

dr hab. inż. Dariusz Pazderski, prof. PP
Instytut Automatyki i Robotyki
Wydział Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki
Politechnika Poznańska

Poznań dnia 23 czerwca 2024 r.

SEKRETARIAT
Rady Dyscypliny AEEITK

Wpłynęło dnia 26.06.2024

Zarejestrowano pod nr

Podpis

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
przygotowana dla Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej

na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Technologie Kosmiczne, dr. hab. inż. Ryszarda Sroki, prof. AGH, z dnia 5 kwietnia 2024 r.

Tytuł rozprawy: Adaptacja modelu matematycznego czujnika radarowego na potrzeby testów zaawansowanych systemów wspomagania kierowcy w środowiskach wirtualnej jazdy

Autor rozprawy: mgr inż. Michał Jasiński

Dyscyplina naukowa: Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne

Promotor: dr hab. inż. Paweł Skruch, prof. AGH

1. Tematyka, teza naukowa i cel rozprawy

Rozprawa doktorska zawiera się w szeroko pojętym obszarze automatyki, robotyki i metrologii, obejmując zagadnienia modelowania i percepcji otoczenia w inteligentnych systemach nadzoru i sterowania ruchem pojazdów kołowych. Została zrealizowana w ramach programu „Doktorat wdrożeniowy”, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego i prowadzonego we współpracy z partnerem przemysłowym oraz podmiotem akademickim. Rozważana tematyka jest aktualna z uwagi na wzrastające znaczenie układów automatyki zwiększających bezpieczeństwo ruchu pojazdów samochodowych, których standardowym wyposażeniem, instalowanym już na etapie produkcji, stają się systemy wspomagania kierowcy typu ADAS. Autor rozprawy wybierając tematykę wychodzi z przesłanek praktycznych, trafnie podkreślając potrzebę zwiększenia efektywności metod weryfikacji takich systemów z uwzględnieniem standardów przyjętych we współczesnym przemyśle motoryzacyjnym. W tym aspekcie wybór tematu rozprawy można uznać nie tylko za trafny i aktualny, ale też dobrze umotywowany w praktyce. Należy przy tym podkreślić, że problem poprawy efektywności testowania systemów klasy ADAS w wirtualnych środowiskach symulacyjnych jest ważny dla producentów działających w obszarze nowoczesnej motoryzacji. Wynika to między innymi z rygorystycznych zapisów prawnych i formalnych zaleceń wymaganych do certyfikacji metod i rozwiązań ADAS, które trudno spełnić odwołując się wyłącznie do testów w warunkach rzeczywistych.

Dobre umocowanie tematu tej rozprawy w praktyce, uwzględniając wdrożeniowy charakter doktoratu, w którym oczekuje się rozwiązania rzeczywistego problemu, poprzez odwołanie się do wiedzy naukowej i użycia metod badawczych, jest kluczowe.

Zagadnienia badawcze, które podejmuje Doktorant z pewnością wpisują się w dyscyplinę naukową Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne (AEEiTK). Wynika to zarówno z wiodącej tematyki związanej z modelowaniem i percepcją środowiska, a także użytego warsztatu badawczego, którego istotnym elementem jest implementacja metod w środowisku symulacyjnym, analiza wyników symulacyjnych i eksperymentalnych oraz stosowanie metod identyfikacji. Głównym celem Autora jest uzyskanie implementacji nowego funkcjonalnego modelu sensora radarowego zgodnego ze standardem ASAM OSI, który będzie użyteczny w systemie testowania układów ADAS. Punktem wyjścia dla Doktoranta jest geometryczny model sensora radarowego, oparty na tzw. koncepcji centrów rozpraszania, będący oryginalną propozycją pracowników AGH przedstawioną w 2019 r. w publikacji konferencyjnej [21]. Model ten zgodnie z tytułem rozprawy jest następnie modyfikowany przez Autora, aby zagwarantować odpowiednią jakość symulowanej percepcji środowiska oczekiwaną w systemach testowania.

W rozprawie sformułowano jedną tezę, która charakteryzuje główny cel badań i podstawowy wynik. Jest nim opracowanie i implementacja nowego modelu czujnika radarowego, który spełnia wymagania, pozwalające na jego stosowanie w przemysłowych systemach czasu rzeczywistego testujących rozwiązania klasy ADAS w środowiskach wirtualnych. Sposób sformułowania tezy jest nieco ogólny i mimo uprzedniego zdefiniowania cech modelu czujnika, możliwość falsyfikacji tezy nie jest oczywista. Wymaga to odwołania się do oczekiwanych właściwości modelowanego czujnika w systemach testujących, które mogą ulegać zmianom z powodu rozwoju technologii, stosowanych metod testowania oraz zmian w przepisach. Tym niemniej uwzględniając wdrożeniowy charakter doktoratu wobec deklaracji podanej w rozprawie i współautorskiej publikacji [130] o wdrożeniu rezultatów badawczych do praktyki przemysłowej do weryfikacji elektronicznych systemów sterowania jazdy automatycznej, można stwierdzić, że teza pracy została spełniona.

2. Zawartość merytoryczna

Rozprawa została przygotowana w języku polskim i liczy 169 stron wraz z bibliografią. Zawiera 148 odniesień do referatów konferencyjnych, publikacji w czasopismach, patentów, norm oraz materiałów dostępnych na stronach internetowych. Jej zasadniczą część stanowi 9 rozdziałów, wzbogaconych o streszczenia w języku polskim i angielskim oraz wykaz rysunków i tabel.

Pierwszy rozdział jest wprowadzeniem do głównej tematyki dysertacji. Dokonano tutaj przeglądu systemów wspomagających kierowcę (ADAS), zwracając uwagę na regulacje prawne oraz potrzebę stosowania systemów testujących w środowiskach wirtualnych. Uwzględniono również klasyfikację systemów radarowych i ich modeli. Moim zdaniem autor słusznie zwrócił uwagę na ograniczenia nowych metod opartych na danych, wykorzystujących sieci neuronowe, które wobec problemów pozyskiwania wiarygodnych danych uczących, często nie pozwalają zagwarantować przewidywalnej odpowiedzi spełniającej kryteria bezpieczeństwa. Doktorant w swoich rozważaniach odwołuje się przede wszystkim do modelu geometrycznego sensora wykorzystującego centra rozpraszania zaproponowanego w [21]. Podkreśla potrzebę modyfikacji tej propozycji w celu uzyskania bardziej wiarygodnego modelu pomiarowego, lepiej uwzględniającego cechy rzeczywistego radaru do percepcji otoczenia pojazdu. Następnie wprowadza definicje oczekiwanych właściwości modelu czujnika, takich jak wiarygodność, wydajność i użyteczność, oraz przedstawia tezę pracy.

Rozdział 2 to przegląd czujników radarowych, omówienie zasady działania i przetwarzania informacji dla sensorów klasy FMCW wykorzystujących falę ciągłą z modulacją częstotliwościową, ich zastosowanie w systemach ADAS oraz wprowadzenie do zagadnienia wirtualnej walidacji takich

systemów. Przedstawiony opis działania radaru, choć jest powtórzeniem informacji dobrze znanych z bogatej literatury, ma walory dydaktyczne i stanowi dobre wprowadzenie do modelowania sensora z użyciem szczegółowego opisu matematycznego, do którego Doktorant konsekwentnie odnosi się w dalszej części rozprawy. W szczególności istotne jest tutaj scharakteryzowanie mechanizmu percepcji radarowej w systemach ADAS, jak również przedstawienie schematu przepływu informacji na podstawie przykładowych scenariuszy spotykanych w takich systemach. Dalej Autor wprowadza schematy przykładowych środowisk do wirtualnej walidacji w trybie symulacji w pętli sprzętowej (HIL) oraz symulacji w pętli oprogramowania (SIL). Omawia koncepcję użycia modelu matematycznego czujnika radarowego lub uniwersalnego modelu czujnika (GSM), który funkcjonuje na wyższym poziomie abstrakcji.

W kolejnym rozdziale Autor wprowadza zagadnienia, które moim zdaniem są kluczowe z punktu widzenia wdrożeniowego charakteru doktoratu, a które dotyczą modelowania sensora w świetle standardów wykorzystywanych w przemyśle motoryzacyjnym. Uwzględniając praktyczną motywację i cel rozprawy, Doktorant podkreśla potrzebę implementacji modułów programowych w sposób umożliwiający ich użycie w różnych symulatorach spełniających standardy wyznaczone przez komitet ASAM. W kontekście problemu wirtualnej walidacji omawia wymianę danych symulacyjnych standardu OSI będącego częścią propozycji ASAM. Struktury danych zdefiniowane w ramach OSI określają metody opisu sensora oraz przekształcania danych i stanowią przesłanki dla Doktoranta do rozszerzenia modelu sensora, sposobu jego implementacji oraz opracowania odpowiednich interfejsów programowych.

Stosunkowo krótki rozdział 4 jest pewnym rozszerzeniem wstępu pracy i koncentruje się na sposobach modelowania wykryć radarowych oraz modelowania na poziomie listy obiektów. Towarzyszy mu szczegółowy przegląd literatury.

W rozdziale 5 Doktorant szczegółowo omawia podstawowy model sensora zarysowany w pracy [21] oraz proponuje transformacje układów współrzędnych w celu użycia opisu zgodnego ze standardem ASAM OSI. Autor posługuje się tutaj zapisem formalnym definiując zbiory punktów i cechy generowane przez model sensora. W szczególności pokazuje równania transformacji, znane m.in. z robotyki manipulacyjnej. Ponadto rozważa problem przysłonięcia obiektów na scenie, kierunek ustawienia ścian, ograniczenie pola widzenia sensora oraz model niepewności wynikający z równania radarowego użyty w pracy [21]. Dalej omawia autorską implementację modelu sensora w kontekście standardu OSI (rys. 5.15), która uwzględnia cztery czujniki umieszczone na samochodzie testowym. Rozdział kończy wstępne porównanie wyników zwracanych przez opracowany model sensora z wynikami rzeczywistymi, zilustrowane na rys. 5.16 i 5.17.

Rozdział 6 ma szczególne znaczenie, gdyż omawia autorskie modyfikacje modelu [21] wprowadzone jako wynik krytycznej analizy danych przedstawionych w rozdziale poprzednim. Doktorant zwraca uwagę na potrzebę redukcji danych generowanych przez model podstawowy i wprowadza filtr rozdzielczości odwołując się do reprezentacji dyskretnej i wykorzystując kryterium energetyczne. Ponadto proponuje uzupełnienie modelu sensora o elementy statyczne w odniesieniu do standardu OSI. Wreszcie wzbogaca model o stosunkowo prosty mechanizm generowania fałszywych wykryć, które są charakterystyczne dla rzeczywistych czujników radarowych. Zmodyfikowany przez Doktoranta model sensora podlega następnie wstępnej analizie symulacyjnej.

W kolejnym rozdziale Autor rozważa problem doboru parametrów opracowanego modelu. W tym celu formułuje wskaźniki jakości, wykorzystujące tzw. odległość Wassersteina, odwołującą się do rozkładu prawdopodobieństw i rozważaną m.in. w pracach [130, 133]. W następnym etapie Doktorant poszukuje optymalnych nastaw modelu sensora minimalizując wskaźniki z użyciem metod numerycznych. Dalej analizuje wyniki szczegółowe, prowadząc przeszukiwanie na siatce i poszukując interpretacji parametrów modelu. Przedstawia porównanie danych generowanych przez

model czujnika dla wybranych zestawów parametrów z danymi rzeczywistymi i podsumowuje otrzymane rezultaty.

Przedostatni rozdział opisuje wyniki walidacji modelu sensora w celu potwierdzenia tezy rozprawy. Doktorant rozważa aspekt wydajności modelu i możliwość jego użycia w czasie rzeczywistym, odwołując się do wybranych konfiguracji jednostek obliczeniowych, przy założonym scenariuszu rozmieszczenia elementów otoczenia pojazdu. Bardziej złożona jest procedura oceny wiarygodności modelu, do której zaproponowano użycie dwóch wskaźników oraz liczby skojarzeń. Na tej podstawie, odnosząc się do kanonicznego scenariusza rozważanego w rozprawie, Autor wykazał, że zmodyfikowany model sensora z nastawami uzyskanymi na drodze optymalizacji numerycznej, zapewnia minimalny wskaźnik jakości przy zachowaniu dużej liczby skojarzeń i określonego progu tolerancji. Wyniki liczbowe i wnioski Doktorant poparł ilustracjami, przedstawiającymi wykrycia zwracane przez czujnik rzeczywisty i opracowany model czujnika dla różnych wartości parametrów. Zasadniczą część rozprawy kończy rozdział 9, w którym przedstawione zostały wnioski końcowe oraz podkreślony wkład Doktoranta.

3. Ogólna ocena rozprawy i uwagi dyskusyjne

W mojej ocenie rozprawa doktorska obejmuje istotne zagadnienia związane z modelowaniem sensorów radarowych i zastosowaniem ich modeli w procesie testowania systemów ADAS. Autor podjął się dobrze umotywowanego zadania zaprojektowania modelu sensora, który nie tylko jest wiarygodnym źródłem danych w środowisku wirtualnym, ale też jest dobrze zdefiniowany w sensie opisu matematycznego i ma strukturę zgodną z powszechnie akceptowanym standardem przemysłowym. W odróżnieniu od koncepcji „czarnej skrzynki” podejście takie jest moim zdaniem lepsze poznawczo, ułatwiając interpretację parametrów modelu, co może mieć decydujące znaczenie w systemach testujących, od których wymaga się dużego stopnia wiarygodności. Należy podkreślić, że projektowanie takiego modelu nie jest w tym przypadku odtwórczym procesem inżynierskim, lecz działaniem, które wymaga prowadzenia badań i znajomości metodyki badawczej. Warto też docenić umiejętność Doktoranta do korzystania z opisu formalnego i wyrażania modelu sensora, wyjaśniania procesu identyfikacji i walidacji w sposób precyzyjny za pomocą formuł matematycznych. Przyjęta metodyka badawcza jest właściwa w dyscyplinie AEEiTK.

Jak już odnotowałem, w rozprawie podano główną tezę, której falsyfikacja zależy od parametrów określających założony poziom wiarygodności, a więc wnioski mogą być subiektywne. Jest to w pewnym sensie usprawiedliwione motywacją Autora, którego celem jest opracowanie symulatora czujnika radarowego, którego właściwości użytkowe są wystarczające z punktu widzenia jego zastosowania w wirtualnych środowiskach testowania systemów ADAS. W swoich rozważaniach ogranicza klasę modeli do efektywnych obliczeniowo metod geometrycznych wykorzystujących centra rozpraszania. Uważam, że na podstawie wniosków wypływających z wyników badań omówionych w rozdziale 8 można uznać, że teza została potwierdzona.

Moim zdaniem główne i oryginalne wyniki rozprawy dotyczą:

- propozycji opisu modelu czujnika radarowego opartego na pracy [21], uwzględniającej specyfikację standardu ASAM OSI,
- propozycji poprawy wiarygodności modelu czujnika poprzez wprowadzenie dodatkowych etapów przetwarzania informacji, takich jak redukcja ilości dostarczanych danych, uwzględnienie statycznych elementów środowiska zgodnie ze standardem OSI oraz wprowadzenie generatora fałszywych wykryć,
- identyfikacji parametrów modelu na podstawie danych rzeczywistych i symulowanych,

- opracowania autorskiej metody oceny modelu czujnika radarowego i przeprowadzenie tej oceny (potwierdza to również współautorska publikacja [130]).

Chcę podkreślić, że rozprawa jest starannie zredagowana i napisana poprawnie w języku polskim; układ pracy jest logiczny, a sposób prezentacji wyników czytelny. Mimo, że znaczna część dokumentu obejmuje przegląd literatury i przywołuje opis modelu czujnika proponowanego w artykule [21], to jednak takie podejście Autora pozwala uzyskać spójność całej rozprawy. Oryginalne wyniki Doktoranta i Jego wkład są widoczne i stanowią oddzielne rozdziały rozprawy – przede wszystkim część rozdziału 5 i rozdziały od 6 do 9. Docenić należy też dobrą wybraną literaturę przedmiotu, która została prawidłowo osadzona w treściach podawanych przez Autora, co potwierdza Jego wiedzę w zakresie dotyczącym prowadzonej działalności badawczej. Uważam, że Doktorant bardzo dobrze połączył wiedzę podstawową z wymaganiami, które stawia doktorat wdrożeniowy, gdzie oczekiwane jest rozwiązanie problemu inspirowanego praktycznie. W tym przypadku uzyskano zarówno nowe wyniki badawcze jak i rozwiązanie praktyczne w postaci oprogramowania implementującego nowy model sensora radarowego zgodny ze standardem ASAM OSI.

W trakcie lektury rozprawy nasunęły się następujące uwagi krytyczne:

1. W rozprawie Doktorant stosuje jeden podstawowy model sensora, który wykorzystuje koncepcję centrów rozpraszania przedstawioną w pracy [21]. Rozumiem, że wybór tego modelu wynika m.in. z jego dużej efektywności obliczeniowej. Jednak z punktu widzenia wiarygodności otrzymywanych danych można rozważyć, jakie właściwości posiadają alternatywne modele czujników, które zostały tylko przywołane w dysertacji. Myślę tutaj o próbie odpowiedzi na pytanie, czy dla założonych scenariuszy testowania ADAS w środowisku wirtualnym opracowany przez Doktoranta model czujnika można postrzegać jako optymalne rozwiązanie łączące niewielką złożoność obliczeniową z wystarczającą dokładnością symulowanej percepcji otoczenia. Wydaje się bowiem, że metody śledzenia promieni mogą dawać większą wiarygodność, choć z punktu widzenia systemów testowania wzrost tej wiarygodności może nie być tak istotny.
2. Moje wątpliwości budzi użycie tylko jednego scenariusza, który pierwszy raz Autor wprowadził w Rozdziale 5.7 i zilustrował na rys. 5.16 (dane rzeczywiste) oraz 5.17 (dane symulowane). Scenariusz ten był następnie rozważany kilkakrotnie w zadaniach identyfikacji i walidacji modelu czujnika, co nie jest w pełni zgodne z zasadami postępowania przy identyfikacji. Niestety nie jest jasne czy Doktorant testował również inne przypadki, które potwierdzałyby tezę pracy. Zbyt mała ilość danych może w rezultacie nie dawać wystarczająco obiektywnej oceny badanego modelu.
3. W nawiązaniu do poprzedniej uwagi nie jest też jasne, w jaki sposób wykonano eksperyment w celu uzyskania rzeczywistych odczytów zwracanych przez czujniki radarowe. W pracy nie podano typu czujników, ani nie określono ich właściwości metrologicznych.
4. W podrozdziale 8.2.4 (s. 139) Autor stwierdza, że $\varepsilon > 0.08266$ jest akceptowalną wartością tolerancji. Jak należy rozumieć to stwierdzenie? Czy ma ono wsparcie literaturowe, czy też wynika z wiedzy eksperckiej lub oceny subiektywnej? Sądzę, że przykładowa interpretacja tej miary mogłaby dać lepszy obraz o poziomie dopasowania modelu.
5. Model czujnika radarowego rozważany w pracy wydaje się być modelem w pełni statycznym, a jedynym efektem dynamicznym jest wprowadzenie zjawiska losowego. Wydaje się jednak, że przetwarzanie i modelowanie informacji mogłoby uwzględniać również dynamikę

obserwowanego procesu. Przykładowo charakterystyka czujnika i odczyty mogą zależeć od prędkości ruchu obiektów. W rezultacie może to wymagać dostrojenia parametrów sensora lub uzależnienia ich od innych zmiennych.

6. W procesie identyfikacji parametrów sensora opisanym w rozdziale 7 Autor wykorzystał algorytm Powella, który pozwala wyznaczyć minima lokalne. Pewnym sposobem na rozszerzenie zakresu poszukiwań przestrzeni parametrycznej, którego użył Doktorant było rozważenie różnych warunków początkowych oraz analiza przebiegu funkcji kosztu w założonym zbiorze parametrów. Brakuje jednak wyjaśnienia dlaczego Doktorant przyjął tę metodę optymalizacji i czy były prowadzone próby z innymi algorytmami lub narzędziami do optymalizacji. Przykładowo, problem występowania minimów lokalnych można ograniczać stosując techniki probabilistyczne, używane np. algorytmach genetycznych.
7. Rozważany model sensora na podstawie [21] generuje pomijalną liczbę wyników fałszywie pozytywnych, czym istotnie wyróżnia się od sensorów rzeczywistych. Właściwość tę widać na podstawie danych przedstawianych przez Doktoranta, nawet po wprowadzeniu autorskich modyfikacji modelu sensora – por. rys. 8.7 i 8.8. Wydaje mi się, że przyczyną tego jest zbyt uproszczony model zakłóceń proponowany w rozdziale 6.3 pod nazwą generatora fałszywych wykryć. Brakuje tutaj lepszego uzasadnienia wprowadzenia modelu probabilistycznego opartego na fikcyjnym obiekcie stacjonarnym. Sądzę, że ten aspekt wymaga bardziej wnikliwego rozważenia i być może warto go rozwinąć w przyszłych pracach.
8. Czy reprezentacja orientacji za pomocą kątów Eulera używana w rozdziale 5.4 nie wykazuje ograniczeń w przyjętym schemacie modelowania? Wiadomo, że dla takiej reprezentacji występują punkty osobliwe.

Część z podanych uwag ma charakter dyskusyjny i nie umniejsza głównych wyników uzyskanych przez Doktoranta w rozprawie. Niektóre z nich mogą stanowić przyczynek do dyskusji podczas obrony, a inne mogą stanowić źródło przyszłych prac badawczych poszerzających dorobek publikacyjny Autora.

4. Uwagi szczegółowe

Dokument jest bardzo dobrze zredagowany i jego struktura jest przemyślana. Zasadniczo język użyty w dysertacji jest precyzyjny, choć można znaleźć pewne uchybienia stylistyczne, błędne sformułowania lub naruszenie właściwego stylu narracji.

Poniżej przedstawiam uwagi szczegółowe, dotyczące wybranych stwierdzeń lub opisów występujących w rozprawie:

- W równaniu (2.3.1) wykorzystuje się stałą c , która w ogólnym wypadku opisuje prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej w ośrodku, niekoniecznie w próżni. Oczywiście różnica wartości tej stałej w powietrzu jest mało znacząca, ale jednak występuje.
- Rozdzielczości sensora określone w zależności (2.3.9a-c) powinny być bardziej szczegółowo wyjaśnione lub powinno być podane ich źródło.
- Symbol ϕ jest używany w różnych kontekstach: na rys. 2.1 oznacza kąt, natomiast w formule (2.3.6) opisuje przesunięcie fazy.
- Na s. 135-138 występują nieprawidłowe odniesienia do równania (8.2.3b). Prawidłowo powinno być: (8.2.6b).

- Zamiast referencji [127], dotyczącej właściwości macierzy rotacji, lepiej użyć znanej publikacji książkowej, przykładowo z algebry, geometrii lub robotyki.
- Notacja wykorzystująca macierze obrotu w rozdziale 5.4 mogłaby zostać uproszczona poprzez usunięcie macierzy odwrotnych. Wynika to wprost z interpretacji tych macierzy jako przekształcenia układów współrzędnych. W takim przypadku wystarczyłoby zamieniać indeks górny i dolny macierzy obrotu, co dałoby bardziej zwarte formuły (5.4.9) i (5.4.10).
- Uwaga bezpośrednio nad zależnością (5.5.3) może być nieco myląca. Brak wskazanej macierzy rotacji $\Theta_{LCS_n}^{CGS}$ w formule (5.5.3) wynika z tego, że wektor $v^{CGS \vee n}$ wyrażony jest w układzie podstawowym GCS, podczas gdy w formule (5.4.10) wektor $v_{\perp}^{LCS_n \vee n, k}$ określony jest w układzie LCS_n, a zatem musi być uprzednio wyznaczony w CGS, co realizuje macierz rotacji. Z tego wynika, że formuły (5.5.3) i (5.4.10) są równoważne – pozorna różnica pochodzi tylko z wyboru układów współrzędnych, w których określono wektory po lewej stronie obu równań.
- W rozprawie pojawia się wiele ilustracji, przy czym nie podano ich źródeł. Czy Doktorant jest autorem wszystkich ilustracji? Wydaje się, że część z nich zaczerpnięto z publikacji [130].
- Opis rysunku 2.7 jest mało precyzyjny. Przykładowo, można by stwierdzić, że jest to ilustracja pewnego scenariusza ruchu dla systemu ADAS wraz z wyróżnionymi klasami obiektów.
- Rys. 7.3 przedstawiający mapy ciepła nie jest czytelny (kolory nie są dobrze widoczne).
- Można zauważyć, że sposób prezentacji literatury w rozdziale 4 jest inny niż w pozostałych rozdziałach pracy. Przede wszystkim lepiej identyfikuje autorów i jest bardziej precyzyjny.
- W wielu miejscach Doktorant odwołuje się do formuł matematycznych, które nie zostały jeszcze zdefiniowane, por. (5.3.2a)-(5.3.2c), (5.5.1), (5.5.2a)-(5.5.2c), (5.5.10), itd. Zasadniczo takiego stylu referencji w przód należy unikać, co poniekąd potwierdza sam Doktorant np. w rozdziale 2.3, gdzie używa prawidłowego sposobu przywoływania równań.
- Niejasny jest cel komentarza w ostatnim akapicie na s. 115: „Zauważmy, że zbiory wykryć prezentowane były do tej pory na płaszczyźnie”. Dalej Autor stwierdza, że w procesie identyfikacji modelu sensora składowa elewacji nie jest brana pod uwagę.
- Podając wartości wielkości fizycznych Autor często stosuje zapis typu: «wartość [jednostka]». Tymczasem według obowiązujących obecnie norm poprawny jest zapis «wartość jednostka», tj. z pominięciem nawiasu [].
- W rozprawie Autor używa pojęcia „metodologia”, która w języku polskim odnosi się do nauki o metodach. Jest to często spotykana kalka językowa z języka angielskiego – w języku polskim lepiej pisać „metodyka”. Podobnie w języku polskim należy raczej używać „unikatowy” niż „unikalny”, choć to drugie słowo spotyka się coraz częściej. W tekście spotyka się wielokrotnie użycie „ilość” do rzeczowników policzalnych. W takim przypadku zamiast „ilość” należy użyć „liczba”.
- Autor używa określenia „innowacyjnego i skutecznego” (s. 24) albo „niezwykle innowacyjny” (s. 146) w odniesieniu do modelu przedstawionego w artykule [21]. Warto unikać takiego wartościowania w tekstach naukowych.
- Przykładowe błędy stylistyczne:
 - s. 22: „czy też typ konkretnego celu”
 - s. 34: „pewien obiekt z niezerową wartością kąta”

- s. 66: „Podobną, choć nieco bardziej rozszerzoną symulację opublikował”
- s. 88: “tak zwanego stosunku sygnału do szumu” - “tak zwanego” jest niepotrzebne, tym bardziej, że jest to powszechnie stosowany termin, a ponadto pojawia się wcześniej w opisie równania (2.3.11)
- s. 99: „procedura wykonywana w modelu sensora”
- s. 121 „metoda Powella poradziła sobie skutecznie”

5. Wnioski końcowe

Pomimo uwag krytycznych, które zawarłem w tej recenzji stwierdzam, że opiniowana rozprawa potwierdza wiedzę Doktoranta w zakresie modelowania zaawansowanych układów pomiarowych, identyfikacji parametrycznej oraz projektowania wirtualnych czujników z uwzględnieniem standardów stosowanych w przemyśle motoryzacyjnym w systemach testowania rozwiązań klasy ADAS. Warsztat badawczy Doktoranta i wyniki uzyskane w rozprawie są związane bezpośrednio z dyscypliną AEEiTK. Autor dostarczył oryginalnych wyników badawczych i wykazał się zdolnością do samodzielnego rozwiązania problemu badawczego w naukach technicznych oraz krytycznej oceny uzyskanych wyników. Część rezultatów przedstawionych w rozprawie, dotycząca metod walidacji modelu, była przedmiotem współautorskich publikacji. Dodatkowo należy zwrócić uwagę na kwalifikacje inżynierskie Autora rozprawy, które mają bardzo duże znaczenie w kontekście prowadzenia badań w doktoracie wdrożeniowym i mogą być cenne w kontynuowaniu Jego działalności badawczej.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Michała Jasińskiego pt. „Adaptacja modelu matematycznego czujnika radarowego na potrzeby testów zaawansowanych systemów wspomagania kierowcy w środowiskach wirtualnej jazdy” spełnia w stopniu wystarczającym wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez aktualnie obowiązującą ustawę „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z 2023 r. poz. 742) wraz z odpowiednimi przepisami wprowadzającymi oraz przejściowymi. Wniosuję o jej przyjęcie i dopuszczenie do dalszych etapów postępowania doktorskiego, w tym do jej publicznej obrony.

Dariusz Paweł