego (zwanego interfejsem szkliskowo-siatkówkowym, *ang. vitreoretinal interface* — VRI) mogą być przyczyną ciężkich uszkodzeń siatkówki i niosą ze sobą wysokie ryzyko utraty wzroku. Ich wczesne rozpoznanie i dokładna ocena są niezbędne dla skutecznej terapii. Aktualne metody oceny patologii VRI bazują na metodach opisowych (subiektywnej analizie bez pomiarów ilościowych). Autorka tej rozprawy zaproponowała innowacyjne rozwiązania ilościowej oceny przestrzeni przedsiatkówkowej oraz stanu VRI oparte na automatycznej analizie obrazów OCT.

Podstawową mierzoną cechą wskazującą na zmiany patologiczne jest grubość poszczególnych warstw siatkówki. Z tego powodu segmentacja obrazu siatkówki OCT jest kluczowym elementem parametryzacji siatkówki i przestrzeni przedsiatkówkowej. Podczas gdy ręczna segmentacja danych wolumetrycznych jest bardzo czasochłonna, dotychczasowe metody automatyczne są niewystarczające do badania zmian w interfejsie szkliskowo-siatkówkowym.

Autorka pracy badała poszczególne etapy procesu segmentacji obrazu siatkówki i opracowała procedury usprawnienia automatycznej analizy obrazów OCT niskiej jakości. Badania obejmują wybór odpowiednich metod redukcji szumu speklowego oraz identyfikację fragmentów obrazu które utrudniają proces segmentacji. Zaproponowane ulepszenia oceniono poprzez analizę skuteczności segmentacji warstw siatkówki opartej na teorii grafów dla pacjentów ze schorzeniami VRI.

Głównym tematem przeprowadzonych przez autorkę badań było opracowanie innowacyjnych metod segmentacji i parametryzacji patologii VRI: trakcji szkliskowo-plamkowej (*ang. vitreomacular traction* — VMT). Zaproponowana metoda wykorzystuje w pełni splotowe sieci neuronowe. Przetestowane architektury oparte na topologii w układzie enkoder-dekoder to: UNet, LFNNet, ReLayNet, AttUNet oraz DRUNet. Zaproponowany system pozwala na uzyskanie dokładności segmentacji przestrzeni przedsiatkówkowej do 96 %.

Zaprezentowane badania zostały wykonane w ramach projektu CAVRI (*ang. Computer Analysis of VitreoRetinal Interface*). Projekt ten bazuje na interdyscyplinarnej współpracy specjalistów Zakładu Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów, Politechniki Poznańskiej ze specjalistami Kliniki Chorób Oczu, Katedry Chorób Oczu i Optometrii, Szpitala Klinicznego im. Heliodora Święcickiego, Uniwersytetu Medycznego im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu. Zaproponowane rozwiązania zostały przetestowane na specjalnie przygotowanej bazie obrazów OCT. Opracowane metody ewaluacji VRI zostały zaimplementowane w autorskim oprogramowaniu *OCTAnnotate* udostępnionym na licencji open-source.

Uzyskane segmentacje były podstawą do automatycznej parametryzacji patologicznej struktury siatkówki. Opracowane parametry cenne dla klinicystów to objętość przestrzeni przedsiatkówkowej, obszar styku ciała szklanego i powierzchni siatkówki, obrys dołka plamki żółtej, oraz parametry kształtu dołka plamki żółtej. Opracowane techniki pozwoliły na wygenerowanie zrozumiałych przez lekarzy profili wolumetrycznych zmian VMT. Wyniki eksperymentów wskazują, że zaprojektowane algorytmy dostarczają cennych informacji do ilościowej analizy stanu patologii VMT i jej zmian w długookresowej obserwacji.