

Poznan University of Technology
Faculty of Computing and Telecommunications



Doctoral dissertation

**APPLICATION OF MACHINE LEARNING
TECHNIQUES IN GLAUCOMA DETECTION AND
CONTROL**

Hubert Świerczyński

Supervisor: Szymon Szczęsny, Ph. D., Dr. Habil.

Auxiliary supervisor: Cezary Mazurek, Ph. D.

Poznań 2024

Abstract

Glaucoma is a group of eye diseases which result in damage to the optic nerve. The disease affects many millions of patients worldwide and it is a substantial public health challenge. There is no single examination that can efficiently detect different types of glaucoma. Diagnostic routine includes diverse tests and requires significant level of experience.

Current approach for detecting glaucomatous structural damage is based mainly on optical coherence tomography. While it provides high-quality tomograms of anatomical structure of the eye, we can't use the images to track dynamic changes in this complex system which is influenced by many external factors that vary over time.

New diagnostic options independent of standard imaging techniques became available in the recent years as use of wearable medical devices is growing in many fields of healthcare. Triggerfish (Sensimed) device is based on a contact lens sensor with embedded strain gauge that measures ocular volume changes during 24-hour session. Triggerfish measurements are related to intraocular pressure changes and it can record low-amplitude ocular pulsations related to the heart rate.

This thesis considers application of machine learning techniques for analysis of data acquired using Triggerfish contact lens sensor and devices for continuous monitoring of cardiovascular system properties. Overview of basic machine learning concepts is provided before presenting the results of the research. Development of new machine learning models for glaucoma diagnosis is described thoroughly. Predictive performance of the models was estimated using cross-validation and many relevant metrics. Heart monitoring data associated with Triggerfish measurements can be used to more accurately detect glaucoma. We can improve predictive performance of the models by including measurements of the corneal biomechanical properties (e.g. corneal hysteresis).

System for the support of glaucoma diagnosis and control is proposed. It enables application of predictive models based on multi-sensor data and clinical measurements. Services for data sharing, management and visualization facilitate clinical decision-making and collaborative research.

This thesis also refers to the aspects of personalized medicine and the concept of transdisciplinarity.

Streszczenie

Jaskra to grupa postępujących neuropatii nerwu wzrokowego, przy jednoczesnych morfologicznych zmianach warstwy włókien nerwowych siatkówki. Wiele milionów pacjentów na całym świecie choruje na jaskrę, a jej wykrywanie i leczenie jest poważnym wyzwaniem dla systemu opieki zdrowotnej. Nie zaproponowano dotychczas uniwersalnej, skutecznej metody diagnozowania różnych typów jaskry. Procedura diagnostyczna obejmuje wiele badań i wymaga znacznego doświadczenia klinicznego.

Aktualne metody wykrywania zmian patologicznych związanych z jaskrą bazują przede wszystkim na optycznej tomografii koherencyjnej (OCT). Tomogramy anatomicznych struktur oka nie umożliwiają jednak obserwacji dynamicznych zmian w funkcjonowaniu tego złożonego układu, na który oddziałuje wiele zewnętrznych czynników. Wraz z wprowadzeniem przenośnych urządzeń monitorujących stan pacjenta, pojawiły się w ostatnich latach nowe opcje diagnostyczne, niezależne od standardowych technik obrazowania stosowanych w okulistyce. Urządzenie Triggerfish (Sensimed) wykorzystuje soczewkę kontaktową z wbudowanym tensometrem oporowym do pomiaru zmian kształtu rogówki w ciągu doby. Względne zmiany objętości gałki ocznej zarejestrowane tą metodą umożliwiają ocenę zmian ciśnienia wewnątrz gałki ocznej.

W rozprawie opisano zastosowanie technik uczenia maszynowego w analizie danych zarejestrowanych za pomocą sensora Triggerfish i urządzeń monitorujących w sposób ciągły parametry układu sercowo-naczyniowego. Rozprawa zawiera też przegląd podstawowych koncepcji i algorytmów uczenia maszynowego. Szczegółowo opisano proces transformacji danych i właściwości zaproponowanych modeli predykcyjnych. Przedstawiono porównanie oszacowania efektywności predykcyjnej modeli z uwzględnieniem wielu kryteriów oceny (z zastosowaniem m.in. walidacji krzyżowej). Wykazano, że uwzględnienie pomiarów właściwości biomechanicznych gałki ocznej (m.in. histereza rogówki) poprawia efektywność predykcyjną modeli. Zaproponowano wprowadzenie metod wyjaśniania predykcji generowanych przez modele dla indywidualnych przypadków w celu zwiększenia wiarygodności i zakresu wdrożenia opracowanych rozwiązań w praktyce klinicznej.

Zaprezentowano koncepcję systemu wspomagającego diagnostykę jaskry, który wykorzystuje opracowane modele predykcyjne bazujące na danych sensorycznych i klinicznych. Omówiono scenariusze wspierania współpracy badawczej i podejmowania decyzji kli-

nicznych z wykorzystaniem udostępniania, wizualizacji i eksploracji danych.

Perspektywa wdrożeniowa zaproponowanych rozwiązań została przedstawiona w kontekście założeń medycyny personalizowanej i badań transdyscyplinarnych.

W rozprawie zaprezentowano też przykłady zastosowania eksploracyjnej analizy danych do wszechstronnej charakteryzacji dostępnych danych klinicznych. Podstawowe metody statystyczne i algorytmy uczenia maszynowego zostały wykorzystane w ocenie właściwości i porównaniach grup przypadków z uwzględnieniem danych zapisanych przez urządzenie Triggerfish, parametrów układu sercowo-naczyniowego (zarejestrowanych w ciągu 24 godzin) oraz standardowych pomiarów klinicznych.