

Dr hab. inż. Zbigniew Kulesza
Katedra Automatyki i Robotyki
Wydział Elektryczny
Politechnika Białostocka

Białystok, dn. 23.06.2022 r.

S E K R E T A R I A T
Rady Dyscypliny AEE

Wpłynęło dnia 5.07.2022
Zarejestrowano pod nr
Podpis dm

RECENZJA PRACY DOKTORSKIEJ

Tytuł pracy: *Occupancy grid environmental modeling for automotive applications*

Autor pracy: mgr inż. Jakub Porębski
Promotor: dr hab. inż. Paweł Skruch, prof. AGH
Promotor pomocniczy: dr inż. Krzysztof Kogut

Podstawa opracowania

Niniejsza recenzja została opracowana na prośbę Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, pana dr hab. inż. Ryszarda Sroki, prof. uczelni, wyrażoną pismem z dnia 8 kwietnia 2022 r.

Recenzowana praca jest wynikiem realizacji projektu nr 0014/DW/2018/02 w finansowanym przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego programie „Doktorat Wdrożeniowy”. Projekt był realizowany we współpracy Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie oraz firmy Aptiv Services Poland S.A. w Krakowie.

Zakres i temat pracy

W pracy poruszono problemy wykorzystania wielowarstwowych siatek zajętości do modelowania otoczenia poruszającego się pojazdu samochodowego.

Znane są różne metody modelowania otoczenia poruszających się obiektów: z wykorzystaniem map rastrowych, wektorowych, semantycznych. Siatki zajętości mogą być zaliczone do metod wykorzystujących mapy rastrowe i są tradycyjnie wykorzystywane do modelowania otoczenia robotów mobilnych. W pracy podjęto próbę zastosowania siatek zajętości do modelowania otoczenia pojazdu samochodowego.

Recenzowana praca składa się ze streszczenia (w języku angielskim i polskim), ośmiu rozdziałów, dwóch załączników oraz wykazów: literatury, rysunków, tabel, skrótów i oznaczeń.

W pierwszym rozdziale przedstawiono cele i główne zadania badawcze oraz streszczono krótko najważniejsze osiągnięcia, będące wynikiem realizacji pracy. Jako główne cele pracy przyjęto:

- a) zbadanie, czy metoda siatki zajętości może być użyta w układzie sterowania pojazdu autonomicznego,

- b) opracowanie ogólnej architektury siatki zajętości do zastosowań w pojazdach autonomicznych,
- c) ocenę jakości modelu otoczenia pojazdu otrzymanego za pomocą siatki obecności,
- d) ocenę jakości filtracji zastosowanych algorytmów pobierania danych pomiarowych otoczenia.

Należy zatem ocenić, że tematyka pracy jest aktualna, a pozytywne rozwiązanie postawionych problemów badawczych będzie mieć ważne znaczenie aplikacyjne, gdyż proponowana metoda modelowania otoczenia może znaleźć zastosowanie jako element układu sterowania pojazdów autonomicznych.

W rozdziale drugim przedstawiono rys historyczny oraz stan obecny systemów automatycznego kierowania pojazdem samochodowym. Wyróżniono główne elementy układu automatycznego kierowania oraz wyjaśniono przyjmowaną powszechnie klasyfikację pojazdów autonomicznych. Podano krótkie streszczenia najważniejszych aktów normalizacyjnych z zakresu tworzenia i bezpieczeństwa oprogramowania układów sterowania pojazdów autonomicznych. Następnie przedstawiono główne zadania układu automatycznego kierowania:

- a) wyznaczanie pozycji pojazdu z wykorzystaniem różnych wersji systemu nawigacji GPS oraz inercyjnych jednostek pomiarowych IMU,
- b) pomiar otoczenia z wykorzystaniem czujników ultradźwiękowych, radarowych, lidarów i kamer wizyjnych,
- c) rozpoznanie/modelowanie otoczenia - tworzenie modelu otoczenia, śledzenie obiektów statycznych i dynamicznych),
- d) planowanie ruchu pojazdu - generowanie trajektorii poruszania się pojazdu.

Omówiono także historię oraz możliwości wykorzystania siatek zajętości w samochodach autonomicznych, zwracając uwagę na takie ich cechy, jak: możliwość prowadzenia obliczeń w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem platform sprzętowych (mikroprocesorów) instalowanych w pojazdach samochodowych, przy stosunkowo niewielkim zapotrzebowaniu na energię elektryczną i możliwością współpracy z niezbyt dokładnymi czujnikami otoczenia, przy jednoczesnym zapewnieniu determinizmu generowanego modelu otoczenia.

W rozdziale trzecim przedstawiono podstawy teoretyczne metody siatek zajętości, wprowadzając m.in. podstawowe pojęcia z zakresu prawdopodobieństwa, procesów Markowa, definicji i założeń dotyczących siatek zajętości. Omówiono krótko siatki zajętości dynamiczne, dwu i pół- oraz trój-wymiarowe, a także siatki z kompresją w postaci drzew dwójkowych, czwórkowych itd. Następnie przedstawiono dwie podstawowe architektury siatek zajętości oraz kolejne etapy procesu tworzenia modelu otoczenia za pomocą siatek zajętości:

- a) pobieranie i przetwarzanie danych z czujników pozycji oraz czujników otoczenia,
- b) modelowanie czujników otoczenia - model prosty, model odwrotny oraz podwójny model odwrotny czujnika,
- c) wyróżnienie czterech stanów każdej komórki siatki: wolny, statyczny, nieznan, dynamiczny,
- d) fuzja danych pochodzących z różnych czujników otoczenia i akumulacja tych danych w komórkach siatki,
- e) zanikanie (starzenie się) danych w komórkach siatki na skutek ruchu pojazdu,
- f) przesuwanie siatki na skutek ruchu pojazdu,
- g) rozwiązywanie konfliktu danych dostarczanych przez jeden oraz przez wiele czujników otoczenia.

Rozdział czwarty zawiera omówienie i porównanie metod fuzji danych pobieranych z różnych czujników otoczenia w wielowarstwowej siatce zajętości. Przedstawione zostały m.in.: dobrze znana metoda Bayesa, metoda Dempstera-Shafera oraz nowa metoda Dezerta-Smarandache'a. Dla metod tych wprowadzono tradycyjne oraz opracowano własne reguły kombinacji danych pochodzących z różnych czujników. Zaproponowano nową metodę prezentacji graficznej siatki zajętości, w której komórki siatki są wizualizowane nie tylko za pomocą mapy barw (odzwierciedlającej różne stany danej komórki), lecz także za pomocą barwnych wykresów kołowych, ukazujących udział procentowy każdego stanu w danej komórce.

W rozdziale piątym omówiono problemy filtracji i przetwarzania danych pomiarowych pochodzących z czujników otoczenia. Wskazano różne źródła zakłóceń i niedokładności pomiaru, takie jak: dokładność i charakterystyki statyczne i dynamiczne użytych czujników, błędy synchronizacji danych pochodzących z różnych czujników (na skutek opóźnień w transmisji danych pomiarowych), błędy montażu (w tym drgań czujników), błędy odczytu prędkości i położenia pojazdu. Zdefiniowano kluczowe wskaźniki jakości siatki, tzw. KPI, za pomocą których dokonywana jest ocena poprawności wykrywania i identyfikacji przez siatkę zajętości danych obiektów otoczenia. Wskaźniki te to: zgodność, pole powierzchni obiektu oraz maksymalna entropia, przy czym obiekty otoczenia są wykrywane za pomocą gęstościowego algorytmu grupującego DBSCAN.

W rozdziale szóstym przedstawiono przebieg oraz wyniki weryfikacji symulacyjnej proponowanych metod tworzenia siatek zajętości. Korzystając z przybornika Driving Scenario Designer programu Matlab, opracowano prosty scenariusz testowy jazdy pojazdu po torze krzywoliniowym o długości 250 m, wyposażonym w 130 bocznych znaczników (takich jak np. znaki drogowe, słupki kilometrowe, pnie drzew). Pojazd testowy porusza się z prędkością 20 m/s i jest wyposażony w pięć czujników radarowych (cztery w rogach pojazdu oraz jeden z przodu pojazdu). Opisano konfigurację siatki zajętości (rozmiar całej siatki, rozmiar pojedynczej komórki, pozycja pojazdu względem siatki), wprowadzono 12 różnych zakłóceń generowanych przez czujniki radarowe (np. niedokładność odczytu kąta odchylenia, błąd pozycji czujnika w kierunkach x oraz y). Charakterystyki każdego rodzaju błędu generowanego przez czujniki przedstawiono za pomocą wykresów skrzypcowych. Przyjęto dwa rodzaje modelu odwrotnego czujników: model pojedynczego punktu oraz model kartezyjski 2D. Symulacje przeprowadzono przy kilku wartościach prędkości zanikania danych w siatce. Wyniki, w postaci wykresów skrzypcowych kluczowych wskaźników jakości siatki, otrzymane dla trzech badanych metod fuzji danych, tzn. metody Bayesa, metody Dempstera-Shafera oraz metody Dezerta-Smarandache'a, są zbliżone, przy czym nieznacznie lepsze wartości uzyskuje się dla metody Dezerta-Smarandache'a.

Rozdział siódmy przedstawia wyniki weryfikacji eksperymentalnej proponowanych metod tworzenia siatek zajętości. Jazdę testową przeprowadzono samochodem Peugeot 3008, wyposażonym w cztery czujniki radarowe, system wyznaczania pozycji (GPS oraz IMU) i kamerę wizyjną. Przejazd testowy odbywał się drogą szybkiego ruchu oraz drogami lokalnymi przy typowych warunkach drogowych i dobrej pogodzie. Podobnie jak przy weryfikacji symulacyjnej, dobrano odpowiednie parametry siatki zajętości, parametry modelu odwrotnego czujników, parametry zanikania danych oraz modelowania wolnej przestrzeni. Wyniki przedstawiają fragmenty siatek zajętości otrzymane za pomocą każdej z trzech testowanych metod: metody Bayesa, metody Dempstera-Shafera oraz metody Dezerta-Smarandache'a, przy wykorzystaniu tylko czujników radarowych oraz czujników radarowych,

kamery i dodatkowego lidar. Należy zaznaczyć, że dane pobierane z czujników w trakcie jazdy zarejestrowano za pomocą komputera przenośnego, a dopiero potem poddano je przetwarzaniu za pomocą proponowanych metod. W celu oceny możliwości pracy systemu, czyli tworzenia siatki i modelowania otoczenia w czasie rzeczywistym, oryginalny algorytm opracowany w programie Matlab został wyeksportowany do kodu w języku C++ (za pomocą generatora kodu Matlab). Otrzymany kod źródłowy został następnie skompilowany i uruchomiony na platformie sprzętowej Raspberry Pi 4B, przy czym wykorzystano zarejestrowane wcześniej (w trakcie jazdy testowej) dane z czujników radarowych. Maksymalny czas wykonania algorytmu tworzenia siatki zajętości nie przekrocza 40 ms, tzn. mniej niż wymagane 50 ms. Średni czas wykonania trzech testowanych algorytmów jest zbliżony i wynosi od ok. 11.7 ms do ok. 15.2 ms, przy czym średni czas wykonania algorytmu Dezerta-Smarandache'a jest nieznacznie krótszy niż czas wykonania algorytmu Dempstera-Shafera, co wynika z tego, że w algorytmie Dezerta-Smarandache'a są tylko operacje mnożenia i dodawania, a w algorytmie Dempstera-Shafera - dodatkowo operacja dzielenia. Największą zajętością pamięci charakteryzują się algorytmy Dempstera-Shafera oraz Dezerta-Smarandache'a. Przedstawione wyniki pośrednio potwierdzają zatem możliwości realizacji proponowanych algorytmów tworzenia siatki zajętości i modelowania otoczenia pojazdu w czasie rzeczywistym.

W rozdziale ósmym zawarto podsumowanie oraz wnioski końcowe z realizacji pracy. W podsumowaniu zwrócono uwagę na modularność i skalowalność proponowanego rozwiązania generowania siatki zajętości i modelowania otoczenia pojazdu; można jednak było we wcześniejszych rozdziałach wyjaśnić na czym ta modularność oraz skalowalność polega. Zaznaczono także, że rozwiązanie to zostało z powodzeniem zrealizowane w układzie sterowania rzeczywistego samochodu autonomicznego i jest oferowane komercyjnie jako opcja przy zakupie auta.

W załączniku A zamieszczono opracowane, autorskie reguły fuzji danych na siatce zajętości w oparciu o metody Dempstera-Shafera oraz Dezerta-Smarandache'a. W załączniku B znajdują się dodatkowe wyniki symulacji.

Układ pracy jest zatem w większości poprawny, przy czym rozdział 1.2 w którym zawarto najważniejsze zdaniem Autora osiągnięcia, powinien znaleźć się na końcu pracy, w podsumowaniu. Praca nie zawiera określonej tezy, a podane w rozdziale 1.1 cele pracy zostały sformułowane bardzo ogólnie. Autor mógł w kilku punktach przedstawić wyraźnie i szczegółowo, jakie są cele planowanych prac badawczych.

Podsumowując, należy zatem stwierdzić, że tematyka pracy jest aktualna i prezentuje autorskie rozwiązanie w zakresie realizacji różnych algorytmów generowania siatki zajętości oraz modelowania otoczenia na potrzeby układu sterowania autonomicznego pojazdu samochodowego. Opracowano architekturę oraz zasady doboru parametrów siatki, modelu czujników, procedury zanikania danych siatki oraz modelowania wolnej przestrzeni. Zaproponowano reguły fuzji danych z wykorzystaniem metod: Bayesa, Dempstera-Shafera oraz Dezerta-Smarandache'a. W oparciu o testową platformę sprzętową Raspberry Pi przeprowadzono badania eksperymentalne, które potwierdziły możliwości pracy proponowanego układu w czasie rzeczywistym.

Należy podkreślić znaczenie praktyczne rozwiązania problemu postawionego w celu pracy - zgodnie z informacją podaną w podsumowaniu, proponowane rozwiązanie układu

generowania siatki zajętości zostało z powodzeniem zrealizowane w układzie sterowania rzeczywistego samochodu autonomicznego.

Można zatem stwierdzić, że w wyniku realizacji pracy, jej cele, postawione w rozdziale 1.1 zostały osiągnięte.

Ocena zastosowanego piśmiennictwa

W wykazie literatury, wykorzystanej przy pisaniu pracy znalazło się 110 pozycji, w tym:

- a) najnowsze artykuły naukowe z recenzowanych czasopism (również z listy JCR), w tym artykuły twórców wykorzystanych metod fuzji danych, tzn. Dezerta, Smarandache'a, Shafera
- b) cztery artykuły naukowe z lat 2019-2021, w których autorem i współautorem jest autor recenzowanej pracy doktorskiej, w tym trzy artykuły w czasopismach z listy MEiN oraz jeden referat konferencyjny,
- c) materiały konferencyjne z uznanych konferencji krajowych i międzynarodowych,
- d) prace doktorskie,
- e) specyfikacje techniczne,
- f) raporty techniczne z projektów badawczych,
- g) monografie naukowe i inne publikacje zwarte,

o tematyce bezpośrednio związanej lub zbliżonej do tematu pracy. Zakres oraz aktualność cytowanej literatury należy zatem ocenić pozytywnie.

Ocena merytoryczna pracy

Praca prezentuje dobry poziom merytoryczny. Autor wykazał się wiedzą i umiejętnościami praktycznymi z zakresu prowadzenia badań symulacyjnych i eksperymentalnych, planowania i prowadzenia pomiarów, realizacji sprzętowej algorytmów przygotowanych wcześniej w programie Matlab. Należy także zwrócić uwagę na wytrwałość i kompetencje Autora w zakresie dotarcia do źródeł literaturowych oraz ich analizy, w celu opanowania wiedzy o nowych metodach fuzji danych z czujników pomiarowych i modelowania otoczenia pojazdów samochodowych.

Oryginalny i wartościowy wkład Autora stanowią:

- 1) Opracowanie ogólnej architektury wielowarstwowej siatki zajętości do modelowania otoczenia pojazdu samochodowego.
- 2) Opracowanie reguł fuzji danych na siatce zajętości w oparciu o metody Dempster'a-Shafer'a oraz Dezert'a-Smarandache'a.
- 3) Wprowadzenie kluczowych wskaźników jakości siatki: zgodność, pole powierzchni obiektu oraz maksymalna entropia.
- 4) Opracowanie zasad oraz praktyczne przeprowadzenie (w oparciu o badania symulacyjne) doboru parametrów: siatki zajętości, modelu czujników, procedury zanikania danych siatki oraz modelowania wolnej przestrzeni.

- 5) Eksperymentalna weryfikacja poprawności działania proponowanej metody generowania siatki zajętości, wykorzystującej trzy metody fuzji danych oraz opracowane metody filtracji i przetwarzania danych z czujników otoczenia.
- 6) Realizacja w wybranej platformie sprzętowej opracowanej metody generowania siatki zajętości i modelowania otoczenia pojazdu samochodowego i potwierdzenie możliwości jej pracy w czasie rzeczywistym.

Wydaje się, że najważniejszą nowością pracy jest wprowadzenie metody Dezert'a-Smarandache'a w algorytmie generowania siatki zajętości.

Uwagi krytyczne i kwestie dyskusyjne

W trakcie czytania opiniowanej pracy nasuwają się następujące wątpliwości lub uwagi krytyczne:

- 1) Praca nie zawiera określonej tezy, a podane w rozdziale 1.1 cele pracy zostały sformułowane bardzo ogólnie. Autor mógł w kilku punktach przedstawić wyraźnie i szczegółowo, jakie są cele planowanych prac badawczych.
- 2) Rozdział 1.2 w którym zawarto najważniejsze zdaniem Autora osiągnięcia, powinien znaleźć się na końcu pracy, w podsumowaniu.
- 3) W rozdziałach 4 oraz 5, prezentujących najważniejsze elementy proponowanej metody generowania siatki zajętości, Autor mógł wyraźnie zaznaczyć, które elementy są nowe, jego autorstwa. W szczególności projektowanie oraz testowanie siatki zajętości odbywa się w przyborniku Driving Scenario Designer programu Matlab i nie jest jasne, czy w przyborniku tym Autor wprowadził jakieś nowe elementy, przygotował nowy kod źródłowy, zaproponował nowe funkcje, czy elementy graficzne, czy też korzystał tylko z gotowych funkcji tego przybornika.
- 4) Otrzymane wyniki badań symulacyjnych oraz eksperymentalnych nie wskazują, która z badanych metod fuzji danych jest najbardziej efektywna. Wbrew oczekiwaniom, metodą tą nie jest chyba wprowadzona metoda Dezert'a-Smarandache'a - Autor powinien bardziej zdecydowanie przeprowadzić dyskusję tej kwestii i nie pozostawiać czytelnika z wątpliwościami, którą metodę ma wybrać w praktyce. W podsumowaniu warto było zatem wyraźnie wskazać którą, zdaniem Autora, metoda powinna być stosowana, albo jeśli Autor nie wskazuje tej metody, to zawrzeć wady i zalety każdej z nich, tak aby czytelnik/użytkownik mógł świadomie dokonać wyboru.
- 5) Dyskusja wyników symulacyjnych oraz eksperymentalnych w rozdziałach 6. i 7. powinna być bardziej obszerna i szczegółowa, tak aby czytelnik mógł jednoznacznie przekonać się, że przyjęte cele pracy są realizowane. Warto także byłoby zamieścić na końcu tych rozdziałów krótkie podsumowanie przeprowadzonych badań i otrzymanych wyników z odniesieniem do celów pracy.
- 6) W pracy omawiane są tylko wysokopoziomowe metody fuzji danych pochodzących z różnych czujników, a więc metody Bayesa, Demstera-Shafera oraz Dezerta-

Smarandache'a. Zwykle istotnym elementem przygotowania danych pomiarowych przed ich fuzją jest zastosowanie niskopoziomowych algorytmów przetwarzania sygnałów, takich jak: EKF (ang. extended Kalman filtering), UKF (ang. unscented Kalman filtering) EMD (ang. empirical mode decomposition), filtry Madgwicka, czy Mahonego. Czy w pracy korzystano z tych lub podobnych metod wstępnego przetwarzania sygnałów pomiarowych? Ponadto w pracy, źródłami danych pomiarowych z otoczenia są modele czujników. Sposób realizacji tych modeli nie jest jednak wyczerpująco opisany.

- 7) We wnioskach końcowych znalazło się stwierdzenie, że proponowana metoda generowania siatki zajętości charakteryzuje się modularnością i skalowalnością. Z lektury recenzowanej pracy nie wynika jednak jednoznacznie na czym ta modularność i skalowalność polega. Autor mógł to wyjaśnić wcześniej, przed końcowym podsumowaniem.
- 8) W pracy pominięto ważne szczegóły implementacyjne proponowanej metody - nie wiadomo na jakiej platformie sprzętowej zrealizowano docelowy układ generowania siatki w samochodzie autonomicznym, jak dokładnie przebiega proces tej realizacji (czy Autor korzysta z generatora kodu źródłowego Matlaba, czy też algorytmy są kodowane od podstaw itd.), jakie są osiągi docelowego układu. Można się domyślać, że szczegóły te są niedostępne, ze względu na charakter aplikacyjny recenzowanej pracy, która została przygotowana w ramach programu „Doktorat Wdrożeniowy”. Autor mógł jednak wyraźnie napisać, dlaczego i które ważne szczegóły techniczne nie są dostępne.
- 9) Nie wiadomo dlaczego w trakcie badań eksperymentalnych dane z czujników otoczenia były najpierw rejestrowane na komputerze przenośnym, a dopiero potem użyte w algorytmie zrealizowanym na platformie Raspberry Pi. Czy nie można było zainstalować platformy Raspberry Pi w samochodzie testowym, podłączyć do niej czujniki otoczenia i eksperymenty weryfikacyjne przeprowadzić w czasie rzeczywistym?
- 10) W rozdziale 7.6 jest mowa o tym, że w proponowanej metodzie generowania siatki zajętości można korzystać z różnych czujników: radarowych, ultradźwiękowych, lidarów, kamer wizyjnych. Nie wyjaśniono jednak w jaki sposób odbywa się zaadaptowanie nowego czujnika, w szczególności czujnika innego typu, niż stosowany w pracy, np. w jaki sposób należy zaadaptować kamerę wizyjną?

Drobniejsze uwagi krytyczne

Str. 34, Fig. 2.5: Na czym polega różnica między pokazanymi na rys. 2.5 ścieżkami, oznaczonymi jako „smooth” oraz „sharp”?

Str. 67: Wydaje się, że równania (4.3.1) oraz (4.2.3) prezentują takie same zależności. Dlaczego zatem zapisano je inaczej - stosując inne oznaczenia?

Str. 84: „... eigenvectors ” - chodzi raczej o wartości własne, a nie o wektory własne.

Str. 85: W rozdziale 5.3.1 ponownie omawiane są modele czujników: prosty i odwrotny, które były przedstawione wcześniej w rozdziałach 3.4.2.1 i 3.4.2.2.

Uwagi do redakcji pracy

Praca jest zredagowana starannie. Odwołania do pozycji literatury, rysunków, tabel są poprawne. Rysunki są omówione w tekście, są czytelne i bardzo dobrze ilustrują przekazywane treści. Język pracy jest poprawny - drobne błędy (jak wskazane poniżej) występują wyjątkowo:

Dedykacja: „... indrustrial...” -> „... industrial...”

Dedykacja: „... thororough...” -> „... thorough...”

Str. 25: „... (ADAS) has to perform...” -> „... (ADAS) have to perform...”

Str. 28: „... AEB...” -> „... ABS...”

Str. 30: „... on the figure 2.3...” -> „... in Fig. 2.3...”

Str. 31: „... determine...” -> „... determines...”

Str. 34: „... and has been successfully ...”

Str. 40: „... is known vehicle...” -> „... is a known vehicle...”

Str. 50: „... example processes ... is depicted...” -> „... example processes... are depicted...”

Str. 52: „... i.e. two detections...”

Str. 56: „... in the Section...” -> „... in Section...”

Str. 69: „... the equation (4.3.5), ... the Appendix A...” -> „... equation (4.3.5), ... Appendix A...”

Str. 91: „... in the simulated scenario vehicle is coming...” -> „... in the simulated scenario the vehicle is coming...”

Podsumowanie

Opiniowana praca stanowi samodzielne, oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowo-badawczego z zakresu opracowania i praktycznej realizacji nowej metody modelowania otoczenia autonomicznego pojazdu samochodowego na potrzeby jego układu sterowania. Tematyka pracy znajduje się zatem w zakresie dyscypliny naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika. Recenzowana praca prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata do stopnia doktora w tej dyscyplinie, a jej sposób jej wykonania i przygotowania świadczy o jego umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Należy podkreślić niezaprzeczalny walor praktyczny pracy, w postaci zrealizowanego w układzie sterowania rzeczywistego samochodu autonomicznego algorytmu generowania siatki zajętości, wykorzystującego badane w pracy metody fuzji danych oraz zasady doboru parametrów tego algorytmu.

Uważam, że przedstawiona praca spełnia wymagania stawiane przez obowiązującą ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i proponuję dopuścić p. mgr inż. Jakuba Porębskiego do jej publicznej obrony. Jednocześnie wyrażam nadzieję, że moje wątpliwości i uwagi krytyczne zostaną zadowolająco wyjaśnione na piśmie oraz w trakcie obrony pracy, a także uwzględnione w dalszych badaniach i publikacjach naukowych Autora.

