

# Streszczenie

Różne aspekty dynamiki ludzkiego oka odgrywają istotną rolę w wielu dziedzinach nauki. W niniejszej rozprawie doktorskiej pokazany z perspektywy optyki inżynierskiej jest rozwój nowego, nieinwazyjnego i ultraszybkiego urządzenia—nazwanego FreezEye Tracker—służącego do precyzyjnej estymacji ruchów oka ludzkiego. Dyskusja tu podjęta jest skupiona głównie na dziedzinach obrazowania w okulistyce, neurologii oraz neuronauki. W kontekście optyki widzenia opisany jest eksperyment dotyczący wibracji rozogniskowania w rozogniskowanych układach optycznych. Eksperyment przeprowadzony został przy użyciu układu optyki adapttywnej AO z Uniwersytetu w Murcji (Hiszpania).

Rozdział 1 wprowadza czytelnika w optykę oka ludzkiego oraz jego dynamikę związaną z układem okoruchowym. Przedstawione są podstawy optyki oka ludzkiego oraz opis aberracji falowych. Następnie opisany jest układ okoruchowy z punktu widzenia anatomii i fizjologii wraz z zaznaczeniem podstawowych funkcji mięśni gałkoruchowych. Rodzaje ruchów oka są kolejno wyjaśnione wraz z ich charakterystykami kinematycznymi.

Rozdział 2 jest wyczerpującym przeglądem literatury dotyczącej w pierwszej kolejności skaningowej oftalmoskopii konfokalnej, a następnie metod śledzenia ruchów oka. Zaczynając od opisu historycznego nacisk jest następnie przerwany na wyjaśnienie dwóch istniejących klas metod ekstrakcji ruchów oka na podstawie jego tylnego odcinka. W szczególności, metody oparte na obrazowaniu (z ang. image-based eye tracking) w ostatnich latach osiągnęły największy sukces wśród metod opartych na tylnym odcinku oka. Nie są one jednak wolne od wad, które to adresuje urządzenie rozwijane i opisane w ramach niniejszego doktoratu. Na koniec rozdziału opisane są metody pomiaru aberracji frontu falowego metoda Shack'a-Hartmann'a (SH) oraz podstawy optyki adapttywnej (AO).

Rozdział 3 opisuje rozwój działającego prototypu urządzenia Freez-Eye Tracker. Kluczowym komponentem umożliwiającym osiągnięcie obrazowania do 1240 klatek na sekundę (fps) jest dwuwymiarowy 2D (tj. tutaj w rozumieniu skanowania w dwóch osiach) mikroskaner oparty na technologii MEMS z aperturą czynną o średnicy 1 mm. Wyzwania związane z projektem układu optycznego z użyciem tak niewielkiego elementu skanującego oraz rozwiązania użyte w projekcie są opisane w tym rozdziale. Opracowane i skonstruowane moduły pracujące razem z opisanym eye trackerem, tj. skaningowy oftalmoskop konfokalny SLO o szerokim polu widzenia oraz układ fiksacji wraz ze zmodyfikowanym optometrem Badala BST są również tematyką niniejszego rozdziału. W celu zapewnienia pełności opisu przedstawione są również algorytmy służące ekstrakcji ruchów oka z zebranych klatek oraz algorytm do znajdowania sakad w policzonych trajektoriach (autor chciałby tu zaznaczyć, że algorytmy te są autorstwa innych członków zespołu Laboratorium Biofotoniki Stosowanej (LAB) i nie stanowią jego wkładu własnego). Eksperymenty z użyciem oka ludzkiego zostały przedstawione celem opisu jakości śledzenia ruchów oka za pomocą skonstruowanego urządzenia. Eksperymenty in vivo z udziałem ochotników pokazały możliwość precyzyjnej estymacji ruchów oka oraz ich kinematycznych parametrów z bardzo wysoką rozdzielczością czasową. FreezEye Tracker pokazuje wysoki potencjał do badań w kontekście neurologicznym, gdzie w parametrach trajektorii ruchu oka możliwe jest poszukiwanie ilościowych biomarkerów służących wczesnej diagnostyce chorób neurodegeneracyjnych.

Rozdział 4 skupia się na wewnętrznej dynamice optyki oka. Zaproponowany został eksperyment, którego celem było pokazanie efektów wibracji rozogniskowania na statycznie rozogniskowanym oku ludzkim. Zgodnie z predykcjami opisanymi przez Lohmann'a i Paris'a w roku 1965 dla idealnych układów optycznych, odpowiednio dobrane poziomy wibracji rozogniskowania mogą poprawić jakość obrazowania układów optycznych ze statycznym rozogniskowaniem (Lohman & Paris 1965. Applied Optics 4(4)). Wyniki pokazane tu zostały zarówno przy pomocy eksperymentów opartych na metryce ostrości widzenia visual acuity u ochotników, jak i na podstawie symulacji wizualnego wskaźnika Strehla liczonego na podstawie aberracji falowych zmierzonych u tych samych ochotników. Wskazane są również potencjalne źródła dynamiki rozogniskowania w oku ludzkim, w szczególności tak zwany z języka angielskiego "lens wobbling", czyli kołysanie się soczewki ocznej pod wpływem szybkich ruchów oka. Zadane zostaje otwarte pytanie, czy podobny mechanizm poprawiający jakość obrazowania oka ludzkiego może istnieć w naturze.

Rozdział 5 podsumowuje główne wyniki badań opisanych w pracy doktorskiej oraz wskazuje możliwe ścieżki dalszych prac.