

prof. dr hab. Ryszard Naskręcki
Laboratorium Fizyki Widzenia i Optometrii
Wydział Fizyki
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Macieja M. Bartuzela
p.t. „Optical methods for investigating aspects of the human eye dynamics”**

Przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska mgr. Macieja M. Bartuzela p.t. „Optical methods for investigating aspects of the human eye dynamics” zawiera opis oryginalnych badań, zarówno o charakterze podstawowym jak i aplikacyjnych oraz uzyskanych wyników, które pozwoliły na skonstruowanie prototypowego układu nazwanego FreeEye Tracker.

Rozprawa doktorska, napisana w języku angielskim, została przygotowana na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej - promotor prof. D. Robert Iskander, we współpracy z Katedrą Biofotoniki i Inżynierii Optycznej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu – promotor prof. Maciej Szkulmowski oraz University of Murcia - kopromotor pracy - prof. Norberto López Gil z Universidad de Murcia. Takie usytuowanie tego dużego i ambitnego przedsięwzięcia naukowego i konstrukcyjnego, szczególnie w kontekście zaplanowanych i przeprowadzonych badań wraz z zapewnieniem ich właściwego finansowania (projekt TEAM TECH (prof. Maciej Szkulmowski) oraz PRELUDIUM (Maciej Bartuzel) musiało skutkować tak znakomitym efektem końcowym.

Praca jest obszerna i liczy 228 stron w formacie książkowym, które podzielono na 5 rozdziałów poprzedzonych streszczeniami w języku polskim i angielskim. Każdy z rozdziałów kończy bardzo przydatny dla czytelnika podrozdział „Chapter summary”. Zawartość pracy odpowiada w pełni jej tytułowi, a kolejność rozdziałów i podrozdziałów jest właściwa w odniesieniu do prezentowanych treści i uzyskanych wyników. Spis treści dobrze oddaje zawartość tej pracy i ułatwia poruszanie się po obszernym i często niełatwym materiale. Szkoda jedynie, że w spisie treści nie uwzględniono Bibliografii, co sprawia wrażenie, że Rozdział 5 (Concluding remarks and futher works) ma aż 21 stron.

Praca jest bardzo dobrze zredagowana i wyedytowana (LaTeX), a zamieszczone w pracy rysunki, schematy i fotografie (bardzo dobrej jakości) są dobrze przemyślane i w sposób istotny ułatwiają jej czytanie i zrozumienie prezentowanych treści i wyników. Pracę napisano

dobrym językiem z użyciem właściwej dla obszaru badań terminologii. Bardzo nieliczne drobne uchybienia językowe lub edytorskie w żaden sposób nie wpływają na duży komfort jej czytania.

Praca ma bardzo bogatą bibliografię – 440 pozycji, z czego zdecydowana większość cytowanych pozycji to bardzo aktualne artykuły naukowe opublikowane w uznanych czasopismach naukowych o międzynarodowym obiegu. Cytowanie tych prac nie budzi żadnych wątpliwości. Pracę uzupełniają dodatki – wykaz stosowanych symboli oraz akronimów, a także wykaz osiągnięć naukowych – publikacji naukowych, prezentacji konferencyjnych oraz patentu.

Prace rozpoczyna 22 stronicowy Rozdział 1 (Chapter 1) zatytułowany „The human eye and its dynamics”. Omówienie to ma charakter wprowadzający i porządkujący, a materiał został trafnie dobrany, także w kontekście odniesienia do prac innych autorów.

Autor rozprawy jest świadomy roli wszystkich procesów, które składają się na dynamikę oka ludzkiego. Układ optyczny oka oraz system okoruchowy opisano syntetycznie, ale bez zbędnych uproszczeń. W podrozdziale 1.3 scharakteryzowano ruchy oka jako aspekt dynamiki oka ludzkiego (dynamiki zewnętrznej i dynamiki wewnętrznej). Autor jest w pełni świadomy znaczenia badań układu okoruchowego (ruchomości gałek ocznych) nie tylko ze względu na wyzwania dla metod obrazujących (np. metod skaningowych), ale także ze względu na liczne możliwości wykorzystania tej wiedzy w diagnostyce, chociażby diagnostyce zaburzeń neurologicznych. Jest wiadomym, że kontrola horyzontalnych ruchów sakkadowych odbywa się przy udziale wielu struktur mózgowych: płata potylicznego, ciemieniowego, czołowego, jąder podstawy, wzgórza, śródmózgowia, mózdzku oraz mostu pnia mózgu (Douglas P Munoz, Brian C Coe, Saccade, search and orient – the neural control of saccadic eye movements, *European Journal of Neuroscience*, 2011; 33 (11), 1945). Ruchy oka mają także istotny wpływ na jakość obrazowania oka i mogą być przyczyną licznych i często niełatwych do identyfikacji artefaktów.

Pomimo, że część wiedzy przedstawiona w Rozdziale 1 to w zasadzie „wiadomości książkowe”, to jednak ze względu na kontekst wykorzystania tej wiedzy przedstawienie takie jest uzasadnione i przydatne, szczególnie dla osób, które nie są specjalistami z „vision science”. W gruncie rzeczy jest to bowiem praca z pogranicza optometrii, diagnostyki układu wzrokowego, fizyki i inżynierii biomedycznej co stanowi jej dużą zaletę.

Rozdział 2 (Instrumentation) to 46 stronicowy opis technik pomiarowych, szczególnie skaningowej oftalmoskopii konfokalnej (SLO – Scanning Laser Ophthalmoscopy) oraz technik okulomotorycznych (eye-trackingowych). Opisy te są rzetelne i dobrze uzasadnione, z bardzo dobrym odniesieniem do aktualnej literatury z tego obszaru badań i diagnostyki. Autor jest świadomy walorów, ale także słabości, a nawet wad poszczególnych metod i technik pomiarowych, np. dużej dominacji badań dotyczących przedniej części oka. Autor koncentruje się także na ograniczeniach pomiarowych tych metod oraz możliwościach ich eliminacji.

Te dwa pierwsze rozdziały stanowią doskonałe wprowadzenie czytelnika pracy do zagłębienia się w jej właściwą tematykę. Są też ważne dla lepszego poznania motywacji do podjęcia się tych badań.

Najbardziej obszerny (56 stron) Rozdział 3 (FreeEye Tracker) jest opisem prototypowego urządzenia pomiarowego - FreeEye Tracker. Autor szczegółowo i niezwykle rzetelnie opisał przyjęte założenia, koncepcję metody oraz samego urządzenia, a także różnorodne inspiracje. Jako „nowe podejście do śledzenia tylnego odcinka oka” przyjęto istotną modyfikację metody skaningowej oftalmoskopii konfokalnej z użyciem skanera w technologii MEMS (Micro-electro-mechanical systems). Ciekawym rozwiązaniem jest wykorzystanie toru fiksacji ze zmodyfikowanym optometrem konstrukcji Badala do korekcji refrakcji osób badanych. Pokazano, że skonstruowany układ jest w stanie śledzić ruchy fiksacyjne i ruchy sakkadowe. Opisano zastosowane rozwiązania konstrukcyjne, akcentując w tym opisie liczne wyzwania, które często nie były łatwe do pokonania. Opis układu optycznego Free Eye Tracker'a jest spójny oraz bardzo precyzyjny, zarówno od strony naukowej jak i konstrukcyjnej, chociaż w dużej części ze względu na obszerność prezentowanych treści siłą rzeczy musiał być syntetyczny. Tu wyraźnie można dostrzec wykształcenie zarówno fizyczne jak i inżynierskie mgra Bartuzela. Uzyskane parametry tego urządzenia są bardzo obiecujące - częstotliwość akwizycji - 1240 klatek na sekundę, duża dokładność estymacji trajektorii - 0.039 arcmin oraz możliwość rejestracji różnych ruchów oka (np. ruchów fiksacyjnych i ruchów sakkadowych) w obrębie jednego pomiaru - nie ma więc konieczności wielokrotnego powtarzania pomiarów. Dużą zaletą tego rozwiązania jest także niezależność obrazowania od tzw. klatki referencyjnej (w porównaniu do metod z klatką referencyjną).

To wszystko świetnie rokuje w kierunku sprzężenia zaprojektowanego i zbudowanego FreeEye Trackera z urządzeniami obrazującymi, aby otrzymać aktywne śledzenie (tracking) z korekcją optyczną. Liczne dowody powyższych stwierdzeń zawarto w podrozdziale 3.4 Device

evaluation. Przedstawiono w nim kilka eksperymentów zarówno z wykorzystaniem tzw. sztucznego oka jak i badania in-vivo na grupie osób dorosłych w wieku 25-40 lat. Na tę część badań uzyskano zgodę komisji Bioetycznej UMK. Uzyskane wyniki pokazały wiele zalet testowanego urządzenia oraz pozwoliły wyznaczyć parametry graniczne, które charakteryzują proces pomiaru/obrazowania – wysoką częstość próbkowania, wysoką kątową dokładność estymacji jak i możliwość jednoczesnego wykrywania różnych ruchów oka (np. ruchów fiksacyjnych jak i sakkad).

Wysoko oceniam treść i wyniki zawarte w Rozdziale 4 (Defocus vibrations and visual acuity). Oparte na pomiarach aberracji symulacje komputerowe jakości obrazu siatkówkowego mają duże znaczenie nie tylko dla zrozumienia wielu tych subtelnych procesów, np. wpływu wibracji rozogniskowania na jakość obrazowania. Autor jest także świadomy braku ścisłych odpowiedzi na wiele pytań, np. jak układ optyczny oka reaguje na dynamiczne zmiany rozogniskowania oraz jak oscylacje soczewki oka wiążą się z ruchem oka. Ciągłe jest też wiele wyzwań związanych z optymalizacją procesu pomiarowego.

Pracę kończy liczący dwie i pół strony Rozdział 5. Concluding remarks and further work, w którym syntetycznie zebrano i podsumowano najważniejsze osiągnięcia. Dobrze, że w tej części opisano także wkład Autora w poszczególne etapy prac nad zbudowaniem i testowanie FreezEye Trackera. Wskazano także kierunki możliwych dalszych prac, także w zakresie miniaturyzacji całej konstrukcji.

Załączony wykaz osiągnięć naukowych Doktoranta istotnie wzmacniają wyniki opisane w rozprawie doktorskiej. Maciej M. Bartuzel jest współautorem 9 opublikowanych artykułów naukowych w bardzo dobrych naukowych czasopismach (w trzech z nich jest pierwszym współautorem, w trzech kolejnych jest drugim współautorem). Jest także współautorem europejskiego patentu oraz 27 komunikatów konferencyjnych. Do oczywistych sukcesów Doktoranta należy także zaliczyć uzyskanie grantu Preludium Narodowego Centrum Nauki. To wszystko wskazuje na bardzo dużą aktywność naukową zarówno Doktoranta jak i grup badawczych, w ramach których realizował swoje badania i prace konstrukcyjne.

Reasumując – bardzo wysoko oceniam osiągnięcie naukowe w postaci zaprojektowania i zbudowania prototypu FreezEye Trackera oraz wyniki przeprowadzonych badań, które do tego doprowadziły oraz pozwoliły wykonać szereg pomiarów testowych i optymalizujących. Wartość doświadczalna tych prac jest bardzo duża. Wysoko oceniam także potencjał

aplikacyjny FreeEye Trackera, w którym metoda śledzenia obrazów jest niezależna od tego w jaki sposób obrazy są rejestrowane. Potencjalne możliwości wykorzystania tej metody są szerokie - od analizy trajektorii ruchów oczu do optycznej stabilizacji obrazów w innych urządzeniach diagnostycznych (np. OCT). Potrzeby w zakresie obrazowania optycznego o niespotykanej do tej pory jakości są bowiem ogromne.

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr Macieja M. Bartuzela spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskimi zgodnie z Ustawą o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki z dnia 14 marca 2003 r oraz Ustawą Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20 lipca 2018 r. zatem wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr. Macieja M. Bartuzela do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jednocześnie, biorąc pod uwagę bardzo wysoki poziom recenzowanej rozprawy oraz bardzo dobry dorobek naukowy Autora, wnioskuję o wyróżnienie tej rozprawy doktorskiej. Wniosek ten chciałbym poprzeć także tym, że miałem możliwość wysłuchania Pana mgr. Macieja Bartuzela podczas seminarium, na którym przedstawił najważniejsze wyniki zawarte w tej rozprawie. Prezentacja ta pokazała jednoznacznie, że pomimo młodego wieku jest badaczem dobrze ukształtowanym, którzy pewnie porusza się po tym interdyscyplinarnym obszarze badań. Nie bez znaczenia była tu praca i świetne wzorce z silnych naukowo grup badawczych, w których realizował swoje badania. Mgr Bartuzel potrafi w sposób krytyczny odnosić wyniki swoich badań do prac innych autorów, wnioski wyciąga ostrożnie, ale w sposób przekonujący, silnie przy tym ważąc argumenty ilościowe. No i potrafi w sposób klarowny przedstawiać wyniki swoich badań, potrafi bronić swoich wyników oraz argumentów, ale jest także otwarty na nowe idee i pomysły. To cechuje badaczy dobrze ukształtowanych i silnie zmotywowanych do pracy naukowej.



Poznań, 26 listopada 2020 r.