

Wpłynęło dnia ... 30.12.2024

Zarejestrowano pod nr ... 510-7-5/24

Podpis 

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgra inż. Rafała Burzy pt.:

Algorytmy kalibracji i autokalibracji sensorów radarowych dla systemów aktywnego bezpieczeństwa i jazdy autonomicznej

Recenzja została przygotowana na podstawie Uchwały z dnia 7 listopada 2024 r. Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne (AEEITK) Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

1. Przedmiot i zakres rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy próby rozwiązania zagadnienia kalibracji, a w szczególności autokalibracji, sensorów radarowych stosowanych we współczesnych pojazdach samochodowych do celów wsparcia jazdy autonomicznej (AD) i/lub jako komponent podsystemu aktywnego bezpieczeństwa pojazdu. Jest to zagadnienie bardzo aktualne, nietrywialne i praktycznie istotne, związane z koniecznością zwiększania odporności i bezpieczeństwa zaawansowanych systemów sensorycznych współczesnych inteligentnych pojazdów samochodowych. Teza badawcza rozprawy podana na stronie 3 (punkt 1.2) zakłada możliwość algorytmizacji i automatyzacji procesu detekcji błędów montażowych czujników radarowych, a następnie wykorzystanie tak zdetektowanych błędów do automatycznej korekcji pomiarów w celu poprawy wiarygodności informacji pochodzących z tego typu układów sensorycznych. Ponadto, Autor zakłada, że wspomniane funkcjonalności mają mieć na tyle ograniczoną złożoność obliczeniową, iż będą implementowalne na wbudowanych procesorach radarowych. Powyższa teza jest dobrze sformułowana i jest empirycznie weryfikowalna, a jej treść bardzo dobrze wpisuje się w tematykę na styku automatyki oraz elektroniki przemysłowej (zwłaszcza sensoryki i przetwarzania sygnałów). Tym samym tematyka rozprawy bez wątplenia należy do dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne (AEEITK), w której została złożona.

Merytoryczny zakres przedłożonej rozprawy obejmuje (poza częścią wprowadzającą i podsumowaniem): analizę wpływu błędu kąta montażowego stacjonarnego radaru samochodowego na jakość działania sensorów radarowych w systemach AD oraz systemach wsparcia kierowców (ADAS), ulepszenie statycznej metody kalibracji radaru samochodowego z użyciem płyty odbiciowej wykorzystywanej na linii produkcyjnej pojazdów samochodowych lub w warsztacie samochodowym, opracowanie dynamicznej metody trójosiowej kalibracji radaru z kompensacją pomiaru prędkości pojazdu oraz jej implementacja na procesorze wbudowanym w jednostkę radarową, opracowanie metody post-factum kalibracji zespołu wszystkich radarów umieszczonych na pokładzie pojazdu samochodowego bez wykorzystania informacji o kątach elewacji, opracowanie neuronowej metody zautomatyzowanej weryfikacji integralności danych pomiarowych pochodzących z radarów samochodowych oraz detekcji anomalii potencjalnie występujących w takich danych, ilościową numeryczną weryfikację i porównanie opracowanych metod kalibracji na podstawie wybranych rzeczywistych lub częściowo syntetycznie wzbogaconych danych pomiarowych pochodzących z dostępnych baz danych radarowych.

2. Kompozycja i redakcja rozprawy

Rozprawa została zredagowana w języku polskim, liczy 169 numerowanych stron tekstu zasadniczego oraz 29 stron wprowadzających składających się ze strony tytułowej, podziękowań, streszczenia w języku angielskim i języku polskim, spisu treści, spisu rysunków, zestawienia skrótów oraz spisu symboli i oznaczeń matematycznych, a także krótkiego słownika wybranych terminów anglojęzycznych. Tekst zasadniczy został podzielony na dwanaście

rozdziałów. Rozdział 1 zawiera tezę badawczą, opisuje tematykę rozprawy oraz przytacza cztery osiągnięcia Doktoranta (będącego współautorem dwóch opisów patentowych oraz samodzielny autorem dwóch publikacji – jednej w czasopiśmie *Sensors* z bazy JCR i drugiej w materiałach międzynarodowej konferencji SPA) stanowiące kanwę rozważań i wyników zawartych w rozprawie. Wątpliwość budzi tutaj podanie tylko dwóch współautorów opracowania patentowego nr 2 (strona 3), ponieważ w oryginalnym opisie patentu widnieje aż pięciu współautorów.

Rozdziały 2-7 pełnią rolę wprowadzającą czytelnika krok po kroku w problematykę rozwoju pojazdów samochodowych i ich podsystemów funkcjonalnych (głównie sensorycznych) związanych z jazdą autonomiczną (AD) oraz wsparciem kierowców (ADAS). Zagadnienia tam poruszane dotyczące rysu historycznego rozwoju motoryzacji, technologii ADAS, technologii AD, wielosensorycznej fuzji danych, rozwoju i zastosowań radarów w pojazdach samochodowych oraz wybranych metod optymalizacji stosowanych w kalibracji radarów pojazdowych, umożliwiają ukazanie problematyki poruszanej w doktoracie w szerszym kontekście. Tę część tekstu czyta się dobrze; stanowi ona ciekawe i zwarte uzupełnienie głównych treści rozprawy i w dużej mierze ma charakter poglądowy i dydaktyczny. Niestety opisy matematyczne zawarte w rozdziałach 5 i 7, dotyczące sposobów modelowania ruchu pojazdów oraz wybranych metod optymalizacji stosowanych do celów kalibracji radarów, zostały podane w sposób nieściśły, niepełny i często zbyt lakoniczny, co może budzić konfuzję u czytelnika, bądź nawet wątpliwość czy wszystkie opisywane np. w rozdziale 7 szczegóły algorytmiczne są w pełni zrozumiałe dla Autora. Strona matematyczna tych opisów należy do słabych stron rozprawy. Szczegółowe uwagi krytyczne w tym kontekście sformułowano w punkcie 4 recenzji.

Rozdział 8 opisuje zagadnienie kalibracji samochodowych sensorów radarowych. Punkty 8.1-8.2 poświęcone są wprowadzeniu w tę szczególną problematykę, by w punkcie 8.3 przedstawić oryginalne wyniki Autora poświęcone formalnej (matematycznej) analizie wpływu kątowych błędów montażowych sensora radarowego na jakość detekcji kierunku ruchu obiektów znajdujących się w otoczeniu *ego* pojazdu. Zasadnicze wyniki podane w punkcie 8.3 zostały opublikowane przez Doktoranta w artykule cytowanym jako [13]. Niestety jakość prezentacji treści rozdziału 8 jest w dużej mierze niezadowolająca. W szczególności rozważania matematyczne nie zostały przedstawione z należytą precyzją i rygiorem notacyjnym, nie podano wyjaśnienia części symboli, niektóre wielkości nie zostały w ogóle zdefiniowane. Poza tym Autor zastosował tutaj wiele skrótów myślowych podczas wyprowadzania wzorów, co utrudnia percepcję treści. Stosowany tu żargon (np. 'wartość przekrzywiona', 'liczby zespolone czysto rotacyjne', 'niewyrównanie', 'próbki łańcuchami Markowa', 'kierunek w stronę lokalizacji montażu czujnika', 'kowariancja obiektu', 'sensory przekrzywione według losowego rozkładu') dodatkowo konfuduje czytelnika. Ponadto na stronie 96 następuje nieoczekiwane sklejenie treści ogólnych z wynikami przykładowych symulacji wykonanych przez Doktoranta, co jest niezgodne z obowiązującymi zasadami prezentacji wyników badawczych. Taki brak dbałości o szczegóły i o przejrzystość rozumowania, połączony z wieloma niezręcznościami językowymi zauważonymi w tekście, czyni lekturę rozdziału 8 kłopotliwą. Szczegółowe uwagi krytyczne w tym zakresie podano w punkcie 4 recenzji.

Zasadnicze wyniki Doktoranta (wprost nawiązujące do tezy postawionej na stronie 3) zebrano w rozdziale 9 rozprawy, które następnie uzupełniono wynikami walidacyjnymi w rozdziale 11. W rozdziale 9 omówiono trzy alternatywne metody kalibracji sensorów radarowych w wersji: (A) statycznej dwuosiowej, dedykowanej dla pojedynczego sensora kalibrowanego na linii produkcyjnej samochodów, wykorzystującej stanowisko z ruchomą płytą odbiciową, (B) dynamicznej trójosiowej pozwalającej na kalibrację danego sensora radarowego z kompensacją pomiaru prędkości podczas ruchu *ego* pojazdu z obliczeniami wykonywanymi na procesorze wbudowanym w układ sensora, (C) statycznej (tzw. *post-factum*) trójosiowej pozwalającej na jednoczesną kalibrację wszystkich sensorów radarowych pokładowych i z kompensacją pomiaru prędkości *ego* pojazdu. Wydaje się, że tylko metoda (B) jest ściśle związana z treścią tezy badawczej podanej na stronie 3 rozprawy. Pozostałe dwie metody, tj. (A) i (C), stanowią swego rodzaju uzupełnienie/rozszerzenie zakresu rozprawy. W rozdziale 9 Doktorant wprowadza w metodykę obliczeń kalibracyjnych poszczególne metody lecz strona matematyczna wywodów jest niepełna oraz zawiera nieściśłości notacyjne oraz interpretacyjne utrudniające zrozumienie szczegółów. Brak ścisłości wywodów i brak oczekiwanego rygoru matematycznego prezentowanych rozważań stanowi słabą stronę tej części dysertacji. Szczegółowe uwagi i wątpliwości dotyczące zawartości rozdziału 9 podano w punkcie 4

recenzji.

Treść rozdziału 10, będąca przedmiotem autorskiego artykułu konferencyjnego Doktoranta cytowanego w rozprawie jako [14], dotyczy zautomatyzowanej walidacji integralności danych pomiarowych pochodzących z sensorów radarowych z wykorzystaniem sieci neuronowej. Jest to rozdział pomocniczy (choć istotny z praktycznego punktu widzenia) w kontekście tezy badawczej postawionej przez Doktoranta. Niestety także w tym rozdziale opis metodyki postępowania przy projektowaniu układu walidacyjnego nie jest ani dostatecznie szczegółowy ani ścisły. Nie wyjaśniono w sposób przejrzysty (np. matematycznie) struktury sieci; tabele z rysunków od 10.2 do 10.6 zawierające niewyjaśnione symbole/nazwy nie są wystarczające do zrozumienia koncepcji. Nie podano postaci zastosowanych funkcji aktywacyjnych (nie należy zakładać, że przytoczenie wyłącznie nazw funkcji aktywacji takich jak 'ReLU', 'leaky ReLU', 'softmax' jest wystarczające). Na schemacie z rysunku 10.1 nie pokazano w jaki sposób bloki zatytułowane 'Estymacja prędkości liniowej i obrotowej' oraz 'Detekcja i klasyfikacja anomalii' są ze sobą połączone mimo, iż obecność takiego połączenia nasuwa się po przeczytaniu treści ostatniego akapitu na stronie 117. Poza tym Autor zamiennie stosuje pojęcia prędkości obrotowej i prędkości kątowej, co nie jest właściwe. Przy opisie wyników działania zaproponowanej sieci walidacyjnej Autor stosuje niezdefiniowane pojęcia takie, jak: 'średni błąd bezwzględny', 'kategoryczna entropia krzyżowa', 'współczynnik uczenia', 'minimalistyczna sieć konwolucyjna', 'dystrybucja uniformalna', 'dystrybucja przestrzenna danych'. W konsekwencji czytelność tego rozdziału jest istotnie ograniczona, a tym samym jego wartość naukowa jest dyskusyjna. Więcej szczegółowych uwag na ten temat podano w rozdziale 4 recenzji.

Zasadnicze wyniki numerycznej walidacji zaproponowanych metod kalibracji radarów przedstawiono w rozdziale 11. Autor wprowadza tutaj wybrane wskaźniki jakości służące ilościowemu porównaniu metod, wprowadza pojęcie tzw. metody odniesienia (do celów porównawczych) i opisuje jej konstrukcję, a następnie prezentuje wyniki walidacyjne dla dwóch zaproponowanych algorytmów kalibracyjnych, tj. dla kalibracji trójosiowej typu post-factum (uzyskane dla danych rzeczywistych pochodzących z ogólnie dostępnej bazy danych radarowych) oraz dla trójosiowej kalibracji dynamicznej z kompensacją prędkości pojazdu (uzyskane dla danych częściowo syntetycznych z losowo dodanym kątem elewacji do danych pochodzących z ogólnie dostępnej bazy danych radarowych), przy czym drugi algorytm kalibracyjny został przetestowany w czterech wariantach, tj. z wykorzystaniem czterech różnych algorytmów optymalizacyjnych opisanych wcześniej w rozdziale 7. Wyniki zaprezentowano w postaci wykresów czasowych przebiegów estymat parametrów korekcyjnych dla poszczególnych algorytmów oraz w postaci wartości numerycznych wskaźników jakości zebranych w tabelach. Opisy wskaźników oraz poszczególnych scenariuszy walidacyjnych zawierają niejasne fragmenty, które utrudniają w pewnym zakresie ocenę wyników (szczegółowe uwagi na ten temat podano w punkcie 4 niniejszej recenzji). Jednak ostatecznie walidację należy uznać za ukończoną z sukcesem, przynajmniej w kontekście algorytmu trójosiowej kalibracji dynamicznej z kompensacją prędkości.

Rozprawa kończy się krótkim rozdziałem 12 zawierającym podsumowanie dysertacji, wnioski dotyczące przeprowadzonych badań oraz szkic możliwych kierunków potencjalnych dalszych prac badawczych w tematyce doktoratu.

Bogata bibliografia zebrana na stronach 151-169 liczy 268 pozycji. Składają się na nią artykuły pochodzące z renomowanych czasopism i uznanych konferencji naukowych, a także monografie naukowe i podręczniki, opisy patentowe, raporty techniczne, noty katalogowe oraz opisy standardów technicznych. Wybór bibliografii jest ściśle bądź pośrednio (ale wyraźnie) związany z tematyką rozprawy, jest przekonujący i właściwie wykorzystany przez Autora. Cytowane prace dotyczą nie tylko technologii sensorycznej w pojazdach samochodowych i problemów kalibracji sensorów, ale także takich istotnych i powiązanych zagadnień jak: pojazdy autonomiczne oraz ich zastosowania i podsystemy funkcjonalne, percepcja maszynowa, estymacja stanu pojazdu, modelowanie zachowania kierowcy i modelowanie ryzyk w transporcie lądowym, zaawansowane systemy wsparcia kierowców, fuzja danych z wielu sensorów, społeczne i środowiskowe aspekty wykorzystania zautomatyzowanych pojazdów, zautomatyzowane unikanie kolizji z przeszkodami, systemy sieciowej komunikacji pojazdowej itp. W spisie zawarto zarówno pozycje będące opracowaniami fundamentalnymi oraz historycznie istotnymi, jak i pozycje zawierające najnowsze wyniki badań. Publikacje z lat 2020-2024 zajmują około 26,5% wszystkich przytoczonych w spisie pozycji literatury (cytowanych prac z lat 2023-2024 jest jednak tylko 6). Redakcja spisu zawiera liczne błędy edycyjne lub

językowe, braki danych oraz nieścisłości (szczegółowe uwagi w tej tematyce sformułowano w punkcie 4 recenzji). Istotnie słabą stroną doboru bibliografii jest brak w spisie prac opublikowanych przez polskich badaczy. Jest to niezrozumiałe, ponieważ w ostatnich latach w polskich ośrodkach powstały zarówno interesujące artykuły jak i doktoraty w tematycznym obszarze zaawansowanej sensoryki i percepcji maszynowej w zastosowaniach pojazdowych i robotycznych. Nieznajomość krajowych wyników badań (lub, co gorsza, ich ignorowanie) w zakresie poruszonym w rozprawie działa tutaj na niekorzyść Doktoranta.

3. Ocena zastosowanej metodyki badawczej i uzyskanych wyników

Problem badawczy i cele badawcze sformułowane w rozprawie są bardzo aktualne i o dużym znaczeniu praktycznym. Przyjęte w tezie założenia o dynamicznym charakterze algorytmu kalibracji oraz o ograniczeniu złożoności obliczeniowej tak, aby uczynić zaproponowane rozwiązanie implementowalnym na procesorze wbudowanym w strukturę sensora radarowego są przekonujące i dobrze uzasadnione w kontekście ograniczeń technicznych spotykanych we współczesnych pojazdach samochodowych oraz trendach obecnych w literaturze tematu i w praktyce przemysłowej. Efektywność rozwiązań wbudowanych pozwala bowiem na implementację układu obliczeniowego w formie rozproszonej oraz prowadzi do zrównoleglenia obliczeń radarowych wykonywanych w czasie rzeczywistym.

Mimo, że rozprawa porusza kilka zagadnień badawczych, tylko rozwiązanie zagadnienia dynamicznej trójosiowej kalibracji radaru (dalej w skrócie: DTKR) z korekcją pomiaru prędkości pojazdu jest ściśle związane z treścią tezy badawczej ze strony 3. Zatem zasadnicze uwagi w tym miejscu recenzji powinny odnosić się głównie do tego właśnie algorytmu i podanych dla niego wyników walidacyjnych. Pozostałe zagadnienia poruszane w dysertacji mają w mojej ocenie charakter uzupełniający bądź dodatkowy i powinny stanowić tło dla głównego wątku badawczego.

Opracowana metoda DTKR umożliwia aktualizację parametrów kalibracyjnych radarów oraz współczynnika korekcji prędkości pojazdu w sposób adaptacyjny podczas ruchu pojazdu, co jest jej niewątpliwą zaletą. Adaptacja systemu percepcji do zmiennych warunków pomiarowych sensorów radarowych wpisuje się dobrze w koncepcję pojazdów inteligentnych czy też szerzej – inteligentnych/autonomicznych robotów mobilnych. Doktorant opracował tego typu algorytm, którego ograniczona złożoność obliczeniowa umożliwia jego implementację na lokalnym procesorze radarowym. Dużą efektywność obliczeniową uzyskano dzięki weryfikacji i porównaniu szybkości zbieżności czterech alternatywnych metod optymalizacji iteracyjnej wykorzystywanej w ramach procedury kalibracji i wyborze najskuteczniejszej z nich. Porównanie algorytmów optymalizacyjnych wykonano właściwie, ponieważ oprócz analizy precyzji estymacji wzięto pod uwagę także koszt obliczeniowy algorytmów. Okazało się, że wykorzystanie sympleksowej metody Nelder-Meada prowadzi nie tylko do najlepszej precyzji estymacji, ale umożliwia także najszybszą zbieżność algorytmu iteracyjnego poszukiwania parametrów kalibracyjnych. Uzyskanie międzynarodowej ochrony patentowej dla opracowanego rozwiązania świadczy o wysokiej skuteczności i efektywności zaproponowanej metody kalibracji.

Metodyka walidacji algorytmów podana w rozdziale 11 jest zasadniczo przekonująca, choć należy podkreślić, że w przeciwieństwie do stwierdzeń Autora dysertacji nawet najlepsze wyniki eksperymentalne nie mogą dowodzić żadnej tezy a tylko ją potwierdzać bądź uwiarygadniać (jest to znane ograniczenie empirycznych metod badawczych). Poza tym nie do końca wiadomo, jaką rolę w procesie walidacji pełni wprowadzony przez Autora 'algorytm referencyjny'. Czy ma on stanowić niejako *najlepszy algorytm* do celów porównawczych? Dlaczego nie wystarczyłoby porównywać wyników uzyskanych po kalibracji do tzw. oryginalnych detekcji (tj. tych uzyskanych bez kalibracji radarów)? Ta kwestia wymaga wyjaśnienia. Większość uzyskanych wyników numerycznych świadczy na korzyść opracowanych algorytmów kalibracji (w stosunku do jakości tzw. oryginalnych detekcji). Wyniki uzyskane dla algorytmu DTKR, ukazujące poprawę wskaźnika RMSE (ang. Root Mean Square Error) o rząd wielkości w porównaniu do jakości działania układu bez kalibracji oraz akceptowalną jakość uzyskanych estymat parametrów kalibracyjnych (w porównaniu do ich wartości nominalnych), potwierdzają postawioną tezę badawczą. Nie jest natomiast jasne jak należy interpretować raczej śladowe różnice jakości wyrażone wartościami wskaźnika RMSE uzyskanymi dla metody DTKR oraz dla tzw. algorytmu referencyjnego. W tym kontekście oczekiwany jest stosowny komentarz Doktoranta.

Zasadna wydaje się zaproponowana pośrednia ocena jakości działania zaproponowanych algorytmów kalibracji ze względu na brak dostatecznie precyzyjnych danych pomiarowych umożliwiających wykonanie bezpośredniej oceny jakości uzyskanych estymat parametrów kalibracyjnych. W podejściu pośrednim ocena jakości estymacji odbywa się na podstawie wskaźnika RMSE tzw. błędów resztowych prędkości radialnych punktów pomiarowych, których jednak wprost nie zdefiniowano i nie do końca wiadomo jak wyznaczone są prawdziwe wartości tych prędkości potrzebne do wyliczenia wskaźnika (11.3) ze strony 124. Ta kwestia również wymaga wyjaśnienia. Z kolei tam, gdzie wykorzystano ocenę bezpośrednią (tj. na podstawie wartości uchybów parametrów kalibracyjnych), konieczne było wygenerowanie syntetycznych danych radarowych przy założonych prawdziwych/nominalnych wartościach parametrów, co może w pewnym sensie ograniczać praktyczne znaczenie takiego wyniku, nie wiadomo bowiem jak algorytm sprawdzi się z użyciem danych rzeczywistych. Czy syntetyczne uzupełnianie danych pomiarowych o losowe wartości kątów elewacji może potencjalnie wprowadzać jakąś tendencyjność do wyników kalibracji? Krótki komentarz Doktoranta w tej materii byłby interesujący.

Mimo że dodatkowy algorytm post-factum nie jest zasadniczym wynikiem rozprawy, to warto na marginesie zauważyć, że dwa ostatnie założenia (kropka trzecia i czwarta podane na stronie 112) wydają się dość silne i tym samym konieczność ich przyjęcia może być kontrowersyjna z punktu widzenia użyteczności takiego algorytmu w warunkach praktycznych. Wyniki ilościowe podane w tabeli 11.4 na stronie 132 ilustrują raczej śladowe różnice jakości działania metody post-factum w stosunku do jakości oryginalnych detekcji. Czy Doktorant może skomentować praktyczne konsekwencje wyżej wspomnianych założeń oraz wyniki ilościowe dotyczące metody post-factum?

Pewną wątpliwość metodyczną w świetle zaproponowanej algorytmiki kalibracyjnej może budzić fakt obecności zawieszenia w pojazdach samochodowych, które umożliwia dynamiczną zmianę relacji przestrzennej między układem współrzędnych karoserii pojazdu a ustalonym układem otoczenia, co może wpływać na skuteczność procedury kalibracji radarów i dalej na jakość pracy systemu percepcji maszynowej wykorzystującej detekcje radarowe. Stosowne pytania w tej kwestii sformułowano w punkcie 4 niniejszej recenzji.

Podsumowując można stwierdzić, że podejście badawcze zastosowane w rozprawie jest charakterystyczne dla doktoratu wdrożeniowego. Celem takiego doktoratu jest skuteczne rozwiązanie konkretnego problemu praktycznego pojawiającego się w obszarze przemysłowym/gospodarczym. Niewątpliwie cel taki został osiągnięty, co potwierdza zarówno przyznana ochrona patentowa zaproponowanej metody, jak i skuteczna implementacja opracowanego algorytmu autokalibracji radaru w produkcie komercyjnym.

4. Szczegółowe uwagi krytyczne i pytania

- [U1] Autor słusznie zakłada, że pomiary radarowe powinny być przeliczone do wspólnego układu współrzędnych związanego z pojazdem. Nasuwa się pytanie: czy taki układ współrzędnych powinien być na sztywno związany z karoserią pojazdu (tj. z elementem, do którego mocowane są radary) czy też z podwoziem pojazdu? W przypadku przeliczania pomiarów do układu karoserii jej odchylenie (wynikające z obecności układu zawieszenia, który umożliwia zmianę orientacji karoserii względem podwozia przy ruchu pojazdu po łuku lub na pochyleniach drogi) zmienia przestrzenną relację między układem karoserii a układem inercyjnym (tj. z ustalonym układem otoczenia pojazdu). Czy wspomniana dynamiczna zmiana relacji między układami współrzędnych wynikająca z obecności zawieszenia pojazdu jest brana pod uwagę w systemach ADAS i AD oraz przy dynamicznej kalibracji radarów? Jeżeli nie jest brana pod uwagę, to w jaki sposób zmiana taka wpływa na interpretację danych pomiarowych i skuteczność zautomatyzowanej percepcji otoczenia pojazdu?
- [U2] Przy opisie w rozdziale 4 (na stronie 27) brakuje wyszczególnienia cechy charakterystycznej dla czwartego poziomu automatyzacji pojazdów samochodowych, którą jest brak konieczności przejęcia przez kierowcę zadania prowadzenia pojazdu pomimo wystąpienia sytuacji krytycznej (system poziomu czwartego musi poradzić sobie w takiej sytuacji).
- [U3] Odometria wspomniana na stronie 28 nie jest rodzajem czujnika a przyrostową metodą określania lokalizacji pojazdu.
- [U4] Matematyczna strona opisów zawartych w rozdziałach 5 i 7 jest albo niepoprawna albo niepełna lub

niejasna, często zbyt lakoniczna, podana bez oczekiwanego rygoru formalnego. W szczególności należy tutaj zwrócić uwagę na następujące aspekty:

- a. Mnożenie $X_k F$ na stronie 41 jest błędnie zapisane; poprawnie powinno być $F X_k$.
- b. Brakuje wyjaśnienia, jakie własności ma mieć szum w_k ze strony 41.
- c. We wzorze (5.4) brakuje indeksów opisujących numer bieżącej próbki dla składowych wektora stanu; rozmiar macierzy ze wzoru (5.5) jest niepoprawny.
- d. Opis interpretacji zmiennych stanu na stronie 41 jest nieściśły, mianowicie: (x, y) powinno dotyczyć konkretnego punktu obiektu (jakiego?), prędkość liniowa v także musi być związana z konkretnym punktem obiektu (jakim?), zamiast o prędkości obrotowej należy mówić o prędkości kątowej obiektu wyrażonej w rad/s.
- e. Przed wzorem (7.1) należało wprowadzić wektor parametrów $b = [b_1 \dots b_N]^T$.
- f. Za (7.1) należało podać warunek nieujemności funkcji celu.
- g. Na str. 63 Autor pisze o 'optymalizowanych parametrach' oraz o 'optymalizacji równania', co nie jest w pełni poprawne, bo optymalizacji podlega funkcja celu. Poza tym funkcja celu nie 'przyjmuje' N parametrów, a zależy od N parametrów.
- h. W zależności (7.3) należało się spodziewać, że b należy do R^N .
- i. Czym jest 'duża dziedzina optymalizacji'? (str. 64)
- j. W dwóch ostatnich akapitach na stronie 64 Autor pisze o doborze 'parametrów' funkcji kosztu. O jakie 'parametry' tu chodzi, bo chyba nie o poszukiwane elementy wektora b ?
- k. O jakim 'rozwiązaniu równania' Autor pisze na stronie 65 w liniach 2-3 od góry akapitu?
- l. Indeks 'm' oraz wartość 'M' wprowadzone na stronie 66 nie są wyjaśnione.
- m. Zapis (7.8) jest wątpliwy; czytelnik spodziewa się raczej zbioru wektorów postaci $\{b_1, b_2\}$ a nie macierzy.
- n. Parametry α i ε podane na schemacie z rys. 7.4a nie zostały wyjaśnione. Na tym samym schemacie zapis (przypisanie?) typu $b = 2 b_{hj}^B - \bar{b}_{hj}^B$ jest niejasny i wymaga komentarza.
- o. W relacji (7.9) brakuje indeksów dolnych '1' i '2' przy wektorze b .
- p. Nie wiadomo jak rozumieć zapis ze strony 69 postaci $l_r = l(\mu_r)$, bo wcześniej funkcja celu zależała od wektora parametrów b a nie od parametru μ_r .
- q. W zależności (7.19) brakuje indeksów numeru iteracji, co czyni zapis mylącym. Poza tym nie podano jak punkt b_z z rysunku 7.5 ma się do wzoru (7.19).
- r. Jak należy rozumieć 'gładki przebieg' funkcji? (strona 71)
- s. Wzór na gradient (7.20) nie powinien zawierać symbolu transpozycji (to powinien być wiersz). Z kolei we wzorze (7.21) gradient powinien być transponowany, aby zgadzały się wymiary.
- t. Nie jest jasne czym jest 'szum parametrów' wprowadzony na stronie 71. Dlaczego zmienna X wprowadzona na rys. 7.6 jest nazywana przez Autora 'parametrem'? To jest raczej zmienna regresji.
- u. Rysunek 7.6 nie ilustruje 'przykładu działania' metody TLS, a raczej ilustruje interpretację graficzną metodyki postępowania w tej metodzie.
- v. Wyjaśnienie metodyki NLS nad wzorem (7.22) jest mylące, bo metoda LS minimalizuje sumę kwadratów błędów równaniowych (lub błędów resztowych w przypadku (7.22)).
- w. Zapis z normą typu '2' w równaniu (7.22) jest mylący, bo $R_r(b)$ jest tutaj skalarem. Po co użyto tu normy?
- x. W równaniach (7.23)-(7.24) brakuje indeksów przy elementach J i R wskazujących na numer iteracji, co czyni te równania niejasnymi dla czytelnika. Poza tym w (7.23) ostatni element wektora b powinien mieć indeks 'N' a nie 'n', natomiast ostatni wiersz macierzy J powinien mieć indeks 'M' a nie 'm'.
- y. Znak składnika korekcyjnego w iteracji (7.24) powinien być ujemny, bo szukamy parametrów b w kierunku ujemnego gradientu funkcji celu. Poza tym źródło postaci wzoru (7.24) powinno być wyjaśnione bardziej szczegółowo, bo w (7.24) poczyniono pewne aproksymacje (powinno być podana uwaga dotyczące przyjętych założeń, przy których takie aproksymacje są zasadne). Element R w równaniu (7.24) nie jest macierzą lecz wektorem o wymiarze $M \times 1$; nie podano jak należy liczyć R .
- z. Opis metody z punktu 7.2.3 jest zdecydowanie zbyt lakoniczny i niewiele wnosi do pracy. Nie

wyjaśniono symboli wprowadzonych w równaniu (7.26) oraz nie podano wymiarów poszczególnych macierzy składowych. W równaniu (7.27) przy macierzach V także brakuje indeksów związanych z numerem iteracji.

[U5] Szczegółowe uwagi krytyczne dotyczące treści rozdziału 8:

- a. Na końcu krótkiego paragrafu przed punktem 8.3.1 (strona 82) powinno być jawne odniesienie się do pracy [13] Doktoranta, z której Autor intensywnie korzystał przy tworzeniu rozdziału 8.
- b. Przy okazji wprowadzenia kilku wzorów w rozdziale 8 nie zostało podane źródło ich pochodzenia (por. (8.1), (8.7), (8.11)). Czy to są wzory autorskie (jeżeli tak, to brakuje ich wyprowadzenia) czy przywołane z literatury? Poza tym nie podano wyraźnie czy wykres z rys. 8.1 dotyczy wzoru (8.1) czy nie.
- c. Część wzorów lub składników w nich występujących ma interpretację geometryczną (np. (8.1), (8.5), (8.8), (8.10), (8.11)), jednak takiej interpretacji nie podano (np. w postaci stosownego rysunku z oznaczeniami matematycznymi), co utrudnia zrozumienie tych wzorów.
- d. Wydaje się, że podpis pod rysunkiem 8.4 jest częściowo błędny - czy chodzi o stosunek mocy odbieranej do transmitowanej?
- e. Autor wielokrotnie (np. na stronach 86, 88, 97) stosuje w tekście myślniki różnego typu albo do oznaczenia zakresów wartości, albo jako separatory między tekstem a liczbami lub symbolami matematycznymi, co jest bardzo mylące (może niepoprawnie sugerować albo operację różnicy albo wartości ujemne).
- f. Przy wzorze (8.6) należy założyć, że argument funkcji jest bezwzględnie mniejszy lub równy jeden.
- g. Kąt β_m we wzorze (8.8) nie został wyjaśniony. Podobnie macierze rotacji we wzorze (8.9) nie zostały zdefiniowane (wokół osi którego układu współrzędnych są określone te obroty?).
- h. Czy we wzorze (8.12) zakłada się stałość składowych prędkości T_x , V_x , T_y i V_{wy} ? Wielkości te nie mają indeksów 'n'. Dlaczego? Poza tym to są prędkości konkretnych punktów pojazdów - których punktów? Znowu brakuje stosownego rysunku poglądowego.
- i. Niektóre podpisy osi odciętych na rysunkach 8.5, 8.6, 8.8, 8.9, 8.10, 8.11, 8.12, 8.13, 8.14 są nieprecyzyjne, ponieważ zamiast użyć symboli matematycznych wskazujących na konkretne wielkości matematyczne podano nazwy słowne (wydaje się, że do tego czasem w sposób niespójny z resztą tekstu, np. czy 'błąd orientacji celu' jest tym samym co 'błąd kąta kierunku' na str. 94?). Taka praktyka bardzo utrudnia interpretację wykresów. Jak rozumieć jednostkę 'dBsm' (rys. (8.6))?
- j. Wielkości 'D' i 'D $_{\alpha}$ ' we wzorze (8.30) są skalarami, więc powinny być pisane czcionką chudą.
- k. Co reprezentuje jest symbol ' ϕ ' we wzorze (8.31)?
- l. O jaką 'stabilność' chodzi Autorowi na końcu przedostatniego akapitu na str. 89?
- m. Opis i wyprowadzenie wzorów (8.13)-(8.27) jest bardzo nieczytelny i nieprecyzyjny. Nie zdefiniowano jawnie postaci wielkości zespolonych. Miesza się w jednym wzorze algebraiczną i wykładniczą postać zmiennych zespolonych. Nie wiadomo czym jest R , T_T i T_M oraz które wzory są równe z definicji, a które są wynikiem obliczeń. Pochodzenie wzorów (8.20) nie jest jasne (czytelnik musi się tego domyślać). Wzór (8.23) jest 'wiszący' (brak powiązania z tekstem i brak jego wyprowadzenia) i nie wiadomo skąd wziął się wzór (8.24). Czym jest symbol 'E' w (8.25)? Jaka jest relacja między R , R_T i R_M ? Skąd wziął się ostatni wzór w (8.26) i pierwszy w (8.27)? Przedostatnie przejście we wzorach (8.27) jest niejasne (na jakiej podstawie uzyskano wzór drugi od dołu strony 93?).
- n. Sformułowanie 'relatywny wektor prędkości' (np. na str. 92-93) jest niepoprawne; powinno być 'wektor prędkości względnej'. Sformułowanie 'fuzja kamery, radaru i lidar' jest niewłaściwe (fuzji podlegają dane/sygnały/informacje w nich pochodzące).
- o. Wydaje się, że zaraz pod wzorem (8.30) powinien być nowy podpunkt dotyczący prezentacji przykładowych wyników symulacyjnych, zamiast zlewania tej części tekstu z opisem wcześniejszym.
- p. Jak obliczono statystyki podane w ostatnim akapicie punktu 8.3.6 na stronie 97? Na podstawie wykresu z rys. 8.14?

[U6] Szczegółowe uwagi krytyczne dotyczące treści rozdziału 9:

- a. W opisie algorytmu na rys. 9.2 zamiast operatora '=' powinien być używany operator przypisania ':=',

- aby uniknąć sprzeczności. Poza tym zamiast formuły ' $n=N+1$ ' powinna być użyta formuła ' $n:=n+1$ ' (inkrementacja licznika).
- b. Wzór (9.1) nie jest właściwie zapisany. Sugeruje się wprowadzenie kąta optymalnego β_{fp}^* i zapisanie (9.1) w postaci: $\beta_m = -\beta_{fp}^*$, gdzie $\beta_{fp}^* = \max_{\beta_{fp}} A_{fp}(\beta_{fp})$.
 - c. Opis osi odciętych na wykresach z rys. 9.4 jest mylący. Raczej powinny tam się znaleźć wartości kąta odchylenia płyty i przypisane do nich zbiory pomiarów. Czym jest 'relatywna amplituda celu'? (opis osi rzędnych)
 - d. W akapicie pod rysunkiem 9.4 na stronie 106 Autor opisuje 'metodę samowsporną'. Dlaczego nie zastosowano tu klasycznego podejścia, w którym wszystkie zbiory pomiarowe (lub średnie arytmetyczne z tych zbiorów) są wykorzystywane do estymacji parametrów wielomianu (9.2)?
 - e. Wektor \mathbf{b} we wzorze (9.3) powinien być zdefiniowany. Element \mathbf{W} we wzorze (9.6) powinien być macierzą diagonalną o wymiarze ' $n \times n$ ' a nie wektorem.
 - f. Przy opisie wzoru (9.7) należało podać, że jest to wyznaczony argument maksimum funkcji (9.2); obecny opis jest niepotrzebnie enigmatyczny.
 - g. Argumenty podane na końcu pierwszego akapitu na stronie 108 mogłyby zawierać także uwagę o zmianie masy pojazdu zależnej od liczby transportowanych pasażerów oraz ilości i masy bagażu.
 - h. Wielkości występujące we wzorach (9.10)-(9.11) nie zostały należycie wyjaśnione (definicja kąta skręcenia wymagałaby podania stosownego rysunku).
 - i. Niestety nie podano wyprowadzenia wzoru (9.12), który jest kluczowy dla zaproponowanej metody kalibracji. Z drugiej strony szczegółowo podano wzory (9.13)-(9.16), które są wynikami obliczeń pochodnych cząstkowych, a przecież ich postać nie ma tak istotnego znaczenia jak postać równania (9.12).
 - j. We wzorze (9.22) niepoprawnie podano sumę zamiast różnicy składników po prawej stronie równania oraz nie zdefiniowano wektora \mathbf{b} . Poza tym nie wiadomo jak należy liczyć 'residua prędkości radialnej'. Jeżeli różne (tj. niejednakowe) wzmocnienia η mają być zastosowane we wzorze (9.22), to formalnie należy wprowadzić diagonalną macierz wzmocnień składnika korekcyjnego w tym wzorze (zamiast wektora (9.23)).
 - k. Wektor ze wzoru (9.23) należy transponować; podobnie we wzorze (9.25).
 - l. Nie podano wymogu dodatniości parametru λ_m we wzorze (9.24) i ponownie w tym wzorze jest pomyłka znaku z prawej strony równania. Poza tym szkoda, że Autor nie stosuje w tym rozdziale odniesień do ogólnych rozważań na temat wybranych metod optymalizacji podanych w rozdziale 7.
 - m. Dlaczego między macierzami we wzorze (9.26) są zapisane przecinki? Jak to rozumieć? Jakie są wymiary poszczególnych macierzy składowych w (9.26)?
 - n. We wzorze (9.27) użyto operatora dzielenia '/', co jest niepoprawne (nie istnieje operacja dzielenia macierzy).
 - o. Sformułowanie '[...] błędu prędkości radialnej stacjonarnych detekcji' podane w ostatniej linii na stronie 111 brzmi jak sprzeczność (jeżeli mamy niezerową prędkość to dlaczego Autor pisze o *stacjonarnych* detekcjach?)
 - p. Założenie z trzeciej kropki na stronie 112 wydaje się dość silne, bo nie musi być w praktyce spełnione. Jak Doktorant skomentowałby tę kwestię?
 - q. Cecha metody podana w czwartej kropce na stronie 112 jest słabą stroną algorytmu kalibracji. Jak Autor skomentowałby tę kwestię w kontekście praktycznej przydatności zaproponowanego algorytmu kalibracji?
 - r. Nie jest jasne czy algorytm z punktu 9.3 jest implementowalny na procesorze wbudowanym czy raczej wymaga dużych mocy obliczeniowych i tym samym specjalnej silnej jednostki obliczeniowej?
 - s. We wzorze (9.32) brakuje indeksu 'k' przy symbolu V_x .
 - t. Na końcu punktu 9.3 (strona 112) Autor wspomina o poprawie działania metody po przekroczeniu 128 detekcji na radar. Z czego te ilościowe wnioski wynikają? Czytelnik musi to przyjąć jako dogmat, bo brak jest tu jakiegokolwiek odniesienia do źródła wyników potwierdzających taką tezę.

- u. W punkcie 9.2 Autor wspomina o implementacji czterech różnych (alternatywnych) metod optymalizacji do celów rozwiązania problemu kalibracji radaru. Nie uprzedzono jednak czytelnika w jakim celu wszystkie cztery metody zostały zaimplementowane i czy przeprowadzono jakieś porównanie jakości ich działania. Czytelnik może czuć się w tym miejscu zakłopotany.

[U7] Szczegółowe uwagi krytyczne dotyczące treści rozdziału 10:

- a. Tytuł rozdziału 10 jest zdecydowanie nieinformatywny.
- b. W pierwszym akapicie na stronie 114 Doktorant stwierdza, że 'pomiarzy pozwalają na udowodnienie działania trójosiowej kalibracji radaru', co nie jest właściwe, ponieważ żadne wyniki badań empirycznych nie mogą stanowić 'dowodu' a jedynie potwierdzenie bądź uwiarygodnienie tezy.
- c. Nie jest do końca jasne jak należy rozumieć sformułowanie 'minimalistyczna liczba parametrów' użyte na stronie 114. Czy liczba parametrów sieci była faktycznie (formalnie) minimalizowana?
- d. Prędkość 'liniowa' (lepiej 'postępowa') powinna być odniesiona do konkretnego punktu pojazdu, a prędkość 'obrotowa' powinna być w całym rozdziale zastąpiona prędkością kątową pojazdu.
- e. Nie jest jasne o 'architekturze' czego i jakich 'problemach' pisze Autor w punkcie 10.1.1 na stronie 114.
- f. Wydaje się, że na rys. 10.1 wyjście z bloku 'Estymacja prędkości...' powinno być połączone z wejściem bloku 'Detekcja i klasyfikacja anomalii'. Czy tak powinno być?
- g. Opis wejść sieci neuronowej podany na stronie 115 (lista wykropkowana) jest niejasny: czym jest odległość detekcji?, czym jest prędkość radialna i czego ona dotyczy?, o jakiej odbitej amplitudzie Autor pisze?, jakiego wejścia sieci dotyczy stosunek sygnału do szumu wspomniany w tym kontekście?
- h. Nie jest jasne znaczenie następujących nazw/skrótów stosowanych w tabelach na rysunkach od 10.2 do 10.6: 'None', 'Conv1D', 'TFOpLambda', 'Reshape', 'Conv2D', 'Flatten', 'Dense', 'Concatenate'. Brak znajomości definicji i znaczenia tych symboli oraz wartości liczbowych podanych w tabelach czyni zaprezentowany wynik badawczy niejasnym i niereprodukowalnym.
- i. Czym są 'gęste warstwy' przytoczone z ostatnim akapicie na stronie 117?
- j. W punkcie 10.1.2 nie podano jak należy obliczać 'residua'. Poza tym nie podano żadnej referencji do opisu optymalizatora 'Adam' i jego parametrów (nie należy zakładać, że każdy czytelnik dysertacji będzie znał w szczegółach zastosowane narzędzia obliczeniowe).

[U8] Szczegółowe uwagi krytyczne dotyczące treści rozdziału 11:

- a. Nie jest jasne o jaką 'stabilność uzyskanej estymacji kąta' (pomijając chwilowo kwestie językowe) chodzi Autorowi w pierwszym akapicie punktu 11.1. Czym są 'niewyrównane detekcje'? Czy tu chodzi o wyniki działania algorytmu na danych surowych (tj. bez kalibracji radaru)?
- b. Nie podano czym jest b^* we wzorze (11.1) i czy ta wartość jest znana w praktyce. Zatem czy w praktyce da się policzyć obie strony nierówności (11.1)? Podobnie nie jest jasne jak rozumieć elementy z gwiazdką użyte we wzorze (11.2). Czy znamy te wartości w praktyce?
- c. Nie podano, jak należy obliczać w praktyce residua prędkości radialnej we wzorze (11.3).
- d. Brakuje matematycznej definicji elementów μ_3 oraz μ_4 we wzorach (11.4) i (11.5).
- e. Brakuje klarownego uzasadnienia celu wprowadzenia 'metody odniesienia' w punkcie 11.2. Po co wprowadzono ten algorytm referencyjny?
- f. Znaczenie sformułowania 'rozwiązanie modelu prędkości względem zasięgu' zawartego w punkcie 11.2 na stronie 125 nie jest zrozumiałe. O co chodzi tutaj Autorowi?
- g. Jak zdefiniowano wielkości opisujące osie współrzędnych wykresu z rysunku 11.1?
- h. Nie wiadomo, gdzie wzór (11.9) został wykorzystany i jaki jest cel jego wprowadzenia.
- i. Wielomian ma stopień, nie rząd. (strona 126)
- j. Zamiast o wskaźnikach 'wydajności' (strona 127, dół strony) należałoby pisać o wskaźnikach jakości.
- k. Komentarz podany pod wzorem (11.8) jest nieczytelny. Jak zatem budowano macierze Jakobiego? Dlaczego wymagały one losowego wyboru 'stacjonarnych detekcji'? Czy macierze te zależały od nieznanych parametrów kalibracyjnych, aktualizowanych na bieżąco w procesie estymacji?
- l. Czym są 'oryginalne detekcje' do których odwołuje się tabela 11.2 na stronie 129?
- m. Stosowanie w tekście (np. na stronie 130) żargonu w postaci anglicyzmów typu 'misalignment' czy

'dataset' jest rażąco niestosowne (istnieją odpowiedniki polskojęzyczne tych terminów).

- n. Ponownie należy podkreślić, że żadne wyniki doświadczalne nie mogą niczego 'dowieść' a jedynie potwierdzić, uzasadnić bądź uwiarygodnić (strona 130).
- o. Jak należy rozumieć 'oryginalne detekcje' przywoływane w tabelach 11.4, 11.7, 11.9, 11.11 i 11.13? Ten element nie został wyraźnie zdefiniowany w tekście.
- p. W jaki sposób Autor syntetyzował dane radarowe w punkcie 11.4, aby narzucić wartości liczbowe parametrów kalibracyjnych podane w tabeli 11.5? Poza narzucaniem losowej wartości kąta elewacji wymuszenie wartości pozostałych parametrów nie zostało wyjaśnione.

[U9] W treści rozprawy można znaleźć wiele wyrażen żargonowych oraz błędów (w tym interpunkcyjnych), usterek lub niezręczności językowych. Błędy, usterki i niezręczności językowe zauważone w tekście (wybór):

- a. autor niezasadnie stosuje anglicyzmy typu 'dataset', 'host', 'misalignment', 'tracker', 'outlier', 'chirp', które mają swoje dobrze określone i znane odpowiedniki stosowane w języku polskim; poza tym Autor używa kalki słowa 'control' w postaci 'kontrolowanie/kontrola', ale pod tym słowem ma na myśli często 'sterowanie' a nie 'sprawdzanie' (jest to nieściśle i mylące użycie słowa 'kontrolować' dla czytelnika z obszaru automatyki, dla którego oznacza ono 'sprawdzać' a nie 'sterować', czyli inaczej niż wynikałoby to z intencji Autora); wyrażenie typu 'detekcja' (w tym 'statyczna detekcja') jest bardzo nieprecyzyjne i w wielu miejscach utrudnia zrozumienie intencji Autora (wydaje się, że detekcja jest rozumiana przez Doktoranta jako wynik procesu wykrycia elementu na podstawie pomiarów a nie sam proces wykrywania, co jest mylące);
- b. niezręczności: 'szansa na wystąpienie potrzeby gwałtownego hamowania' (ryzyko wystąpienia); 'wyestymowanej' (oszacowanej), 'moc odbita' (moc fali dobitej?); 'dziedzina technologii' (dziedzina techniki); 'ciała' (korpusu); 'wymaga założenia' (wymaga przyjęcia założenia); 'wymagają bezpieczeństwa'; 'szybkie pozyskiwanie sieci' (szybki dostęp do sieciowego łącza komunikacyjnego?); 'nadużycie sygnalizacji świetlnej'; 'technologii autonomicznej' (technologii dotyczącej jazdy autonomicznej); 'lokalizacja pojazdu jest mierzona' (wyznaczana); 'układów mechanicznych lub hydraulicznych, takich jak przyspieszanie, hamowanie oraz sterowanie' (to nie są układy, a zamiast sterowania powinno być tutaj 'kierowanie'); 'pomyłek popełnionych przez te pojazdy'; 'kominukacja interpersonalna' (intersystemowa?); 'kontroler' (sterownik); 'gazem' (przespieszeniem); 'potencjał/wyzwania jazdy autonomicznej' (potencjał/wyzwania technologii AD?); 'w otoczeniu większości populacji' (?); 'z pewną niepewnością'; 'problemy systemów fuzji' (ograniczenia systemów fuzji?); 'hipoteza stanów obiektu'; 'asocjację pomiaru do obiektu'; 'aplikacja stanów kinematyki pojazdu' (?); 'problemy, z którymi borykają się algorytmy'; 'rzeczywiste pomiary z sensorów' (rzeczywiste sensory); 'nieprawidłowa kalibracja [...] może umożliwić' (uniemożliwić); 'zużycie łącza' (obciążenie łącza?); 'budżetowy procesor' (tani procesor); 'bezpośredniego szukania' (poszukiwania); 'punktem o wzorze'; 'szum pomiarów radarowych' (szum zawarty w pomiarach radarowych); 'wydajność czujnika/kalibracji' (?); 'wysokiej jakości kąty'; 'w globalnym systemie współrzędnych' (układzie współrzędnych); 'rozpraszanie dróg'; 'wysokiego wzmocnienia' (dużego wzmocnienia); 'cecha ta może być realizowana'; 'na kierunek w stronę lokalizacji montażu czujnika'; 'wartość przekrzywioną'; 'metoda składająca się z różnych typów czujników'; 'kowariancję zmierzonego obiektu'; 'umożliwiającej na pomiar elewacji'; 'jest w stanie działać zintegrowane z kompletnie innym producentem jednostek centralnych'; 'o zmierzonej kinematyce'; 'wypożyczonowaniu' (spozycjonowaniu); 'zamieszczone na serwomechanizmie' (umieszczone); 'kąt zaczepiony w zerze'; 'odpowiadało przeciwności'; 'ustabilizowanie optymalizacji'; 'wyjątkowo lekkiej architektury' (oszczędnej?); 'dostarczenie klasyfikacji'; 'odległość detekcji'; 'nie odwzorowują idealnie projektu wdrożeniowego'; 'precyzyjne estymacje' (precyzyjne estymaty/oceny);
- c. usterki: jednostki fizyczne powinny być pisane w tekście bez nawiasów kwadratowych, tj. np. Mbit/s zamiast [Mbit/s] itp.; 'z współczynnikiem' (ze współczynnikiem); 'uniknięcia kolizję' (kolizji); 'odwiedzić myjnie' (myjnię); 'ocenę stanów pojazdu' (ocenę zmiennych stanu pojazdu); 'estymator kinematyki' (kinematyczny estymator?); niedokończone frazy w tabeli 3.1 (pobór mocy, możliwość zakłóceń, zbiera

dane bez emisji); 'poprzez model dynamiki' (na podstawie modelu dynamiki); 'założono' (założono); 'po sprawdzeniu [...] do wspólnego układu współrzędnych' (po sprawdzeniu); 'na ilustracji x.x' (na rysunku x.x); 'architektury centralnej' (scentralizowanej); 'elementy odbiorczej' (elementy odbiorcze); 'wstępne' (wstępnie); 'pomiedzy' (pomiędzy); 'z śledzonymi' (ze śledzonymi); 'Bład' (Błąd); 'zdecydowano na użycie' (zdecydowano się ...); 'predkości' (prędkości); 'Nelder-Meada' (Nelder-Meada?); 'zaszumiające percepcję otoczenia' (zaburzające?); 'aplikowanie korekcji na detekcjach radarowych' (żargon);

- d. błędy: 'udowodnienie tezy' (potwierdzenie tezy); 'klotoidów' (klotoid); 'kątu' (kąta); 'metodologii' (metodyki); 'pochodnych każdego parametru' (pochodnych względem każdego parametru); 'mały czas' (krótki czas); w Równaniu (8.8) (w równaniu (8.8)).

[U10] Zauważone błędy edycyjne, językowe oraz braki w spisie bibliografii: we wszystkich pozycjach odwołujących się do konferencji nie podano miejsca konferencji; w liście autorów powinni być wymienieni wszyscy współautorzy zamiast zapisu 'i inni' lub braku autorów (por. np. [8,60,91,94,114,136,262,263,267]); w niektórych pozycjach pojawiają się *wiszące* numery o niejasnym znaczeniu przy końcu opisu lub brak myślnika między numerami stron lub słowo 'strona' zamiast 'strony' lub brak słowa 'strony' (por. np. [1,7,42,53,101,110,116,124,126,128,130,151,155,160,166,174,196,209,225,226,230,235,236,239,242,247,251]); w niektórych opisach nazwy własne czasopism lub konferencji są pisane małymi literami (por. np. [16,35,86,89,95,100,104,109,112,113,118,121,123,124,128,132,135,143,144,148,268]); w wielu pozycjach brakuje podania albo nazwy wydawcy albo miejsca wydania lub takich danych jak numer wolumenu i numer wydania (por. np. [17,20,26,27,29,34,37,45,47,75,119,161,162,163,215,218,223]); niektóre pozycje literatury nie mają jednoznacznie określonego typu (por. np. [32,33,36,44,48,71,114,217,219,222]).

5. Ocena spełnienia warunków wymaganych zapisami Ustawy (zgodnie z zaleceniami sformułowanymi w [RDN:22])

(A) Na podstawie treści dysertacji (zwłaszcza rozdziałów 2-8) można stwierdzić, że Doktorant posiada dobrze ugruntowaną wiedzę z zakresu technologii aktualnie stosowanych w inteligentnych oraz zautomatyzowanych pojazdach samochodowych, w szczególności w obszarze zaawansowanej sensoryki pokładowej takich pojazdów oraz przetwarzania i fuzji danych sensorycznych, a także ich dalszego wykorzystania w zaawansowanych systemach wsparcia manewrów (ADAS) oraz jazdy autonomicznej (AD). Ponadto Autor rozprawy wykazał się znajomością podstawowych narzędzi matematycznych użytecznych w problematyce kalibracji czujników i powszechnie stosowanych w zagadnieniach estymacji parametrycznej oraz optymalizacji numerycznej, które potrafił efektywnie wykorzystać do rozwiązania postawionego zagadnienia kalibracji sensorów radarowych. Słabszą stroną jest jednak brak oczekiwanej ścisłości matematycznej, precyzji terminologicznej oraz wystarczającej klarowności prezentacji treści naukowych w ramach dysertacji.

(B) Przytoczone w punkcie 1.3 na stronie 3 rozprawy cztery opracowania, których współautorem jest Doktorant, a w szczególności dwa autorskie artykuły naukowe - jeden opublikowany w renomowanym czasopiśmie *Sensors* a drugi zaprezentowany w ramach międzynarodowej konferencji SPA - świadczą w mojej ocenie o umiejętności samodzielnego prowadzenia prac badawczych przez Doktoranta.

(C) Autor przedstawił w rozprawie rozwiązanie kilku zagadnień badawczych związanych z kalibracją radarów samochodowych oraz zautomatyzowaną weryfikacją integralności danych pomiarowych pochodzących z sensorów pokładowych. Jednak za główne oryginalne osiągnięcie Doktoranta, które w pełni potwierdza treść tezy badawczej sformułowanej w punkcie 1.2 rozprawy, uważam opracowanie, walidację numeryczną i wdrożenie poprzez implementację na wbudowanym procesorze radarowym metody dynamicznej trójosiowej kalibracji radaru z kompensacją prędkości pojazdu, która pozwoliła uzyskać wyraźną poprawę jakości interpretacji danych radarowych w sensie zmniejszenia wartości wskaźnika RMSE wyznaczonego dla prędkości radialnych zdetektowanych punktów pomiarowych. Potwierdzeniem oryginalności opracowanego rozwiązania jest uzyskanie międzynarodowej ochrony patentowej dla opracowanej metody kalibracji udokumentowanej przyznaniem patentem cytowanym w rozprawie jako pozycja [12]. Deklarowana przez Doktoranta (choć niestety nieudokumentowana wprost w treści rozprawy, prawdopodobnie ze względu na poufność tego typu wyniku) implementacja opracowanej metody w produkcie komercyjnym może stanowić przyczynek do komercyjnego

zastosowania wyników badań Doktoranta w sferze gospodarczej.

[RDN:22] Recenzje w postępowaniach o awans naukowy. Poradnik, Rada Doskonałości Naukowej, 2022.

6. Podsumowanie i konkluzja końcowa

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy ważnego problemu poprawy interpretacji danych radarowych w inteligentnych pojazdach samochodowych poprzez zautomatyzowaną kalibrację pokładowych sensorów radarowych i korektę pomiarów w oparciu o wykonaną kalibrację. Rozwiązanie powyższego problemu przez Doktoranta umożliwia nie tylko zwiększenie precyzji percepcyjnej pojazdu ale także zwiększenie bezpieczeństwa użytkownika takiego pojazdu w warunkach praktycznych. Cel badawczy postawiony w tezie rozprawy został w mojej ocenie osiągnięty, wnioski sformułowane przez Autora zasadniczo są wyważone i nie naruszają zasady racjonalnego uznawania przekonań, a międzynarodowa ochrona patentowa uzyskana na opracowane rozwiązanie (w ramach firmy Aptiv, w której Doktorant realizował prace aplikacyjne) świadczy o oryginalności i efektywności działania zaimplementowanej metody kalibracji.

Warto podkreślić, że uzyskanie korzystnych wyników działania algorytmu trójosiowej kalibracji dynamicznej w warunkach doświadczalnych i przy założonych ograniczeniach sprzętowych jest zadaniem nietrywialnym i wymagającym od Doktoranta dużego praktycznego doświadczenia. Strona redakcyjna rozprawy budzi szereg wątpliwości podanych w treści recenzji, co niestety utrudnia percepcję i pogarsza wynikową ocenę pracy. Jednak wśród uwag sformułowanych w niniejszej recenzji nie ma zarzutów o charakterze krytycznym. Zatem główny wynik przedłożonej dysertacji nie został w żaden sposób podważony w recenzji i tym samym oryginalne rozwiązanie postawionego problemu badawczego podane przez Doktoranta należy uznać za przekonujące (pomimo braku ujawnienia istotnych danych empirycznych na temat przedstawionego osiągnięcia z powodu poufności informacji produktowych należących do firmy Aptiv).

Ostatecznie na podstawie argumentów przedstawionych w punkcie 5 niniejszej recenzji oraz po szczegółowej analizie treści dysertacji podanej w pozostałych punktach recenzji stwierdzam, że rozprawa doktorska mgra inż. Rafała Burzy **spełnia wymagania ustawowe formułowane w odniesieniu do rozpraw doktorskich i wnioskuje o dopuszczenie jej do publicznej obrony** w ramach dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.



PODPIS ZAUFANY

MACIEJ
MICHAŁEK
20.12.2024 15:49:01 [GMT+1]
Dokument podpisany elektronicznie
podpisem zaufanym

prof. dr hab. inż. Maciej Marcin Michałek