

Białystok, dnia 08.09.2023r.

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej Pan magistra inżyniera Mateusza Pomianka pt.
„Możliwości estymacji pozycji źrenicy w goglach HD ze skaningowym okulografem MEMS na podstawie badań fizycznych oraz in silico”

Promotor: płk dr hab. inż. inż. Marek Piszczek

Promotor pomocniczy: dr inż. Przemysław Zagrajek

1. Podstaw formalna opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest:

- pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Instytutu Optoelektroniki, Wojskowej Akademii Technicznej, Pana prof. dr. hab. inż. Jana Karola Jabczyńskiego, z dnia 26 czerwca 2023r.

Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Mateusza Pomianka pt.: „*Możliwości estymacji pozycji źrenicy w goglach HMD ze skaningowym okulografem MEMS na podstawie badań fizycznych oraz in silico*”, opracowana pod opieką promotora Pana płk. dr. hab. inż. Marka Piszczka, prof. WAT oraz promotora pomocniczego Pana dr. inż. Przemysława Zagrajka. Recenzja została opracowana zgodnie z wymaganiami art. 175 i art. 179 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018r. poz. 1669 z późn. Zm.) oraz par. 3 ust. 1 pkt 2 rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018r. poz. 261).



2. Charakterystyka rozprawy

Celem pracy, zdefiniowanym przez Autora, jest sprawdzenie możliwości realizacji systemu śledzenia wzroku, działającego z dokładnością zbliżoną do komercyjnie dostępnych urządzeń, ale ze znacznie większą szybkością oraz przy niższych wymaganiach obliczeniowych, w oparciu o rozwiązanie skaningowe na bazie zwierciadła MEMS w torze optycznym układu pomiarowego wraz z algorytmami akwizycji danych i estymacji pozycji źrenicy. Doktorant zaplanował również opracowanie autorskich algorytmów estymacji pozycji źrenicy na podstawie danych skanowania. Konsekwencją analizy literaturowej i własnych dociekań było stwierdzenie, że skanowanie obszaru oka zwierciadłem MEMS 2D, z wykorzystaniem autorskiej metody estymacji pozycji źrenicy, w oparciu o opracowany autorski symulator układu pomiarowego oraz obiektów badań w środowisku „Unity, będzie alternatywą dla przenośnych systemów „eye-trackingowych, które bez korzystania z analizy obrazowej, uzyskują nie gorszy efekt niż stacjonarne systemy wizyjne śledzenia wzroku.

3. Ocena strony redakcyjnej rozprawy i uwagi ogólne

Praca składa się z dziewięciu rozdziałów i bibliografii. Brakuje spisu oznaczeń oraz spisu skrótów.

Trzy początkowe rozdziały są wprowadzającymi w tematykę eksplorowaną przez Doktoranta, w których podjął się opisu aparatu wzrokowego, w kontekście jego optyki, mechaniki i fizjologii, opisał metody akwizycji danych na temat ruchów oczu oraz wskazał na algorytmy identyfikacji ruchów. Dodatkowo zaprezentował istniejące techniki badawcze, co pozwoliło przyjąć do symulacji algorytmów i modeli matematycznych środowiska MATLAB, zaś na potrzeby eksperymentów w środowisku wirtualnym z wykorzystaniem geometrii 3D wykorzystać oprogramowanie Unity.

W rozdziale czwartym Autor uszczegółowił uzasadnienie podjęcia analizy problemu, a także wskazał szczegółowe cele pracy. Dodatkowo precyzyjnie opisał metodykę badań, opierając się na koncepcji Model-Based-Design. Zdefiniował model V, w którym uwzględnił etapy projektowania, implementacji i walidacji, wykorzystując pięć technik symulacyjnych.

Rozdział piąty prezentuje opis autorskiej metody estymacji pozycji źrenicy, wykorzystującej ruchome zwierciadło MEMS 2D. Dodatkowo Autor przedstawił informacje o sposobie selektywnego oświetlenia powierzchni oka promieniowaniem laserowym za pośrednictwem ruchomego mikrozwierciadła, wprowadzając autorską metodę skanowania XY.

W rozdziale szóstym Doktorant scharakteryzował narzędzia symulacyjne, używane do badań metody. Przedstawił wyniki implementacji algorytmów metody skanowania XY w środowisku MATLAB oraz zaprezentował dwa opracowane symulatory akwizycji danych in silico, w środowiskach MATLAB oraz Unity. Dodatkowo opisał możliwości symulacyjne obu środowisk i możliwą współpracę pomiędzy nimi.

Rozdział siódmy opisuje koncepcję budowy stanowiska pomiarowego, ze szczególnym uwzględnieniem aspektów energetycznych ze względu na zagrożenia fotobiologiczne oka oraz stanowiska do testów samej metody, pod kątem syntezy obrazu dla weryfikacji metody programowego odtwarzania ścieżki. W rozdziale opisano też stanowisko generujące dane na potrzeby walidacji symulatora.

Badania eksperymentalne opracowywanej metody oraz symulacje opisano w rozdziale ósmym. Autor przeprowadził pomiary na rzeczywistym stanowisku pomiarowym, po czym zwalidował i scharakteryzował symulator wirtualny, w którym prowadził dalsze badania, pozwalające na uzyskanie większego zakresu zmiennych parametrów, niż w środowisku rzeczywistym.

W rozdziale dziewiątym, na podstawie przeprowadzonych wcześniej badań, Doktorant przedstawił projekt koncepcyjny, statystycznie optymalnego układu estymującego położenie źrenicy. Wprowadził elementy projektowania mechanicznego i ocenił błędy estymacji pozycji źrenicy w funkcji jej wychylenia w obszarze skanowania. Dodatkowo porównał opracowaną autorską metodę z dostępnym komercyjnie systemem Pupil Labs.

Biorąc pod uwagę techniczną stronę pisania pracy, należy wskazać na szereg drobnych błędów edytorskich i literówek. Zastosowana przez Autora metodyka pisania, wprowadza pewną niespójność w zakresie podsumowań poszczególnych rozdziałów. Podsumowania znajdują się na początku rozdziału zamiast na końcu, przy czym Autor opisuje co wykonał, jednak wnioski wynikające z treści rozdziałów nie są literalnie wskazane i są dość ogólne. Brak spisu oznaczeń i skrótów występujących w pracy, powoduje dyskomfort w szczegółowej analizie treści. Występujące na rysunkach w wersji drukowanej małe rozmiary czcionki utrudniają ocenę (np. rys. 3.3, 5.8, 6.4, 6.5). Autor nie wprowadził również numeracji pozycji literatury przedmiotu, a także brakuje odnośników do niektórych grafik i rysunków (np. rys. 2.15, 2.21). Dodatkowo prezentowane w tabelach lub na wykresach liczby rzeczywiste zapisane są z separatorem w postaci kropki lub przecinka.

Powyższe krytyczne uwagi techniczne nie stanowią ujmy merytoryce opisanej w rozprawie, a jedynie wskazują na możliwość „doszlifowania” wizualnej strony pracy.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Zakres badań zagadnienia prezentowanego w rozprawie został wybrany poprawnie, a wnioski z analizy nie budzą wątpliwości. Problematyka przedstawiona w pracy jest aktualna i ważna, a nade wszystko dość złożona. Z tego faktu Doktorant zdaje sobie sprawę. Logicznie poprowadzony wywód, zamknięty został w monotematycznych rozdziałach.

Na uwagę zasługuje bogate doświadczenie naukowe Doktoranta, potwierdzone 23 publikacjami, we wszystkich przypadkach dotyczącymi tematyki poruszanej w rozprawie doktorskiej, przy czym Autor odniósł się jedynie do 12 publikacji tematycznych. Istotę badań zaprezentował w trzech artykułach opublikowanych w „Metrology and Measurement Systems”, „Photonics Letter of Poland” i w „Microelectronic Devices and Technologies”.

Rozprawa obejmuje szereg kroków badawczych, uszeregowanych modelem V według metodyki Model-Based-Design, związanych z opracowaniem metody śledzenia wzroku, w parciu o ruchome zwierciadło MEMS. Autor precyzyjnie przeanalizował budowę aparatu wzrokowego pod kątem jego optyki, mechaniki i fizjologii i na tej podstawie wyartykułował istniejące metody estymacji chwilowej pozycji źrenicy oka.

W oparciu o doniesienia literaturowe i dogłębny przegląd rynku urządzeń i systemów śledzenia wzroku, Autor wyodrębnił zagadnienie badawcze wobec którego opracowano metodykę badań. Cel główny pracy dotyczy nowej, autorskiej, bezobrazowej metody estymacji pozycji źrenicy oraz opracowanie i walidacja wirtualnego symulatora układu pomiarowego oraz obiektów badań.

Na uwagę zasługuje utworzenie fizycznego stanowiska badawczego, w oparciu o które przeprowadzono szereg badań metod i opracowano cyfrowego bliźniaka systemu pomiarowego, dzięki czemu możliwe było rozszerzenie zakresu parametrów pomiarowych i doszczegółowienie prowadzonych estymacji. Głównym osiągnięciem Doktoranta w tym obszarze było opracowanie symulatora

opartego na środowisku wirtualnym Unity. Umożliwiło to przeprowadzenie dodatkowych badań w zakresie niedostępnym dla opracowanego stanowiska fizycznego. Operowanie opracowanym narzędziem wirtualnym zostało zwalidowane na podstawie danych pochodzących z fizycznego układu.

W oparciu o wirtualny symulator przeprowadzono badania wpływu poszczególnych parametrów układu i metod skanowania XY na błąd estymacji pozycji źrenicy. Doktorant udowodnił, że zaproponowane metody estymacji pozycji źrenicy z użyciem mikrozwierciadła MEMS 2D mają dokładność porównywalną do rozwiązań komercyjnych oraz mogą być od nich szybsze. Śledzenie pozycji źrenicy według opracowanej metody umożliwia wykrywanie drobnych ruchów oka, co świadczy o dużym potencjale aplikacyjnym całej pracy. Dla zebranych danych (dla oka pozostającego w stałej fiksacji) dokładność według metody lokalnego skupienia wyniosła 4,11 minut kątowych, według metody dopasowania elipsy - 4,18 minut kątowych, a metodą linii detekcyjnych 1,80 minut kątowych, przy czym system komercyjny firmy Pupil Labs charakteryzował się dokładnością 3 minut kątowych.

Podsumowując powyższe rozważania można stwierdzić, że oba główne cele pracy zostały osiągnięte. Opracowano trzy autorskie metody estymacji pozycji źrenicy w oparciu o rozwiązanie techniczne bazujące na skanowaniu obszaru oka zwierciadłem MEMS 2D. Metody te spełniają postawione przed nimi wymagania dotyczące szybkości i dokładności. Dodatkowo opracowano i zwalidowano nowe narzędzie badawcze w postaci symulatora wirtualnego. Umożliwiło ono rozwiązanie trudnych do realizacji (na fizycznym stanowisku pomiarowym) problemów oraz przeprowadzenie eksperymentów przy braku odpowiedniej aparatury.

Wynikiem prac badawczych i na podstawie opracowanej koncepcji śledzenia wzroku, powstało zgłoszenie patentowe do Urzędu Patentów i Znaków Towarowych USA pt. „System for use in vision assessment and therapy extended by ocular biomarking features”, którego Doktorant był współtwórcą. Potwierdza

to aplikowalność opracowanej metody i jej użyteczność w niskonakładowych, bezobrazowych systemach śledzenia wzroku.

Do najważniejszych osiągnięć Autora, zrealizowanych i opisanych w rozprawie należy zaliczyć:

- opracowanie autorskiej metody estymacji pozycji źrenicy z wykorzystaniem metody skanowania XY,
- opracowanie i zbudowanie fizycznego stanowiska badawczego do testowania i badania metody,
- opracowanie symulatora stanowiska pomiarowego w środowisku wirtualnym Unity,
- opracowanie „cyfrowego bliźniaka” stanowiska badawczego o poszerzonych parametrach,
- wykonanie w środowisku wirtualnym badań wpływu parametrów układu na estymację pozycji źrenicy z użyciem mikrozwierciadła MEMS 2D,
- zweryfikowanie dokładności estymacji położenia źrenicy opracowanymi metodami i porównanie z metodą referencyjną – Pupil Labs,
- opracowanie zgłoszenia patentowego do Urzędu Patentów i Znaków Towarowych USA pt. „System for use in vision assessment and therapy extended by ocular biomarking features”.

5. Uwagi krytyczne

- 1) Autor na stronie 38 przywołał zależność matematyczną (2.2), która nie jest równaniem czy nierównością. Jakie jest znaczenie przedstawionej formuły matematycznej?
- 2) Na stronie 40 znajduje się równanie (2.4), które ma nieprecyzyjny opis. Proszę o uszczegółowienie tej zależności matematycznej.
- 3) Czy tabela 5.3. na stronie 83 jest wynikiem badań własnych Doktoranta, czy pochodzi z literatury (nie przywołano odnośnika do literatury)?
- 4) Czy informacje o maksymalnej dopuszczalnej ekspozycji zawarte w Dz.U. nr 217 oraz w dyrektywie 2006/25/EC, są zdaniem Doktoranta zbieżne z normą dotyczącą bezpieczeństwa fotobiologicznego PN-EN 62471 „Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych”? Który dokument jest w tym wypadku ważniejszy z punktu widzenia bezpieczeństwa użytkownika?
- 5) Na stronie 120 Doktorant wprowadza pojęcie „barwność obrazu”. Prośba o wyjaśnienie istoty tego stwierdzenia. Czy należy oczekiwać różnic, jeśli wyświetlacz będzie w innej technologii niż LCD, np.: OLED, DLP itp.?
- 6) W układzie badawczym (według opisu na stronie 123) użyto lasera Thorlabs o długości fali 635nm i mocy 1,2mW. Skoro jest to obszar pasma widzialnego oka ludzkiego, czy nie będzie to wpływało na postrzeganie przez oko i nie zakłóci obrazu obserwowanego?
- 7) Czy wielkość (średnica) źrenicy ma wpływ na pracę algorytmów metody XY?

6. Podsumowanie

Podsumowując uważam, że w recenzowanej rozprawie doktorskiej pt.: „*Możliwości estymacji pozycji źrenicy w goglach HD ze skaningowym okulografem MEMS na podstawie badań fizycznych oraz in silico*”, Doktorant wykazał się szerokim zakresem wiedzy, potwierdził umiejętność korzystania z literatury naukowej, poprawnego wnioskowania oraz tworzenia i weryfikacji programów badawczych. Doktorant prawidłowo zdefiniował problem badawczy i stosując adekwatne metody badawcze ów problem rozwiązał. Wykazał się również umiejętnościami analizy materiału badawczego, wnikliwej jego krytyki, zastosowania i rozwijania metod naukowych oraz kreacji nowych modeli rozwiązań. Praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Stwierdzam, że rozprawa Pana mgr. inż. Mateusza Pomianka spełnia wymagania stawiane przez obowiązującą Ustawę z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018r. poz. 1668 z późn. Zm.) i wnioskuję o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Z uwagi na opracowanie autorskiej, bezobrazowej metody śledzenia wzroku, działającej z dokładnością zbliżoną do komercyjnie dostępnych urządzeń, ale ze znacznie większą szybkością oraz przy niższych wymaganiach obliczeniowych, w oparciu o rozwiązanie skaningowe na bazie zwierciadła MEMS w torze optycznym układu pomiarowego wraz z algorytmami akwizycji danych i estymacji pozycji źrenicy, a także ze względu na aplikowalność rozwiązania potwierdzoną zgłoszeniem patentowym do Urzędu Patentów i Znaków Towarowych USA pt. „System for use in vision assessment and therapy extended by ocular biomarking features”, wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej autorstwa Pana mgr. inż. Mateusza Pomianka.



