

Łódź, 16.06. 2025 r.

dr hab. inż. Lidia Jackowska-Strumiłło, prof. PŁ
Instytut Informatyki Stosowanej
Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki
Politechnika Łódzka
ul. Bohdana Stefanowskiego 18,
90-537 Łódź

PRZEWODNICZĄCY RADY DYSCYPLINY
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne

prof. dr hab. inż. Wojciech Szelaąg

WYDZIAŁ AUTOMATYKI,
ROBOTYKI I I ELEKTROTECHNIKI
POLITECHNIKA POZNAŃSKA

16-06-2025

W P Ł Y N Ę Ł O

RECENZJA
Rozprawy doktorskiej
mgra inż. Kacpra Podbuckiego

pt. „*Integration of vision and sensory data in monitoring of measurement vehicle environment*” (Integracja danych wizyjnych i sensorycznych w monitorowaniu otoczenia pojazdu pomiarowego)

dla Rady Dyscypliny Naukowej „**Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne**” Politechniki Poznańskiej.

1. Temat, cel i zakres rozprawy oraz rozpatrywany w niej problem naukowy

Tematyka przedłożonej rozprawy doktorskiej dotyczy monitorowania otoczenia lotniskowego pojazdu pomiarowego przy wykorzystaniu i integracji różnorodnych danych pomiarowych z czujników i systemów wizyjnych. Temat ten mieści się w szerszym zagadnieniu monitorowania środowiska pracy i wspomaganiu w nawigacji pojazdów mobilnych o różnym przeznaczeniu, takich jak samochody, pojazdy przemysłowe, militarne, roboty, drony, pojazdy autonomiczne, itp. Analiza danych z czujników, w które wyposażone są te pojazdy oraz opracowywanie nowych algorytmów wspomagających ich sterowanie i pracę jest ważnym, złożonym i wciąż aktualnym problemem zarówno dla nauki jak i techniki.

Recenzowana rozprawa dotyczy specyficznego zagadnienia. Jej celem jest opracowanie nowych metod przetwarzania danych umożliwiających poprawę precyzji pomiarów parametrów fotometrycznych oświetlenia naziemnego umieszczonego w nawierzchni lotniska poprzez precyzyjne monitorowanie środowiska pojazdu pomiarowego przy użyciu zintegrowanych danych wizyjnych i sensorycznych.

Problem podjęty w rozprawie ma bardzo ważne znaczenie praktyczne. Odpowiednie natężenie oświetlenia lamp nawigacyjnych na pasie startowym jest kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa lotów, zwłaszcza w trudnych warunkach pogodowych. W związku z tym ciągłe monitorowanie stanu technicznego oświetlenia lotniskowego jest niezbędne. Przy dużym i systematycznie zwiększającym się natężeniu ruchu lotniczego ręczna kontrola lamp systemu przez obsługę lotniska jest zbyt wolna i niewystarczająca. Dlatego też obecnie, między innymi dzięki osiągnięciom badawczym doktoranta, okresowe kontrole parametrów oświetlenia w systemach nawigacji lotniskowej są przeprowadzane

w warunkach terenowych przy użyciu mobilnych jednostek do oceny i rejestrowania wartości fotometrycznych.

Doktorant poświęcił się temu zagadnieniu z dużym zaangażowaniem i opracował nowatorskie rozwiązania. Już w czasie studiów w ramach prac dyplomowych inżynierskiej i magisterskiej opracował mobilną platformę pomiarową wyposażoną w matrycę z szybkimi czujnikami natężenia oświetlenia, przeznaczoną do oceny jakości działania lamp lotniskowego systemu nawigacyjnego. W przedłożonej rozprawie doktorskiej skoncentrował się na poprawieniu dokładności pomiarów charakterystyki fotometrycznej zagłębionych lamp lotniskowych poprzez wykorzystanie zintegrowanych danych wizyjnych i sensorycznych do precyzyjnej lokalizacji pojazdu pomiarowego i badanych obiektów.

Tematyka rozprawy jest ważna i aktualna, i mieści się w zakresie dyscypliny naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

Autor rozprawy sprecyzował następujące szczegółowe cele badawcze:

- zebranie zbiorów danych pomiarowych dla zestawów danych pomiarowych czujników elektronicznych podczas testów laboratoryjnych i rzeczywistych
- eksperymenty sprzętowe w celu wyboru optymalnego rozwiązania do monitorowania środowiska pojazdu pomiarowego
- analiza metod przetwarzania danych z czujników GNSS, LiDAR, kamer wizyjnych i czujników oświetlenia
- propozycja rozwiązania do wielopunktowego testowania wiązki światła emitowanej przez lampy lotniskowe w celu oceny ich parametrów fotometrycznych
- opracowanie efektywnych metod analizy środowiska pojazdu pomiarowego w oparciu o zintegrowane dane wizyjne i sensoryczne.

Doktorant sformułował też następującą tezę naukową:

Proponowane zintegrowane przetwarzanie danych wizyjnych i sensorycznych pozwala na monitorowanie środowiska pojazdu w celu precyzyjnego określenia lokalizacji obiektu w celu oceny pomiaru.

Sformułowanie zagadnienia naukowego jest trafne i jasno określone. Wskazuje ono na złożony i trudny problem badawczy polegający na precyzyjnej i szybkiej lokalizacji niewielkich obiektów świetlnych wbudowanych w nawierzchnię lotniska (lamp lotniskowych) w celu przeprowadzenia dokładnego pomiaru. Dodatkową trudność stanowi istotny wpływ czynników środowiskowych na wynik pomiaru, takich jak zmiany pogody, oświetlenia, zanieczyszczenie powierzchni lamp, i inne. Należy przy tym podkreślić, że precyzyjne ustawienie pojazdu pomiarowego względem badanej lampy i padającej wiązki światła ma istotne znaczenie dla dokładności pomiaru. W pracy wskazano na możliwość rozwiązania przedstawionego problemu poprzez zastosowanie pomiarów wieloczujnikowych oraz metod przetwarzania danych wizyjnych i sensorycznych. Proponowany algorytm monitorowania otoczenia pojazdu pomiarowego w celu precyzyjnej (do ok. 2,5 cm) lokalizacji badanych obiektów pokazano na Rysunku 7.

2. Zawartość i układ rozprawy, analiza źródeł

Rozprawa jest napisana w języku angielskim; wraz z bibliografią i załącznikami liczy 179 stron oraz 13 dodatkowych stron początkowych ponumerowanych za pomocą cyfr rzymskich zawierających tytuł, streszczenia w języku polskim i angielskim, wykaz skrótów i spis treści. Praca jest podzielona na 5 rozdziałów; jest napisana w sposób zwięzły i jasny. Układ pracy jest prawidłowy. Praca jest napisana bardzo starannie pod względem edycyjnym.

Rozdział pierwszy to wprowadzenie. W rozdziale drugim rozprawy Autor dokonał obszernego przeglądu stanu wiedzy. Opisał w nim główne założenia i metody pomiarów wieloczuJNIKOWYCH. Rozdział ten stanowi cenne źródło informacji na temat systemów wieloczuJNIKOWYCH, a także czujników i urządzeń elektronicznych stosowanych do monitorowania otoczenia i lokalizacji pojazdów, takich jak: Globalny System Nawigacji Satelitarnej (GNSS), Globalny System Pozycjonowania (GPS), czujnik detekcji światła i pomiaru odległości (LiDAR), kamery CMOS i CCD, czujniki natężenia oświetlenia. Scharakteryzował też metody i urządzenia stosowane do testowania i oceny sprawności lamp oświetlenia naziemnego lotniska (AGL). Doktorant przeprowadził dokładną analizę źródeł odwołując się do prac innych naukowców oraz własnych. Głównie skoncentrował się na analizie różnych czynników wpływających na jakość pomiaru. Z przeprowadzonej analizy wyciągnął i sformułował poprawne wnioski, które wykorzystał przy projektowaniu własnych rozwiązań opisanych w kolejnych dwóch rozdziałach pracy. Należy przy tym podkreślić, że szerokie i wnikliwe podejście do tematu.

Rozdziały 3-4 zawierają opis głównych osiągnięć naukowo-badawczych doktoranta, które zostały szerzej omówione w sekcji 3. niniejszej recenzji. Rozdział 5 to podsumowanie i wnioski.

Wykaz literatury zamieszczony w pracy liczy 245 pozycji, w tym 20 publikacji naukowych, w których Doktorant jest współautorem. Literatura jest związana z tematyką rozprawy i jest bardzo aktualna. Należy podkreślić, że większość pozycji z w/w wykazu stanowią publikacje, które ukazały się od 2018 r. do chwili obecnej, a 54 z nich opublikowano po 2020 r.

3. Ocena metod i wyników naukowych, oryginalność rozprawy

W rozdziałach 3 i 4 opisane zostały autorskie rozwiązania i osiągnięcia naukowo-badawcze doktoranta.

Na etapie projektowania autorskiego wieloczuJNIKOWEGO systemu do monitorowania otoczenia pojazdu pomiarowego Kandydat przeprowadził wnikliwą analizę parametrów i właściwości jego elementów składowych dla różnych konfiguracji sprzętowych i programowych oraz różnych czynników zewnętrznych wpływających na dokładność pomiaru i zaproponował oryginalne usprawnienia. Wykazał się przy tym skrupulatnością i systematycznością. Przygotował własne unikalne zbiory danych pomiarowych zebrane na lotnisku Poznań-Ławica dla rzeczywistych obiektów. Przeprowadził testy porównawcze trzech różnych modułów GNSS Teseo-LIV3F, NEO-6M i SIM28 i analizę statystyczną uzyskanych wyników. Zaproponował algorytmy filtracji dla danych z GNSS przy użyciu parametru HDOP, które poprawiły dokładność lokalizacji obiektu o 66%. Po przeprowadzeniu wielu testów laboratoryjnych czujnika LiDAR przy różnych rozdzielczościach i ustawieniach obiektów w środowisku zaproponował zastosowanie algorytmu RANSAC z modelem

kwadratowym do korekcji estymacji odległości poszukiwanych lamp krawędziowych pasa startowego. Opracował też algorytm wykrywania lamp lotniskowych na podstawie analizy i przetwarzania danych z kamery video wykorzystujący binaryzację obrazu, podwójną dylatację i dodatkową filtrację opartą na analizie histogramu pokazany na Rysunku 80. Przy projektowaniu tego algorytmu przeprowadził analizę różnych metod przetwarzania obrazów i ich wpływ na skuteczność detekcji lamp. Przeanalizował też wpływ czynników zewnętrznych, oświetlenia i warunków atmosferycznych. Do oceny skuteczności detekcji lamp zastosował liczbowe wskaźniki jakości, stosowane do oceny jakości klasyfikacji. Dokładność proponowanego algorytmu wyniosła od 86% do 98% w zależności od warunków zewnętrznych. Na podstawie serii pomiarów porównawczych Kandydat zaproponował również korektę wielomianową charakterystyk czujnika natężenia oświetlenia BH1750 w celu poprawy dokładności pomiaru charakterystyk fotometrycznych AGL.

Kluczowym osiągnięciem Doktoranta jest opracowanie oryginalnego systemu do nadzorowania pojazdów pomiarowych, który wykorzystuje zintegrowane dane z różnych źródeł czujników i przetwarza je przy użyciu urządzeń wbudowanych lub komputera PC. Autor rozprawy zaproponował tu wiele nowatorskich rozwiązań, takich jak koncepcja autorskiego modułu czujnika opartego na fotodiodzie VTP1220FBH i mikroprocesorze ATmega328P, koncepcja matrycy pomiarowej z czujnikami oświetlenia o regularnym rozmieszczeniu, która pozwala na 297 pomiarów na sekundę dla 16 czujników oświetlenia, matryca pomiarowa o nieregularnym rozmieszczeniu czujników oświetlenia spełniająca normy Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA) i Międzynarodowej Organizacji Lotnictwa Cywilnego (ICAO), nowe algorytmy przetwarzania i fuzji danych.

Zaproponowane przez doktoranta rozwiązanie, przeprowadzone badania, oraz analiza ich wyników stanowią oryginalny i twórczy wkład Autora rozprawy w dziedzinie oceny parametrów fotometrycznych lamp lotniskowych przy użyciu pojazdów pomiarowych.

4. Uwagi dyskusyjne i krytyczne

Recenzentka nie ma uwag krytycznych, lecz tylko parę uwag dyskusyjnych.

1. Część tabel z rozdziału 3.2 powinna być przeniesiona do załącznika.
2. Aby sprowokować dyskusję prosilibym doktoranta o odpowiedź, co sądzi o zastosowaniu metod uczenia maszynowego i sztucznej inteligencji do rozwiązania niektórych problemów poruszonych w rozprawie.

5. Ocena dorobku naukowego i osiągnięć doktoranta

Mgr inż. Kacper Podbucki jest współautorem 20 publikacji i opracowań naukowych, w tym 9 artykułów w czasopismach z listy JCR, 8 publikacji z konferencji międzynarodowych ujętych w bazie Scopus, 1 zgłoszenia patentowego. Osiem z tych prac jest ściśle związanych z ocenianą rozprawą doktorską. Za najważniejsze uważam artykuły w czasopismach Applied Sciences (IF = 2,5) i Opto-electronics Review (IF = 1,3) oraz dwie publikacje w Przeglądzie Elektrotechnicznym (IF = 0,4), w których doktorant jest pierwszym autorem. Wyżej wymienione prace bezpośrednio dotyczą głównych osiągnięć doktoranta opisano główne wyniki przeprowadzonych w rozprawie badań.

Dorobek publikacyjny doktoranta jest znaczący, znacznie przekraczający standardowe wymagania stawiane pracom doktorskim. Należy podkreślić, że Jego prace są cytowane 31 razy bez autocytowań w bazie Web of Science i 35 razy w bazie Scopus, a indeks Hirsha wynosi 5 w WoS i H=3 w Scopus.

Doktorant brał udział w 4 projektach naukowych, w projekcie europejskim SMART4ALL (Selfsustained Cross-Border Customized Cyberphysical System Experiments for Capacity Building among European Stakeholder) z programu Horyzont 2020, w projekcie Inkubator Innowacyjności Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz dwóch projektach Wydziału Sterowania, Robotyki i Elektrotechniki Politechniki Poznańskiej dla młodej kadry naukowej. W jednym z ostatnio wymienionych projektów pełnił funkcje kierownika i głównego wykonawcy projektu. Tematyka wyżej wymienionych projektów jest bezpośrednio związana z tematem ocenianej rozprawy doktorskiej. Na uwagę i wyróżnienie zasługuje fakt, iż realizacja projektów odbywała się przy współpracy z Portem Lotniczym Poznań – Ławica, gdzie doktorant odbył staż naukowy i gdzie zweryfikował opracowane w rozprawie nowatorskie metody i urządzenia.

Prace doktoranta były wielokrotnie wyróżniane w konkursach organizowanych przez towarzystwa i organizacje naukowe (NOT, IEEE Poland, PTI), zdobył też kilka wyróżnień dla młodych naukowców za najlepszy referat na konferencjach międzynarodowych.

6. Podsumowanie i wniosek końcowy

Przedłożona do recenzji rozprawa dokumentuje samodzielne i oryginalne rozwiązanie trudnego problemu naukowego i zawiera opis oryginalnych osiągnięć badawczych stanowiących istotnym wkład do dyscypliny naukowej Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Autor rozprawy wykazał się rozległą i dogłębną wiedzą w w/w. dyscyplinie naukowej.

Kandydat ma wartościowy i znaczący dorobek publikacyjny i wyróżniającą się aktywność na polu osiągnięć projektowych i konstrukcyjnych.

W związku z tym stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Kacpra Podbuckiego spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce oraz Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 roku w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora. **Wniosuję do Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Kacpra Podbuckiego do publicznej obrony.**

Biorąc pod uwagę wysoki poziom merytoryczny rozprawy, oryginalność zaproponowanego rozwiązania, staranność w planowaniu i realizacji badań oraz wyróżniający się dorobek publikacyjny Kandydata wniosuję o wyróżnienie recenzowanej rozprawy doktorskiej.



Signed by /
Podpisano przez:

Lidia Maria
Jackowska-Strumiłło

Date / Data: 2025-
06-16 12:17