

Gdynia, 2025-05-23

prof. dr hab. inż. Krzysztof Górecki
Katedra Energoelektroniki
Wydział Elektryczny
Uniwersytet Morski w Gdyni



PRZEWODNICZĄCY RADY DISCYPLINY
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne

prof. dr hab. inż. Wojciech Szeląg

Recenzja rozprawy doktorskiej

**mgr inż. Kacpra Podbuckiego nt. „Integration of vision and sensory data in monitoring
of measurement vehicle environment”**

1. Uwagi ogólne

Niniejsza recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Kacpra Podbuckiego została przygotowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Poznańskiej. Rozprawa ta dotyczy badań automatycznego systemu do pomiaru parametrów lamp wykorzystywanych w oświetleniu pasa startowego na lotnisku. Jej tematyka mieści się w dyscyplinie naukowej Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Doktorant przedstawił w ocenianej rozprawie wyniki swoich badań stanowiących istotne przyczynki w zakresie techniki pomiarowej, precyzyjnego ustalania położenia badanych obiektów, właściwości czujników fotometrycznych oraz automatyzacji procesu pomiarowego.

Oceniana praca zawiera wyniki badań dotyczących integracji danych uzyskiwanych z systemów wizyjnych i sensorycznych przy monitorowaniu położenia mobilnej platformy pomiarowej i efektywności takiej platformy przy badaniu właściwości lamp tworzących oświetlenie nawigacyjne lotniska. Doktorant przeanalizował różne możliwości określania pozycji platformy pomiarowej przy użyciu systemów satelitarnych i LIDAR-u oraz zaproponował algorytmy umożliwiające zwiększenie precyzji wyznaczania tej pozycji. Zaproponowane zostały też algorytmy umożliwiające zwiększenie dokładności pomiaru charakterystyki fotometrycznej lotniskowego oświetlenia nawigacyjnego. Przeanalizowano właściwości dynamiczne wybranych czujników fotometrycznych. Zaproponowane zostały też matryce pomiarowe do badania właściwości lamp tworzących oświetlenie nawigacyjne.

Poruszane w pracy zagadnienia są ważne z punktu widzenia badania mobilnych platform pomiarowych oraz metod charakteryzacji właściwości lamp. Warto podkreślić, że wyniki badań zostały wykonane na rzeczywistym obiekcie, jakim jest lotnisko Poznań-Ławica i mogą

poprawić bezpieczeństwo ruchu lotniczego.

Tematyka podjęta w ocenianej pracy doktorskiej jest aktualna i ważna, a częściowe problemy rozważane przez Doktoranta są również poruszane w licznych pracach innych autorów, opublikowanych w kilkunastu ostatnich latach. Dowodzi to trafnego wyboru zagadnienia badawczego.

Doktorant wykazał, że zaproponowane przez Niego metody pomiarowe i algorytmy przetwarzania wyników tych pomiarów są efektywne w rozważanej aplikacji badania komponentów systemu oświetlenia nawigacyjnego lotniska. Przedstawione w rozprawie wyniki badań dowodzą wysokich kompetencji Doktoranta w zakresie techniki sensorowej, algorytmów przetwarzania danych, metod określania pozycji obiektów, charakteryzacji właściwości fotometrycznych lamp nawigacyjnych oraz planowania i realizacji badań naukowych.

2. Ocena merytoryczna pracy

Praca liczy łącznie 192 strony (179 stron treści zasadniczej i 13 stron dodatkowych) i zawiera 5 rozdziałów, wykaz cytowanej literatury, a także spis treści, listę skrótów, streszczenia w języku polskim i angielskim, wykaz rysunków i wykaz tabel oraz podziękowania.

W rozdziale pierwszym Autor zdefiniował obszar badań, których dotyczy oceniana rozprawa oraz sformułował cel naukowy badań i tezę rozprawy. Podał także informacje o swoich najważniejszych osiągnięciach naukowych i przedstawił zawartość kolejnych rozdziałów. Przedmiotem badań jest mobilna platforma pomiarowa, która umożliwia wykonywanie pomiarów właściwości fotometrycznych lamp zamontowanych w płycie lotniska. Badania obejmują precyzyjne ustalanie położenia tej platformy na lotnisku przy użyciu różnych czujników, przetwarzanie danych uzyskanych z tych czujników oraz sposób efektywnej realizacji pomiarów parametrów fotometrycznych rozważanych lamp. Doktorant sformułował następującą tezę: „Proponowane zintegrowane przetwarzanie danych wizyjnych i sensorycznych pozwala na precyzyjne określenie lokalizacji obiektu monitorującego otoczenie pojazdu pomiarowego w celu oceny pomiaru”. Doktorant wskazał, że uzyskane przez Niego wyniki badań są efektem realizacji 4 projektów finansowanych zarówno ze środków uczelniach, jak i zewnętrznych. Przedstawił także listę swoich publikacji oraz otrzymanych nagród.

Rozdział drugi opisuje informacje literaturowe na temat współczesnych metod i rozwiązań stosowanych w technice sensorowej. W szczególności przedstawił koncepcję wyznaczania położenia obiektu przy wykorzystaniu danych pochodzących z systemu nawigacji satelitarnej

(GNSS), bezwładnościowej jednostki pomiarowej (IMU) oraz drogomierza, a także z LIDAR-u, kamery oraz radaru. Opisał właściwości czujników stosowanych przy takich pomiarach oraz wskazał ich wady oraz zalety. Przedstawione zostały także metody i przyrządy pomiarowe dedykowane do badań lamp zamontowanych w płycie lotniska. Doktorant przedstawił grupy lamp wykorzystywanych do oświetlenia nawigacyjnego, zaprezentował ich charakterystyki oraz omówił sposoby ich testowania i oceny.

Rozdział 3 zawiera opis osiągnięć Autora w zakresie udoskonalenia technik lokalizacji wieloczułnikowej. W szczególności zaprezentowana została koncepcja wieloczułnikowego systemu do monitorowania pojazdu pomiarowego. Doktorant przedstawił specyfikę ustalania położenia na pasie startowym lotniska i określił wymaganą precyzję ustalenia tego położenia. Opisane zostały sekwencje danych o położeniu obiektu uzyskiwanych przy wykorzystaniu różnych systemów nawigacji satelitarnej. Przeanalizowano błąd ustalenia pozycji przy wykorzystaniu 3 różnych modułów GNSS. Wykazano doświadczalnie różnice między nimi w zakresie uzyskiwanego błędu pozycjonowania. Przeanalizowano też wpływ liczby satelitów widzianych przez testowane moduły na niedokładność ustalenia położenia. Zaproponowany został sposób zmniejszenia wartości statycznego błędu określania pozycji w oparciu o dane z systemów GNSS. Wykazano doświadczalnie, że zastosowanie tego sposobu pozwoliło na prawie trzykrotne zmniejszenie wartości rozważanego błędu. Sprawdzone też użyteczność tego sposobu w warunkach dynamicznych. Ze względu na niezadawalającą dokładność określania pozycji za pomocą systemów satelitarnych Doktorant zaproponował zastosowanie LIDAR-u do poprawy tej dokładności. Jako punkty odniesienia wykorzystano podniesione lampy krawędziowe o znanych wymiarach i znanym położeniu względem środka pasa startowego. Przedstawiono też sposób wykrywania punktów charakterystycznych w sekwencji wideo. Doktorant zaproponował koncepcję mobilnego systemu do pomiaru parametrów lamp tworzących oświetlenie nawigacyjne lotniska z wykorzystaniem analizy sekwencji wideo. Jednym z zadań realizowanych przez ten system jest wykrywanie lamp na zarejestrowanych obrazach wideo. Dzięki zaproponowanym algorytmom poprawnie wykrywane są lampy na pasie startowym zarówno przy oświetleniu słonecznym, w dzień pochmurny i w nocy przy włączonym oraz wyłączonym oświetleniu. Poprawne wykrywanie lamp osiągnięto w zakresie od 90 do prawie 100%, natomiast fałszywe wykrycie lamp występuje z częstością od 2,46% do 15%. Najgorsze wyniki uzyskano przy pomiarach realizowanych w słoneczny dzień, a najlepsze przy zachmurzonym niebie w ciągu dnia lub w nocy.

Rozdział 4 przedstawia autorską propozycję integracji czujników światła do oceny lamp tworzących oświetlenie nawigacyjne lotniska. W pierwszej części tego rozdziału

przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych dotyczących analizy rozkładu natężenia oświetlenia będącego rezultatem działania rozważanych lamp pracujących przy zasilaniu napięciem stałym lub zmiennym i przy różnej wartości mocy znamionowej. Pomiary wykonano przy wykorzystaniu czujnika z fotodiodą oraz firmowego luksomierza. Opisano zastosowany układ pomiarowy oraz wyniki pomiarów dla wybranych lamp lotniskowych. Zaproponowano wprowadzenie współczynników korekcyjnych dla pomiarów przeprowadzonych z użyciem czujnika fotodiodowego, aby skompensować różnice w przebiegach charakterystyk widmowych tego czujnika. Wykazano doświadczalnie poprawność wprowadzonej korekty. Okazała się ona skuteczna dla większości rozważanych lamp. Doktorant przedstawił wyniki pomiarów lamp lotniskowych o różnym stopniu zużycia. Wykonał też pomiary ich parametrów po odnowieniu. Doktorant zaproponował matrycę czujników natężenia oświetlenia o regularnym oraz nieregularnym rozmieszczeniu tych czujników. Przeanalizowano też możliwość uzyskania częstotliwości wykonywania pomiarów. Doktorant opracował i zbudował odpowiednie stanowisko pomiarowe. W celu uzyskania wysokiej częstotliwości wykonywania pomiarów natężenia oświetlenia, która jest niezbędna w przypadku akceptowalnie małej prędkości poruszania się platformy pomiarowej, wykorzystano matryce czujników, które przekazują dane pomiarowe do systemu rejestracji z mikroprocesorem. Przez testy laboratoryjne dobrano odpowiednie kąty obserwacji testowanych lamp dla poszczególnych czujników fotometrycznych zawartych w skonstruowanych matrycach. W wyniku przeprowadzonych badań opracowano i skonstruowano platformę pomiarową i wykazano jej praktyczną użyteczność. Sposób realizacji pomiaru i zestaw pomiarowy są przedmiotem zgłoszenia patentowego.

Rozdział 5 stanowi podsumowanie pracy. Zawiera on najważniejsze wnioski z pracy oraz kierunki przyszłych badań. Doktorant wymienił swoje najważniejsze osiągnięcia naukowe opisane w rozprawie. Stwierdził też, że teza rozprawy została wykazana.

Wykaz literatury zawiera łącznie 245 pozycji, w tym 18 prac, których współautorem jest Doktorant. Cytowane prace są w większości wydane w ostatnich 10 latach, a zatem są one aktualne. Dobór cytowanych prac świadczy o dobrej orientacji Doktoranta we współczesnej wiedzy z zakresu fotometrii, techniki sensorowej, systemów nawigacji satelitarnej, metrologii i systemów przetwarzania danych oraz zastosowań statystyki w badaniach naukowych.

3. Uwagi ogólne

Praca jest napisana w języku angielskim, w sposób na ogół zrozumiały. Jest ona zredagowana bardzo starannie i zawiera tylko drobne błędy redakcyjne. Autor zadbał o

wyjaśnienie używanych skrótów i prawidłowo dobrał kolejność prezentowanych zagadnień. Zamieszczone w pracy liczne rysunki, zdjęcia i tabele są dobrze dobrane i ułatwiają zrozumienie zagadnień poruszanych przez Autora.

W pracy przedstawiono wyniki badań Autora dotyczące opracowania koncepcji, projektu i testów mobilnej platformy do pomiarów komponentów oświetlenia nawigacyjnego lotniska. Doktorant rozwiązał problemy związane z precyzyjnym wykrywaniem położenia platformy w czasie wykonywania pomiarów oraz szybkim i wiarygodnym wykonywaniem pomiarów parametrów fotometrycznych lamp tworzących to oświetlenie. Badania obejmują zarówno rozważania teoretyczne, jak i pomiary laboratoryjne oraz pomiary wykonywane na lotnisku. Duża liczba uzyskanych danych pozwoliła na ich wiarygodną analizę statystyczną. Dzięki opracowanemu narzędziu pomiarowemu możliwa jest szybka detekcja uszkodzeń lamp usytuowanych na powierzchni lotniska, co wpływa na poprawę bezpieczeństwa ruchu lotniczego.

Do najważniejszych osiągnięć naukowych Doktoranta, przedstawionych w recenzowanej rozprawie, można zaliczyć:

- Przeprowadzenie analizy dokładności wyznaczenia położenia obiektu przy wykorzystaniu różnych odbiorników GNSS współpracujących z różnymi systemami nawigacji satelitarnej i zaproponowanie algorytmu umożliwiającego poprawę tej dokładności.
- Wykorzystanie do określenia położenia platformy pomiarowej danych pochodzących z wielu czujników.
- Opracowanie i praktyczna implementacja metody wykrywania źródeł światła w obrazie wideo.
- Opracowanie i praktyczna implementacja systemu pomiarowego zawierającego matrycę fotodetektorów do pomiarów parametrów fotometrycznych lamp lotniskowych.
- Konstrukcja platformy pomiarowej i wykonanie dużej liczby pomiarów testowych dowodzących jej praktycznej użyteczności.
- Przeprowadzenie wielu analiz ilustrujących rozkład błędów pomiaru mierzonych parametrów fotometrycznych i pomiarów położenia platformy testowej.
- Wykazanie praktycznej przydatności opracowanego systemu do wykrywania uszkodzeń lamp lotniskowych na działającym lotnisku Poznań-Ławica.

- Opublikowanie wyników prac badawczych w 18 artykułach, w tym 9 prac zamieszczono w czasopismach indeksowanych obecnie w JCR.

Osiągnięcia te dowodzą, że Doktorant opanował umiejętność formułowania problemów badawczych i ich rozwiązywania przy zastosowaniu nowoczesnych metod naukowych. Oceniana rozprawa dowodzi, że Doktorant opanował zaawansowaną wiedzę z zakresu metod pomiaru parametrów fotometrycznych, techniki sensorowej, projektowania systemów pomiarowych, analizy wyników pomiarów i oceny ich dokładności, metod precyzyjnego wyznaczania położenia obiektów oraz potrafi twórczo ją wzbogacać.

Podczas lektury tej interesującej pracy nasunęło mi się kilka uwag:

- a) Czy stosowne przepisy agencji lotniczych dopuszczają stosowanie źródeł światła LED w oświetleniu nawigacyjnym lotnisk?
- b) Czy Doktorant przewiduje przygotowanie oprogramowania, które pozwoli z odpowiednim wyprzedzeniem zlecić wymianę lamp lotniskowych, których parametry fotometryczne są bliskie minimalnym wartościom dopuszczalnym?
- c) Z przedstawionych wyników badań widać, że największe problemy z poprawną detekcją położenia lamp występują w słoneczne dni. Czy podjęto prace nad wyeliminowaniem wpływu promieniowania słonecznego na wynik pomiaru?
- d) Ile czasu trwa test całego oświetlenia nawigacyjnego lotniska przy wykorzystaniu opracowanej platformy pomiarowej pracującej przy maksymalnej dopuszczalnej prędkości poruszania się?

Uwagi powyższe mają charakter dyskusyjny i w żadnym stopniu nie obniżają wysokiej oceny pracy.

4. Uwagi szczegółowe

Oceniana praca jest zredagowana bardzo starannie, ale Autor nie ustrzegł się drobnych uchybień, które jednak nie wpływają w istotny sposób na jednoznacznie pozytywną ocenę pracy. Wybrane z tych uchybień zebrano poniżej.

- a) Informacje zawarte w rozdziale 1.3 i na Fig. 150 nie powinny być umieszczane w części zasadniczej pracy, lecz w dodatku, bo nie wnoszą merytorycznych treści do rozprawy.
- b) Pod Fig. 26 jest stwierdzenie, że wielkością fotometryczną jest lumen. Tymczasem lumen jest jednostką strumienia świetlnego, który jest wielkością fotometryczną.
- c) Na części map rozkładu natężenia oświetlenia opisy są nieczytelne ze względu na zbyt małe rozmiary tych rysunków, np. Fig. 46c.

- d) Na histogramach ilustrujących częstość występowania poszczególnych wartości błędu na osi pionowej powinna być raczej liczba próbek, a nie częstotliwość (np. Fig. 50).
- e) Na Fig. 73 prezentowane są dane dotyczące pomiaru odległości w metrach, a w opisie tego rysunku mowa jest o różnicy między wartością średnią a medianą, która to wartość została podana bez jednostki.
- f) Na Fig. 123, 124, 125 i 126 pokazano oscylogramy zawierające po 2 przebiegi. Niestety nie znalazłem informacji, co oznacza na tych rysunkach kolor niebieski, a co czerwony.
- g) Czytając pracę odniosłem wrażenie, że zawiera ona zbyt dużo szczegółów utrudniających zrozumienie istoty przeprowadzonych badań. Szkoda, że Autor nie skorzystał z możliwości umieszczenia szczegółowych wyników nadań w dodatkach, a w treści zasadniczej należało umieścić tylko reprezentatywne wyniki badań i wnioski z nich płynące.

5. Wniosek końcowy

Oceniana praca zawiera oryginalne i wartościowe wyniki stanowiące istotny wkład Doktoranta w badania właściwości mobilnych systemów pomiarowych, przeprowadzania i analizy wyników pomiarów fotometrycznych oraz ustalania położenia obiektu. Doktorant samodzielnie rozwiązał ważne zagadnienie badawcze z zakresu dyscypliny naukowej Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne oraz wykazał się znajomością aktualnej literatury naukowej w zakresie tematyki pracy. Przedstawione wyniki badań dowodzą wysokich kompetencji merytorycznych Doktoranta oraz Jego przygotowania do prowadzenia badań naukowych.

Uwagi sformułowane w punkcie 3 mają charakter dyskusyjny i wymagają ustosunkowania się do nich Doktoranta w czasie obrony.

W mojej opinii praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy prawa. W związku z tym zgłaszam wniosek do Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie mgr inż. Kacpra Podbuckiego do publicznej obrony.

Ze względu na wysoki poziom przeprowadzonych badań, ich potencjał aplikacyjny oraz fakt opublikowania znaczącej części wyników tych badań w czasopiśmie znajdujących się na liście ministerialnej oraz ujętych w JCR wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Kacpra Podbuckiego.

Garreli