

Dr hab. Inż. Damian Grzechca, prof. Pol. Śl.
Politechnika Śląska
Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki
Katedra Elektroniki, Elektrotechniki i Mikroelektroniki

Gliwice, 7 czerwca 2022 r.

SEKRETARIAT
Rady Dyscypliny AEE

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Wpłynęło dnia 20. 06. 2022
Zarejestrowano pod nr

Tytuł rozprawy w jęz. angielskim: Occupancy grid environmental modeling for automotive applications

Tytuł rozprawy w jęz. polskim: Modelowanie otoczenia pojazdu za pomocą siatek zajętości w zastosowaniach automatyki samochodowej

Autor rozprawy: mgr inż. Jakub Porębski

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Paweł Skruch, prof. Akademii Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie.

Promotor pomocniczy: dr inż. Krzysztof Kogut

Niniejsza recenzja została przygotowana na zlecenie Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika, która na posiedzeniu 7 kwietnia 2022 roku powołała mnie na recenzenta niniejszej rozprawy doktorskiej, na podstawie pisma z dnia 8.04.2022r. Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika, Pana Profesora Ryszarda Sroki.

Uwagi wstępne, charakterystyka wyboru tematu i przedmiot rozprawy

Jednym z kluczowych elementów w procesie tworzenia autonomicznych pojazdów jest pozyskanie wiarygodnych informacji z otaczającego świata. Warto tutaj zauważyć, że większość aktualnie opracowanych systemów wspomagania kierowcy (ADAS – Adaptive Driver Assistance Systems) bazują na odwzorowaniu otaczającego świata albo w wybranym aspekcie, np. poprzez wyznaczanie odległości do pojazdu poprzedzającego, albo w postaci siatki zajętości. Odwzorowanie istotnych czynników otoczenia bazuje na tzw. percepcji otoczenia, która najczęściej polega na połączeniu informacji z wielu sensorów zainstalowanych na pojeździe w wiarygodną mapę zajętości. Aktualnie odwzorowanie otoczenia pojazdu postrzegane jest jako element niezbędny w stopniowym przejściu z systemów wyłącznie informacyjnych w zaawansowane systemy wspomagające, a następnie osiągnięcie kolejnych poziomów autonomicznej jazdy. Droga, którą podąża przemysł motoryzacyjny w kierunku osiągnięcia pełnej autonomii, a przede wszystkim masowej implementacji tych systemów, wydaje się być wciąż odległa, czego przyczyną jest złożona, ponieważ wpływ na nią ma wiele elementów, zaczynając od zróżnicowanego otoczenia na różnych szerokościach geograficznych, poprzez niedobory infrastruktury, a skończywszy na jakości informacji pozyskiwanej z czujników lub sensorów. Biorąc pod uwagę ostatni aspekt, tj. mnogość stosowanych sensorów do konwersji otaczających zjawisk w postać cyfrową zrozumiałą dla komputera i dalszego przetwarzania, istnieje niewątpliwa potrzeba poprawy algorytmów i procedur, ze szczególnym uwzględnieniem fuzji danych z poszczególnych systemów i sensorów. Ośrodki badawcze zajmujące się tematyką percepcji otoczenia oraz ogólnie rozumianą autonomią pojazdów poszukują nowych rozwiązań, które w konsekwencji powinny umożliwić autonomiczne przemieszczanie się, a w nieodległej przyszłości co najmniej wspomóc kierowców podczas typowych i mniej typowych sekwencji podróży. Pomimo tego, że aktualnie ścieżka do osiągnięcia pełnej autonomii wydaje się długa, to intensywny rozwój w tej

dziedzinie nastąpił wraz z dużą dostępnością m.in. kart graficznych zapewniających wydajną pracę przy akceptowalnym opóźnieniu, tzn. wypracowaniu określonego wyniku analizy otoczenia. W związku z tym stwierdzić można, że percepcja otoczenia, czyli prawidłowe odwzorowanie otaczającego pojazdu świata jest zadaniem złożonym, które wymaga w pierwszej kolejności pozyskanie danych z sensorów lub ewentualnie modułów typu lidar, radar, kamery wizyjne, kamery termowizyjne, a następnie dane te prawidłowo przetworzyć, scalić i zaklasyfikować. Biorąc pod uwagę ilość przesyłanych danych z każdego z wymienionych modułów jasnym staje się fakt, że analiza danych w akceptowalnym czasie jest utrudniona, a reżim narzucony przez systemy czasu rzeczywistego są trudne do spełnienia. Rozwiązaniem problemu dużej ilości danych i ciągłej ich interpretacji, wyszukiwaniem szczegółowych informacji w obrazach jest zastosowanie siatki (lub mapa) zajętości (occupancy grid), która może być tworzona w akceptowalnym czasie. Opierając się na siatce zajętości można w konsekwencji tworzyć inne algorytmy związane np. nawigacją. Generalnie obszar zajętości jako jednostka podstawowa ma zazwyczaj predefiniowany rozmiar, który w określonym zastosowaniu powinien być akceptowalny ze względu na wiarygodność i dokładność z uwzględnieniem czasu przetwarzania danych. Powierzchnia niezajęta (możliwe jest osiągnięcie tej pozycji) ma zazwyczaj wartość 0 (lub kolor biały), a powierzchnia zajęta 255 (reprezentowana przez kolor czarny). Wartości z przedziału od 0 do 255 mogą wystąpić na mapie, a ich wartość zależna jest od aktualnej sytuacji w otoczeniu pojazdu. Wartości te można traktować, jako koszt związany z osiągnięciem danego miejsca na mapie. Warto również wskazać, że mapy mogą także przechowywać inne informacje wspomagające nadrzędne systemy kontrolne, np. kierunek jazdy, prędkość maksymalną. Różne typy map mogą być przechowywane w postaci warstw i dostarczać pożądaną informację z odpowiednią częstością i minimalnym opóźnieniem.

W związku z silną potrzebą adaptacyjnego tworzenia siatek zajętości pod określone wyposażenie pojazdu, Doktorant stawia sobie za cel zbudowanie algorytmu, który na podstawie założonych modeli czujników percepcji otoczenia będzie wiarygodnie tworzył siatkę zajętości wokół pojazdu na podstawie fuzji danych z dostępnych sensorów pod określoną konfiguracją samochodu. Ponadto, Pan Porębski słusznie zauważa, że jest to zasadniczy warunek wstępny dla zaawansowanych systemów wspomaganie kierowcy i jazdy autonomicznej.

Na tej podstawie oceniam, że rozprawa doktorska pana magistra Jakuba Porębskiego mieści się w aktualnym nurcie badań i dotyczy problemu, który jest nietrywialny, a potencjalne korzyści wynikające z efektów realizacji badań mogą być wdrożone w przemyśle motoryzacyjnym, a potencjalnymi beneficjentami mogą być wszyscy użytkownicy pojazdów. Zawarte w pracy propozycje i analizy posiadają charakter naukowy, które w efekcie powinny umożliwić adaptacyjne tworzenie mapy zajętości na podstawie dostępnych w danym pojeździe sensorów. Praca nie posiada wprost zdefiniowanych hipotez/tez badawczych, ponieważ trudno jest oceniać zdanie „The purpose of this thesis is to investigate if the occupancy grid can be used as an automated vehicle perception system and how well it performs” jako tezę naukową. Rozdział „Objectives” należy raczej odczytywać jako całość i opisowo zawartą tezę. Stwierdzam również, że praca mieści się w nurcie aktualnych badań naukowych w dyscyplinie Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika.

Ocena merytoryczna

Praca doktorska mgr Jakuba Porębskiego jest napisana w języku angielskim i składa się z 8 rozdziałów, wykazu ważniejszych oznaczeń i skrótów, podsumowania, spisów literatury, tabel i rysunków oraz dodatków A i B, które łącznie zajmują 157 stron. Autor stawia sobie za cel stworzenie ogólnego schematu tworzenia siatki zajętości tak, aby można go było zastosować i dostosować do różnych typów czujników i zastosowań motoryzacyjnych, co jest bezpośrednio związane z potrzebą szybkiej rekonfiguracji parametrów algorytmu pod wyposażenie danego modelu pojazdu. W ramach celu głównego wskazuje również cel poboczny, którym jest określenie warunków brzegowych

związanych z tworzeniem siatki zajętości na potrzeby zastosowania w percepcji otoczenia w autonomicznym pojeździe. Zauważyć można tutaj przeplatające się dwa wątki, tj. naukowy i biznesowy. W kontekście biznesowym Doktorant ma na względzie różnym poziom wyposażenia danego pojazdu, co pociąga za sobą zmianę jakości odwzorowania otoczenia. Potrzeba biznesowa tworzy główny wątek naukowy rozprawy, który prowadzi do zastosowanie wielopoziomowej fuzji danych umożliwiającej dostrojenie algorytmów pod określone wyposażenie poprzez np. zaaplikowanie wybranych metody filtracji tak, aby osiągnąć odpowiedni poziom szacowania jakości mapy zajętości.

Motywuując podjęcie tematu rozprawy Doktorant zauważa brak wariantowości tworzenia siatki zajętości związanej z dostępnością i zależnością od zainstalowanych sensorów. Algorytm tworzenia zunifikowanej siatki zajętości umożliwi jej powszechne zastosowanie, a proces strojenia lub adaptacja mógłby być wstępnie predefiniowany na podstawie dostępnych lub zamontowanych czujników. Praca pana magistra Porębskiego wprowadza dwuetapowy algorytm mapowania otoczenia w siatkę zajętości, gdzie każda komórka reprezentuje niezależną część przestrzeni. Doktorant zakłada, że pomiary odbywają się równocześnie, dlatego wykorzystuje rekursywny estymator Bayesa do połączenia dostępnych sensorów. Jednym z najprostszych filtrów stosowanych w pracy jest Binary Bayes Filter (BBF), który umożliwia wyznaczenie prawdopodobieństwa zajęcia obszaru na mapie. Wprowadza również bardziej złożone procedury fuzji danych, takie jak teoria Dempster-Shafer lub Dezert-Smarandache, które dodatkowo są w stanie rozwiązać konflikty informacji z czujników. Wszystkie przedstawione w pracy rozwiązania opierają się na założeniu, że poszczególne komórki siatek są niezależnymi procesami stochastycznymi, co z kolei ułatwia implementację kosztem błędów aproksymacji.

Doktorant, w rozdziale drugim zatytułowanym „Automated driving systems” przedstawia krótki przegląd zautomatyzowanych systemów jazdy dostępnych w motoryzacji, opisuje rozwój systemów napędowych oraz rolę percepcji w branży samochodowej uwzględniając drogę w kierunku pełnej autonomicznej jazdy. Duża część tego rozdziału, to opis poziomów automatyzacji wraz z przykładami systemów ADAS. Wyraźnie też osadza swoją rozprawę doktorską w bloku pod nazwą percepcja. W podrozdziale 2.5 przedstawiono zalety stosowania siatki zajętości w systemach samochodowych, wskazując jednocześnie ograniczenia z czasem pozyskania danych z sensorów, kosztem urządzeń pomiarowych (powinien być relatywnie niski) oraz docelowo niewielkie zapotrzebowanie platform obliczeniowych na energię i bezpieczeństwo pozyskanej informacji wyjściowej.

W rozdziale 3 zawarto podstawy teoretyczne, założenia oraz aktualne rozwiązania (algorytmy) tworzenia siatek zajętości. Wprowadzono podstawowe definicje związane z prawdopodobieństwem, teorię Bayesa, proces tworzenia siatek zajętości, pojedynczą komórkę siatki oraz proces Markowa. W końcowej części rozdziału 3.1 przedstawiono założenia dla tworzonej siatki zajętości, a w rozdziale 3.3 wprowadzono architekturę algorytmu oraz omówiono poszczególne elementy systemu. W podrozdziale 3.5 zdefiniowano problem konfliktów, co jest rozumiane jako rozbieżna informacja o zajętości przestrzeni z dwóch lub więcej sensorów.

Rozdział 4 rozwija temat heterogenicznej fuzji informacji do tworzenia siatki zajętości. Doktorant przedstawia podejście wielopoziomowej fuzji oraz teorie Bayesa, Dempstera-Shafera i Dezerta-Smarandache. W podrozdziale 4.2 Doktorant proponuje różne architektury fuzji danych oraz sposoby i zasady ich łączenia z uwzględnieniem stosowalności w motoryzacji. Następnie definiowane są równania reguł kombinacji dla trzech analizowanych fuzji. Mgr inż. Jakub Porębski analizuje zaproponowane podejście na prostym przykładzie obliczeniowym. Przypomnieć należy, że w pracy wykorzystano typową odwrotną skalę szarości, tzn. kolor biały oznacza brak zajętości, a kolor czarny pełną zajętość danego obszaru mapy. Chociaż mapy same w sobie stanowią widowską wizualizację

i mogą służyć do jakościowej oceny środowiska, to jednak w celach obliczeniowych i dalszego przetwarzania informacji wymagana jest ocena ilościowa. Dlatego Autor w pierw pokazuje w jaki sposób wyznaczane są cząstkowe mapy zajętości za pomocą metryk: entropia, specyficzność, auto-conflict wraz z mapą źródłową, a następnie wprowadza poszczególne definicje umożliwiające ocenę pozyskanych informacji, co w konsekwencji prowadzi do podrozdziału 4.3, który zawiera najważniejszy w mojej ocenie wątek rozprawy, czyli realizacji fuzji na podstawie cząstkowych siatek zajętości. Proponowane podejście do fuzji danych z sensorów zostało przedstawione na rys. 4.5, gdzie operatorami są reguły Bayesa, kombinacja operatorów iloczynu logicznego wraz z regułą kombinacji Dempstera-Shafera oraz klasyczna i hybrydowa reguła Dezerta-Smarandachea. Zaproponowaną fuzję danych zobrazowano przykładem obliczeniowym, gdzie wyróżniono trzy przypadki: fazę inicjalizującą, typową fuzję zawierającą poprawę odwzorowania mapy zajętości oraz przypadek trzeci, gdzie uwzględniono konflikty pomiędzy sensorami. Doktorant wyciąga wnioski na poziomie ogólnym i szczegółowym, np.: podejście z zastosowaniem Bayesa jest najmniej złożone (określa wyłącznie prawdopodobieństwo zajętości komórki), natomiast architektury Dempstera-Shafera i Dezerta-Smarandachea zapewniają wyznaczenie prawdopodobieństwa na podobnym poziomie, ale dodatkowo umożliwiają one rozwiązywanie konfliktów wewnętrznych, jak i konfliktów wieloczujnikowych. Struktura Dezerta-Smarandachea może osobno oszacować wszystkie możliwe kombinacje konfliktów, zapewniając odpowiednią ich redystrybucję. Z drugiej strony fuzja Dempstera-Shafera może oszacować tylko jeden parametr konfliktu, ale charakteryzuje się mniejszą złożonością obliczeniową niż reguła kombinacji Dezerta-Smarandachea. Analiza przeprowadzona w tym rozdziale stanowi cenną odpowiedź na możliwości łączenia różnych sensorów w zunifikowaną siatkę zajętości.

Doktorant w rozdziale 5 proponuje filtrowanie siatki zajętości. Doktorant opisuje rodzaje niepewności wprowadzane przez zunifikowany system, kładąc wyraźny akcent na synchronizację danych oraz rotację układu współrzędnych sensorów względem układu współrzędnych pojazdu. Następnie definiowane są metody oceny jakości otrzymanego odwzorowania siatki zajętości. Autor proponuje tutaj wprowadzenie dwuetapowego procesu, gdzie w pierwszym kroku następuje konwersja z ramki czujnika do układu współrzędnych pojazdu, a w drugim translacja z koordynatów pojazdu do ramki siatki. Położenie czujników oraz ramka pojazdu są stałymi wyznaczanymi w procesie montażu lub ewentualnej kalibracji. Niepewności pomiarowe dla tych punktów są następnie agregowane, co w efekcie pozwala na wyznaczenie całkowitej niepewności punktu na siatce zajętości.

W rozdziale 6 opisano przykładową konfigurację i wyniki eksperymentów symulacyjnych. Autor przedstawia ocenę wpływu różnych rodzajów szumu na jakość siatki zajętości wykorzystując w tym celu przeprowadzone symulacje komputerowe. Następnie proces filtrowania siatki zajętości jest oceniany jakościowo i ilościowo tak, aby wyznaczyć skuteczność poszczególnych propozycji. W rozdziale 7 przedstawiono ocenę eksperymentalną zaproponowanego podejścia, gdzie oceniono możliwości algorytmu w czasie rzeczywistym. Opisano tutaj również proponowaną procedurę strojenia czujników, przeprowadzono analizę konfliktów oraz ocenę reguł łączących dane. Rozdział 8 zawiera wnioski oraz propozycje rozwoju systemu wynikające ze zrealizowanych badań. Załączniki A i B zawierają dodatkowe informacje, gdzie dodatek A przedstawia szczegółowe wyprowadzenie wszystkich równań reguł fuzji i dodatek B przedstawia dodatkowe wyniki oceny symulacji.

Podsumowując tę część recenzji, zaprezentowana w rozprawie unifikacja procedury łączenia danych pochodzących z różnych sensorów zamontowanych w pojeździe, uwzględniająca niepewności pomiarowe poszczególnych sensorów umożliwia wyznaczenie wynikowej siatki zajętości, którą dostosować można pod zestaw wybranych sensorów jest nowym i skutecznym narzędziem, który posiada silny potencjał wdrożeniowy. Uważam, że zaproponowana w pracy metoda posiada cechy

oryginalności, do których zaliczam m.in. hybrydowy sposób łączenia poszczególnych siatek zajętości wyznaczanych z sensorów percepcji otoczenia.

Uwagi krytyczne i polemiczne

Czytając rozprawę w kilku miejscach nasuwają się pewne wątpliwości, głównie o charakterze polemicznym, które zostaną opisane poniżej, a które wymagają doprecyzowania lub komentarza.

Operator fuzji (łączenia) danych wybrany przez doktoranta to fuzja hybrydowa dwuetapowa, gdzie w pierwszym kroku łączone są informacje z poszczególnych sensorów, rozwiązywane są konflikty pomiędzy sensorami, następnie wykonywana jest fuzja z poprzednim stanem, co w konsekwencji prowadzi do nowego stanu siatki zajętości. Czy analiza poszczególnych cząstkowych map zajętości nie powinna zawierać również prędkości pojazdu, jego przemieszczania i korelacji prędkości przemieszczania z czasem przetwarzania danych z poszczególnych sensorów?

Odnosząc się do założeń konstrukcyjnych siatki zajętości o rozmiarze 100m x 100m, dla której każdy punkt to obszar o wymiarach 0,2 m x 0,2 m oraz mając do dyspozycji narzędzie modelujące i wiedzę na temat wstępnej dokładności dostępnych sensorów, np. Lidar jest dokładniejszy od radaru, czy nie lepiej byłoby modelować siatkę z uwzględnieniem rozdzielczości kątowej najdokładniejszego sensora? Ponadto, trudno jest udowodniać, że pół miliona komórek siatki jest wartością typowo (str. 63) odnosząc się do innej swojej pracy.

Jednym z podstawowych problemów związanych z tworzoną siatką zajętości jest prawidłowe odwzorowanie rotacji urządzeń w stosunku do aktualnego punktu odniesienia w pojeździe, a docelowo możliwość osadzenia siatki na globalnej mapie. W tym aspekcie ważne są dwa elementy, opóźnienie wprowadzane przez system i weryfikacja lub identyfikacja punktów odniesienia. W rozprawie Autor proponuje wykorzystanie typowych elementów infrastruktury drogowej, np. wykorzystując znaki lub barierki ochronne, które zgodnie z przeprowadzonymi badaniami, można wykryć za pomocą fuzji danych, powinny zajmować obszar 0,4 m². Ze względu na charakter zastosowanych sensorów (zakładam, że grubość z perspektywy sensora nie jest mierzona) rozumiem, że w momencie wykrycia obiektu, np. wiązką laserową następuje „zajęcie” pojedynczej komórki (w rozumieniu odległości od sensora), czyli pozostały obszar za przeszkodą nie będzie widoczny dla wiązki lasera. W związku z tym czy to oznacza, że obszar identyfikowany na poziomie 0,4 m² powoduje, że długość powinna wynosić 2 m (0,2 m x 2 m = 0,4 m²)?

W pracy zaproponowano sposób zapamiętywania (zapominania) danych historycznych, które w mojej ocenie wpływają na rozmiar obiektu widziany na siatce zajętości, co według mnie wynika z niedokładności powiązania prędkości ze stosunkowo dużym rozmiarem komórki. Zastanawiający jest wpływ tego parametru na identyfikację obiektu (w pracy wykazano, że obiekty powinny być rozmiaru 0,4 m²), więc wpływ historii pozycji obiektu wraz z przemieszczaniem wydaje się nie do zaniedbania. Czy Doktorant zastanawiał się nad wpływem tego parametru na ogólną zdolność identyfikacji obiektów? Uwaga ta jest zauważalna na rys. 5.3, gdzie liczba punktów siatki zajętości na rys. (c) jest nieproporcjonalnie duża w stosunku do reprezentowanego słupka.

Kontynuując wątek szybkości i jakości tworzenia siatki, to ma ona niebagatelny wpływ na dalsze algorytmy przetwarzania danych i w konsekwencji stanowi ważną informację dla systemów nadrzędnych, które powinny otrzymywać informacje z minimalnym opóźnieniem. Jakie wg Doktoranta powinny być sposoby redukcji nakładu obliczeniowego wiedząc, że stosowane jednostki obliczeniowe w masowej produkcji będą musiały mieć ograniczone zużycie energii, co z kolei pociąga za sobą dłuższy czas przetwarzania danych. Wydaje się, że szczególnie istotna jest tutaj dyrektywa przytaczana na str. 67, która rekomenduje częściowe obliczenia w systemie percepcji.

W procesie tworzenia siatki rozwiązywane są konflikty pomiędzy informacjami z dostępnych sensorów, co w pracy nazywane jest krokiem pośrednim w procesie tworzenia nowej siatki zajętości. Na podstawie przeprowadzonych badań czas tworzenia nowej siatki jest poniżej 50ms, jednak jest to czas przetwarzania danych, brakuje tutaj informacji pełnej, tj. od momentu pojawienia się obiektu w polu widzenia sensora, poprzez czas akwizycji danych, przesłania do jednostki centralnej, wykonanie wstępnego przetwarzania danych (filtracji), a kończąc na wygenerowaniu nowej siatki zajętości. Czas ten skorelowany z aktualną prędkością pojazdu stanowi ważną informację na drodze predykcji umiejscowienia obiektów w czasie rzeczywistym, co dalej umożliwi częściową kompensację czasu dla nadrzędnych systemów ADAS. Czy Doktorant brał pod uwagę możliwość predykcji stanu zajętości siatki?

Na str. 78 pojawia się informacja związana z synchronizacją danych (opóźnienie), które wynikają z niepewności pomiarowych tj. charakterystyki sensorów, montaż sensora (wibracje) oraz offset pozycji, czy niedokładność pozyskanej prędkości. W pracy jednak założono, że dane te pojawiają się jednocześnie, a docelowa architektura percepcji otoczenia powinna polegać na wstępnym przetwarzaniu danych, co niestety wprowadzi dodatkowe opóźnienie. W dalszej części jest napisane, że opóźnienie transportowe może nawet przewyższać czas przetwarzania. Czy opóźnienia te można w jakiś sposób kompensować? W rozprawie jest zdanie: „Fortunately, system can compensate and synchronize sensor measurements at the cost of increasing the total system latency”, ale sugeruje ono zwiększenie całkowitego opóźnienia system, co wydaje się nie rozwiązywać w pełni problemu. W jaki sposób, wg Doktoranta powinna być realizowana synchronizacja czasowa z poszczególnych sensorów?

Ocena zaproponowanego podejścia oparta jest na wskaźnikach: fałszywie dodatnich, precyzji i odwzorowania w stosunku do rzeczywistej mapy (reference ground truth map). Doktorant twierdzi, że istniejące miary jakości stosowane w robotyce nie są adekwatne w zastosowaniach samochodowych. Współczynnik spójność (consistency, wzór 5.2.1) jest definiowany na podstawie siatki zajętości. Czy Doktorant mógłby wskazać sposób w jaki wyznaczane są parametry a i b obszaru? Jaki wpływ na wyznaczenie tych parametrów ma wartość współczynnika progującego oraz w jaki sposób dane historyczne mogą wpływać na wyznaczenie tego obszaru?

Reasumując, powyższe uwagi krytyczne i polemiczne, stwierdzam, że rozprawa doktorska pana Jakuba Porębskiego jest publikacją naukową a przytoczone powyżej uwagi nie wpływają na ogólnie pozytywny odbiór analiz, doświadczeń i wniosków zaprezentowanych przez Doktoranta.

Ocena redakcyjna

W mojej ocenie rozprawa doktorska napisana jest właściwie i nie wymaga poprawek, a uwagi krytyczne i polemiczne zawarte w niniejszej recenzji nie wpływają na ogólną wysoką ocenę jej zawartości. Pracę czyta się płynnie i napisana jest zrozumiałym językiem. Doktorant dość swobodnie operuje terminologią związaną z algorytmami fuzji danych, siatką zajętości, czy ogólnie rozumianym przemysłem motoryzacyjnym. Pozwala to stwierdzić, że mgr Jakub Porębski posiada zdolność formułowania problemów naukowych, potrafi wykorzystać zapis symboliczny do opisu algorytmiki na poziomie ogólnym i wyciąga właściwe wnioski z przeprowadzonych badań. Praca zawiera również elementy żargonu językowego oraz posiada niedostatki związane z przedimkami nieokreślonym i określonym (np. w opisie swojego systemu powinno być „the system”, a nie „system”), jednak nie rzutują one na ostateczną ocenę redakcyjną. Poniżej przedstawiam też wybrane przykłady sformułowań nieprecyzyjnych, zbędnych lub niejasnych:

Str. 57 Autor pisze, że model Dezeta-Smarandachea może być zastosowany do opisu stanów zbiorów rozmytych (fuzzy set). Czy faktycznie chodzi tutaj o logikę i system rozmyty?

Str. 59: In a real system we might safely assume that the time cannot flow backward.

Str. 79: Nevertheless, the currently used visualization methods may lead to ambiguous conclusions as mentioned in the previous chapter in Section 4.2.5. Niestety w rozdziale 4.2.5 nie ma opisu niejednoznaczności.

Podsumowanie

W mojej ocenie przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pana magistra Jakuba Porębskiego zawiera następujące elementy twórcze:

- opracowanie architektury dwuetapowej fuzji informacji z wykorzystaniem pośrednich siatek zajętości w celu rozwiązania konfliktów czujników, w pierwszym kroku zastosowanie reguły klasycznej Dezerta-Smarandacha, a w drugim kroku hybrydowej reguły Dezerta-Smarandacha.
- zastosowanie reguł kombinacji Dezerta-Smarandache w trójstanowej siatce zajętości,
- teoretyczne i eksperymentalne porównanie podejść Bayesa, Dempstera-Shafera i Dezerta Smarandache,
- analiza wpływu niepewności sensorów i systemu na jakość tworzonej siatki zajętości,
- opracowanie wytycznych do strojenia algorytmu filtrującego siatki zajętości pod określoną konfigurację pojazdu – wyposażenie w odpowiednie sensory.

Ponadto, Doktorant posiada dorobek publikacyjny w postaci dwóch artykułów w czasopismach Sensors i Applied Science, 1 artykuł na konferencji międzynarodowej oraz 1 rozdział w książce wydanej w wydawnictwie Springer. Sumaryczna liczba punktów wynosi więc 200, a dodatkowo jest pierwszym autorem w artykule z czasopisma Sensors. Mgr inż. Jakub Porębski jest współautorem dwóch wniosków patentowych z zakresu rozprawy doktorskiej.

Podsumowując, stwierdzam, że Autor:

- wykazał się wiedzą i znajomością literatury w zakresie, którego dotyczy rozprawa,
- przedstawił problem badawczy oraz sposób jego rozwiązania w postaci opracowania i implementacji reguł kombinacji dla hybrydowej architektury tworzonych map zajętości,
- zaplanował i przeprowadził badania zaproponowanego rozwiązania, a dodatkowo przeprowadził weryfikację praktyczną z wykorzystaniem sprzętu komputerowego i samochodu testowego.

Wniosek końcowy

W świetle powyższych uwag stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska spełnia warunki określone w art. 13 *Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym* z dnia 14 marca 2003 r. z późn. zm. (Dz.U. 2017, poz. 1789) oraz *ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018r. i wnioskuje o dopuszczenie mgr inż. Jakuba Porębskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego w dyscyplinie Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika.

