

Prof. dr hab. inż. Damian Grzechca
Politechnika Śląska
Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki
Katedra Elektroniki, Elektrotechniki i Mikroelektroniki

Gliwice, 15 stycznia 2025 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: Algorytmy kalibracji i auto-kalibracji sensorów radarowych dla systemów aktywnego bezpieczeństwa i jazdy autonomicznej

Autor rozprawy: Rafał Michał Burza

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Krzysztof Duda, prof. AGH

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Dariusz Borkowski

SEKRETARIAT
Rady Dyscypliny AEEITK

Wpłynęło dnia 13.02.2025

Zarejestrowano pod nr 510-7-7/25

Podpis Jm

Niniejsza recenzja została przygotowana na zlecenie Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, na podstawie uchwały z dnia 7.11.2024 i pisma z dnia 8.11.2024 r. Przewodniczącego rady dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne Pana dr. hab. inż. Ryszarda Sroki, prof. uczelni.

1. Informacje wstępne

Rozprawa doktorska mgr inż. Rafała Burzy związana jest z zastosowaniem sensorów radarowych w przemyśle motoryzacyjnym. Radary odgrywają istotną rolę w zaawansowanych systemach wspomagania kierowcy dostarczając informacji o niezbędnej do aktywowania właściwego systemu ADAS (Advanced Driver Assistance System). Sensory radarowe znalazły zastosowanie w przemyśle motoryzacyjnym ze względu na szereg zalet, w sensie ekonomicznym należy wymienić akceptowalny koszt oraz w sensie technicznym możliwość jednoczesnego pomiaru odległości oraz prędkości radialnej obiektów znajdujących się w polu widzenia. Oczekuje się, że ustawiczne wprowadzanie innowacji doprowadzi do powszechności wykorzystania nisko kosztowych radarów krótkiego zasięgu, które pomimo wielu zalet stwarzają również potencjalne zagrożenia wynikające z algorytmiki działania oraz instalacji sprzętu, w tym różnych modeli starzenia czy przemieszczenia się sensora radarowego względem położenia fabrycznego. Wynikające z tego problemy są nie do pominięcia i wymagają dedykowanych algorytmów kalibrujących, w tym autokalibracji w rozumieniu aktualnego miejsca mocowania i orientacji względem punktu referencyjnego pojazdu.

Praca została podzielona na 12 rozdziałów, listę skrótów, spisy tabel i rysunków, oraz spis literatury, które łącznie zajmują 169 stron. Spis literatury składa się z 268 pozycji w których znaleźć można 2 publikacje Doktoranta oraz jeden patent przyznany (US patent) i jeden patent wycofany (EP3907521A1).

W pierwszych rozdziałach, tj. od rozdziału 2 do rozdziału 5, Doktorant wprowadza w różne aspekty przemysłu motoryzacyjnego, przedstawia systemy wspomagania kierowcy, wymienia trendy rozwojowe dla systemów aktywnego bezpieczeństwa, opisuje poziomy autonomii pojazdu, wyjaśniając pojęcia percepcji, decyzji, systemów wykonawczych i nadzorujących. W rozdziale czwartym wymieniono potencjalne zagrożenia związane z niepoprawną percepcją, niewłaściwą decyzją lub błędną akcją. W rozdziale piątym wprowadzony jest wielowątkowy opis fuzji multisensorycznej. W mojej ocenie rozdziały te (od 2 do 5), w kontekście rozprawy doktorskiej są zbyt obszerne i niepotrzebnie zwiększając objętość pracy. Charakter rozprawy w tych rozdziałach przypomina raczej kompendium

wiedzy i odbiega od typowego opisu rozprawy doktorskiej, czyli zgrabnego wprowadzenia do głównego wątku rozprawy, niejako osadzeniem własnych badań w odpowiednim obszarze badawczym.

Rozdział 6 zawiera opis systemów radarowych stosowanych w przemyśle motoryzacyjnym. Szkoda, że w tym rozdziale nie uwypuklono również szeregu problemów związanych z umiejscowieniem i problemem kalibracji poszczególnych systemów radarowych. Pewną namiastką nakreślenia problemu jest wskazanie na niedokładności wykrywanych obiektów z perspektywy centralnej jednostki obliczeniowej. W kolejnym rozdziale, tj. rozdziale 7, przedstawiono metody optymalizacyjne wykorzystywane w procedurach kalibracyjnych. W moim odczuciu, w rozdziale tym brakuje akapitu lub podrozdziału podsumowującego odnoszącego się do głównego wątku rozprawy i w tym kontekście rozdziały 7.2.2 i 7.2.3 wydają się zbędne i powinny być raczej umieszczone w dodatku (o ile w ogóle), a nie w głównej części pracy.

Rozdział 8 został podzielony na dwie części, w pierwszej przytoczono znane metody kalibracji i autokalibracji radarów, jednak część istotna z perspektywy tematu pracy to dość wnikliwa analiza wpływu błędu orientacji radaru na ogólne parametry i problemy generowane przez systemy autonomicznej jazdy i wspomagania kierowcy oparte na informacji z sensora radarowego. Na uwagę zasługuje analiza wpływu kąta przekrzywienia radaru na poprawną klasyfikację pasa ruchu, martwe pole pomiędzy przednimi radarami, błąd orientacji celu w funkcji różnicy orientacji, spadek maksymalnego zasięgu działania radaru, rozróżnialność od szumu, przemieszczenia detekcji obiektów oraz niedokładność wektora prędkości obiektu. Nie są to elementy naukowo istotne, jednak należy docenić analizę autora i wyprowadzenie zależności wpływu niepoprawnego montażu (nazwanego przekrzywieniem) na przysłonięcie czujnika radarowego. Zauważenie tego problemu oraz opracowanie tych zależności są de facto przyczyną realizacji doktoratu wdrożeniowego, którego celem jest opracowanie nowych metod kalibracji radarów.

Rozdział 9 zawiera opis procedur opracowanych metod kalibracji, tj. metody kalibracji statycznej za pomocą wychylanej stalowej płyty z uwzględnieniem problemu pomiarów odstających. Rozwiązanie to zostało zgłoszone w formie międzynarodowych wniosków patentowych [11] (US202117407071A, CN115707991A, US20230056655A1, EP4137841A1). Następnie przedstawiono autorską trójosiową kalibrację radaru z kompensacją prędkości – również zgłoszona w formie patentów [12] (EP3907521A1, CN113608182A, EP3907522A2, US20210341599A1). Opracowano również sposób estymacji błędu orientacji wraz ze współczynnikiem kompensacji prędkości w przypadku, gdy radar nie oferuje pomiaru elewacji detekcji.

Zbiory danych wykorzystywanych w pracy wraz z metodą wstępnej walidacji danych przy pomocy sieci neuronowej przedstawiono w rozdziale 10, co również opublikowano w pracy [14]. W rozdziale tym zaproponowano procedurę generowania kąta elewacji na podstawie ogólnodostępnych danych bazy RadarScenes. Wyniki oceny jakości działania algorytmów oparto na wybranych pięciu wskaźnika jakości: liczba iteracji do pokonania 95% dystansu do optimum, maksymalne odchylenie od wartości optymalnej, średnia kwadratowa residuów prędkości radialnej, skośność i kurtoza. Zaproponowano tutaj również metodę referencyjną oraz przedstawiono uzyskane wyniki metod korekcji dla danych rzeczywistych oraz symulacyjnych. Rozdział 12 zawiera podsumowanie i wnioski.

2. Zagadnienia naukowe rozpatrywane w rozprawie

Fabryczny montaż czujników na samochodzie podczas instalacji elementów na linii produkcyjnej pomimo pewnej systematyki, wymaga kalibracji, co jest wynikiem pojawiających się odchyleń w orientacji sensora spowodowane niedokładnościami procesu montażu (rozzut produkcyjny). Wpływ

niedokładności montażu może być przyczyną niewłaściwej reakcji systemów wspomagania kierowcy (AD, ADAS), dlatego należy dążyć do minimalizacji takich błędów poprzez opracowanie i stosowanie odpowiedniej procedury kalibracji sensorów. Problem jest wielowątkowy, gdyż kalibracja produkcyjna, pomimo szeregu problemów, to przeprowadzana jest jednak w stałych przewidywalnych warunkach. Dużym wyzwaniem jest brak przewidywalności warunków pomiarowych podczas eksploatacji pojazdu, który może wprowadzić zaburzenia orientacji spowodowane np. drobnymi kolizjami, uderzeniem lub starzeniem się uchwytu montażowego radaru (włączając efekty zmęczeniowe). Osobnym problemem jest wymiana radaru w warsztacie bez specjalistycznego sprzętu, gdzie sam montaż może wprowadzić niedokładności pomimo zachowania szczególnej ostrożności i mogą być rząd wielkości większe niż błędy algorytmów określania kąta radaru, co degradowe wydajność systemów wspomagania kierowcy.

Ze względu na utrzymywanie ciągłej jakości dostarczanych informacji do systemów AD i ADAS, dane radarowe muszą być wiarygodne, dlatego proces auto-kalibracji wydaje się niezbędny. Zadanie to realizowane jest przez algorytmy auto-kalibracji radaru, nazywane również algorytmami dynamicznej adiustacji. W związku z tym, że umiejscowienie sensora radarowego i jego orientacja ma istotny wpływ na parametry systemów wsparcia kierowcy, problem ten jest aktualny, a producenci poszukują nowych metod kalibracji, której zaimplementowana procedura umożliwi dostrojenie parametrów sensora do jego rzeczywistej orientacji.

O ile tematyka rozprawy nie budzi zastrzeżeń, to postawiona teza w rozdziale 1.2 jest w mojej ocenie zachowawcza i brzmi wdrożeniowo, a powinna eksponować elementy naukowe, np. Wykorzystując punktowe detekcje radarowe oraz nominalny kąt montażu sensora radarowego przy znanej kinematyce pojazdu oszacować można trójosiowy błąd montażu, który umożliwi wprowadzenie korekt parametrów mierzonych zmniejszając ich błąd przy jednoczesnym zachowaniu złożoności obliczeniowej umożliwiającej implementację algorytmów na wbudowanym procesorze radarowym.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska ma charakter silnie wdrożeniowy i zdeterminowana jest wymaganiami klienta. Eksponowanie „wymagań klienta” nie jest czymś negatywnym, jednak należy mieć na uwadze, że jest to wciąż rozprawa doktorska i należy przede wszystkim pokazywać nowatorski aspekt badawczy.

Podsumowując, stwierdzić można, że problem rozważany przez Doktoranta jest aktualny, a rozprawę zaliczyć można do dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

3. Analiza źródeł, stan wiedzy i zastosowań w przemyśle

(Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle?)

Bibliografia zawiera 268 pozycji w których znaleźć można 2 publikacje Doktoranta oraz jeden patent przyznany (US patent) i jeden patent wycofany (EP3907521A1) wg strony: <https://patents.google.com/patent/EP3907521A1/en> Uważam, że przegląd literatury przedstawiony w rozdziale 8 oraz osadzenie tematu rozprawy w aspekcie aktualnych wyzwań, zastosowań w przemyśle oraz konieczności wprowadzenia odpowiednich metod kalibracji są przedstawione bardzo rzetelnie.

4. Metody i założenia użytych metod

Systemy wspomagania kierowcy składają się z wielu sensorów percepcji otoczenia, które obserwując ten sam fragment przestrzeni pozwalają na wieloaspektową fuzję informacji, np. system składający się z kamery, radaru i lidar, w którym radar dostarcza informacji o prędkości względnej celu, lidar umożliwia odwzorowanie kształtu w wysokiej rozdzielczości i lokalizację obiektu, a kamera dostarcza dodatkowych informacji, które mogą poprawić detekcję małych i nierefleksyjnych elementów

drogowych oraz pomóc w określeniu klasy celu (obiektu), takich jak sygnalizatory świetlne czy oznakowania pasów ruchu.

W pracy założono, że problemy spowodowane przekrzywieniem czujnika radarowego mogą być minimalizowane poprzez korektę programową niedokładnego montażu za pomocą estymowanej wartości kąta lub poprzez informowanie innych komponentów systemu o potencjalnej degradacji czujnika, jeśli wykryty błąd kątowy wychodzi poza akceptowalny zakres. Doktorant zajmował się korektą kąta wzdłuż poszczególnych osi wykorzystując metody gradientowe: największego spadku (ze względu na niewielką złożoność obliczeniową), nieliniowa metodę najmniejszych kwadratów (z uwzględnieniem niedokładności pomiarów), nieliniowa metodę całkowitych najmniejszych kwadratów (ze względu na możliwość uwzględnienia zarówno niedokładności pomiarów, jak i parametrów równania, metoda należy do grupy *errors-in-variables*). Sensowne wydaje się również założenie ograniczające do stałego kroku z uwagi na szum pomiarów radarowych oraz ograniczone możliwości obliczeniowe układów wbudowanych w czujnik radarowy.

Podsumowując tę część, stwierdzam, że założenia przyjęte w pracy są uzasadnione, a metody prawidłowe.

5. Oryginalność rozprawy, samodzielny i oryginalny dorobek Autora

Rozprawa doktorska pana Rafała Burzy dotyczy najnowszych problemów wdrożeniowych związanych z sensorami radarowymi. Do oryginalnych i samodzielnych osiągnięć Doktoranta zaliczyć można:

- procedurę statycznej kalibracji radaru, bazującego na stalowej płycie dedykowaną dla procesu produkcyjnego lub autoryzowanych warsztatów. Autor zaproponował procedurę opartą na umiejscowieniu stalowej płyty przed radarem oraz jest wychylenia pionowego, co prowadzi do wyznaczenia funkcji mocy fali odbitej względem kąta wychylenia stalowej płyty. Zaproponował aproksymację tej zależności wielomianem drugiego stopnia zakładając przy tym, że maksimum wielomianu występuje dla kąta prostego płyty i płaszczyzny radaru, co z kolei pozwala na wyznaczenie przekrzywienia radaru.
- udoskonalenie algorytmu poprzez wprowadzenie iteracyjnej metody średniej odpornej dla wychylenia poziomego, co dodatkowo opatentował oraz wdrożył.
- metodę dynamicznej kalibracji dla radarów zdolnych do pomiaru kąta elewacji, co umożliwia korektę w trzech osiach rotacji radaru.
- trójosiową kalibrację post-factum, zaprojektowaną do estymacji trójosiowego błędu orientacji radaru, przy braku możliwości pomiaru elewacji. Podstawą metody jest generowanie losowych kątów elewacji z wykorzystaniem nieliniowej metody całkowitych najmniejszych kwadratów.

6. Umiejętność przedstawienia uzyskanych wyników

Wyniki uzyskane przez Doktoranta są bez wątpienia wartościowe, jednak sposób opisu opracowanych procedur kalibracyjnych budzi niedosyt. W mojej ocenie brakuje spójnego ustrukturyzowanego opisu „krok po kroku” (ewentualnie schematów blokowych), co i w jaki sposób należy wykonać, aby osiągnąć oczekiwany efekt. O ile np. przy opisie sieci neuronowej można dostrzec pewną systematykę opisu, to przy pozostałych metodach powinna być próba takiego opisu, który umożliwiłby niezależną implementację opracowanych metod osobie czytającej.

Analiza wyników (rozdział 11.5) ma charakter zbyt ogólny, odczuwalny jest brak wskazania numerycznego, dlatego wyciągnięto określoną konkluzję, np. zdanie „Metoda największego spadku, choć jest obliczeniowo prosta, charakteryzuje się dużymi wahaniami spowodowanymi szumem pomiaru, który znacząco wpływa na gradienty.” jest wnioskiem, a nie analizą wyników. Innym przykładem jest zdanie „Skutkuje to niezadawalającą liczbą iteracji potrzebnych do osiągnięcia pobliża optimum.”. Zdanie to jest również stylistycznie niepoprawnie skomponowane, bo co oznacza „niezadawalająca” lub „pobliże optimum”? Tego typu stwierdzeń żargonowych jest w pracy sporo i choć są one zrozumiałe, to jednak obniżają ogólną jasność i jakość przekazu.

Podsumowując, wyniki eksperymentów przedstawione w postaci rysunków, tabel są zrozumiałe, nie wymagają korekt, choć w mojej ocenie brakuje głębszej dyskusji wyników w kontekście wieloaspektowym, co bardziej pokazałoby własne przemyślenia Autora rozprawy.

7. Przydatność rozprawy w naukach inżyniersko-technicznych

Rozprawa doktorska zawiera nowatorskie rozwiązania problemu kalibracji i auto-kalibracji sensorów radarowych, które zostało przetestowane, zweryfikowane i wdrożone. Nie ma więc wątpliwości, że przydatność rozprawy i przedstawionych procedur jest wartościowa wdrożeniowo i stanowić powinna referencję dla kolejnych modyfikacji oraz algorytmów kalibracji radarów. Rozprawa ma też istotny wpływ na wszystkich uczestników ruchu drogowego, ponieważ kalibracja czujników radarowych poprawia skuteczność działania systemów wspomagania kierowcy, co przekłada się na podniesienie poziomu bezpieczeństwa. Aspektem niezwykle ważnym jest udokumentowana implementacja nowego algorytmu statycznej kalibracji radaru w fabryce pojazdów i autoryzowanych warsztatach samochodowych oraz opracowanie algorytmu dynamicznej kalibracji radaru.

W związku z tym, uważam, że rozprawa wnosi wkład w nauki inżyniersko-techniczne i zaliczyć ją należy do dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

8. Uwagi dyskusyjne i szczegółowe

Podczas czytania rozprawy nasunęły się uwagi, głównie o charakterze polemicznym i dyskusyjnym, które przedstawione są poniżej:

1. Zakładając, przykładowy zasięg radaru 50m, dla którego odchylenie pionowe wynoszące 1 stopień prowadzi do przesunięcia wynoszącego 0.9m, to w miarę zbliżania się do obiektu wpływ odchylenia na przesunięcie będzie maleć (zakładając prawidłową detekcję). Czy i jak można oszacować, zależność prędkości liniowej pojazdu względem obiektu w celu wygenerowania bezpiecznej informacji dla systemów ADAS z uwzględnieniem korekty i bez korekty kątowej?
2. Z założenia proces kalibracji dynamicznej wykonywany jest podczas typowej jazdy samochodem. Jaki jest wpływ, w sensie narzut czasowy spowodowany dodatkową procedurą kalibracji dynamicznej na częstość otrzymywanych danych oraz jaki jest narzut czasowy związany z wykonywaną procedurą?
3. Przemieszczenie detekcji jest bezpośrednią konsekwencją przekrzywienia radaru. Jednym z elementów pracy jest wyznaczenie współczynnika korekty prędkości mierzonej na podstawie prędkości obrotowej kół. Prędkość liniowa mierzona na podstawie prędkości obrotowej kół zależna jest od ciśnienia w oponach pojazdu (jak również obciążenia pojazdu). W jaki sposób radzić sobie z niedokładnością wynikającą z ciśnienia w oponach?
4. W trakcie prac wdrożeniowych przyjęto minimalną prędkość pojazdu 5 m/s, która powinna pozwolić na dokładne działanie algorytmu (co oznacza dokładne?). Im większa prędkość pojazdu, tym detekcje ze stacjonarnego otoczenia dostarczają bogatszej informacji o prędkości

radialnej, co poprawia dokładność algorytmu. Jaki jest wpływ minimalnej prędkości lub ogólnie prędkości na dokładność działania algorytmu?

5. Kwestią dyskusyjną jest wykorzystanie sieci neuronowej do weryfikacji danych testowych. Czy Autor weryfikował wpływ hiperparametrów sieci neuronowej na jakość weryfikacji danych? Czy i w jaki sposób należy dostroić parametry sieci neuronowej? W pracy wykorzystano optymalizator ADAM, jednak nie podając efektu końcowego. Doktorant zastosował funkcje aktywacji typu Leaky ReLU, czy próbowano zastosować ReLU lub inną funkcję aktywacji?
6. Niejasne jest twierdzenie „Ze względu na wiążący się z tym zwiększony czas obliczeń, starano się wyznaczyć liczbę detekcji wystarczającą do wyliczenia funkcji kosztów w jednej iteracji. W wyniku testów wartość $N_d = 16$ dała zadowalające rezultaty”. Jakie wartości liczbowe dowodzą słuszności tego twierdzenia?

Uwagi szczegółowe:

- SAE to organizacja zrzeszająca inżynierów , a nie „skupiająca”.
- we wprowadzeniu sporo jest truizmów, np.: „jeśli producenci tworzą nowe coraz wydajniejsze jednostki obliczeniowe, to oczekuje się że analiza zdarzeń będzie przebiegała szybciej, dokładniej w tym samym czasie.”.
- „producenci mikroprocesorów skupiają się na tworzeniu coraz potężniejszych jednostek” jest sloganem potocznym i nie powinien występować w pracy.
- str. 11: „skupione są na ...” zamiast „koncentrują się na ...”.
- „Funkcjonowanie sensora może zostać zakłócone przez obiekt, który go zastania” – odczyt danych z sensora zostaje zakłócony (lub może być zakłócony) przez obiekt.
- „dokładność horyzontalna może być lepsza niż 1 stopień” – dokładność może być większa lub mniejsza, a nie lepsza.
- „w praktyce nie jest możliwe zapewnienie idealnego kąta montaż sensora przez cały cykl jego życia”. Słowo „idealnego” powinno być zastąpione słowem „pierwotnego”, „nominalnego”.
- str. 18: „umożliwia sterowanie hamulcami, prędkością oraz biegiem za pomocą elektroniki” jest wyrażeniem potocznym, żargonowym.
- str. 29: pojawia się pojęcie czasu rzeczywistego, co oznacza to pojęcie w ocenie doktoranta?
- str. 30, roz. 4.3. W zdaniu „Jeżeli błędy” zbędne jest słowa „odpowiednio” i „poważnych”.
- str. 30, niepoprawne sformułowanie „we wczesnym etapie”, powinno być „na wczesnym etapie”.
- str. 30, „pomyłek popełnionych przez te pojazdy” jest wyrażeniem żargonowym.
- str. 31, stylistycznie niefortunne sformułowanie „Problemy te mogą wynikać z problemów w”, można zastosować synonimy lub wyrazy bliskoznaczne.
- str. 31, stylistycznie niepoprawne „...bezpieczeństwo pojazdu AD może zostać narażone.” Brak informacji na co narażone, chyba, że jest to błąd edytorski i powinno być „zagrożone”, czyli koniec zdania „.... może być zagrożone”.
- str. 31: niejasne jest ostatnie zdanie akapitu w kontekście wcześniejszego tekstu: „Niemniej jednak kierowca jest w stanie rozpoznać problem i w krótkim czasie zatrzymać pojazd”.
- str. 43: jest „orientacje” powinno być „orientację”.
- str. 44: „... który skupia się na rozkładaniu zależności”.
- str. 45: „...kierowca straci koncentrację...” – powinno być „zdekcentruje się”.
- str. 49: pierwsze zdanie rozdziału 5.2.4 zakończone jest nadmiarowym znakiem.
- str. 56: „...tzw. chirpów...”, w języku polskim to są sygnały świergotowe.
- str. 58: „...szerokość pasma chirpa...”, powinno być „...szerokość pasma sygnału świergotowego...”

- str. 58: co oznacza skrót LNA na rys. 6.6?
- str. 71: „parametr równania jest idealny”, czy parametr może być idealny?
- str. 75: sformułowanie: „W przypadku niektórych sensorów dokładność pomiaru kąta horyzontalnego może osiągać wartości większe niż 1 stopień” jest nieprecyzyjne (nie wiadomo, której części zdania dotyczy słowo „większe”).
- str. 75: „System wykorzystujący niewyrównany radar, który nie jest świadomy przekrzywienia...”. Czy system może być świadomy?
- str. 81: „Chociaż nie nadają się do bycia częścią urządzeń radarowych ...” – sformułowanie niepoprawne stylistycznie.
- str. 82: sformułowanie „...degradacja zasięgu staje się katastrofalna...” jest nieprecyzyjne.
- str. 83: „...ogromny wpływ ...” – nie wiadomo, w jaki sposób odnieść się do przymiotnika? Słowo „ogromny” jest zbędne, chyba że nastąpiłaby próba wyjaśnienia różnicy pomiędzy „wpływ”, a „ogromny wpływ”.
- - str. 83: „Radar przekrzywiony względem nieba...”
- - str. 89: „Długość dwusiecznej trójkąta, która tworzy martwe pole widzenia ...” – nie jest jasne, a rysunek 8.7 niewiele wnosi w tym aspekcie.
- - str. 97: „liczba fałszywych podziałów śladów dramatycznie rośnie”
- - str. 97: co oznacza FGP wynosząca ok. 11 na rys. 8.12 lub 8.13? Jak należy interpretować te wartości?
- str. 114: „Większość współczesnych podejść wykorzystuje rozbudowane sieci z milionami parametrów” – należałoby wymienić chociaż najważniejsze.
- str. 122: „dystrybucji uniformalnej” – co to za dystrybucja?
- str. 124: „niektóre metody optymalizacji mogą dążyć do optimum niemal w nieskończoność”
- str. 129: „detekcje umyślnie wykrzywione”
- str. 142: co autor ma na myśli pisząc: „początkowe szумы można zredukować stosując wydajne metody filtracji sygnału.” Jak oszacowano szумы? Wg autora które metody filtracji są wydajne i dlaczego?

Generalna uwaga jest taka, że jednostki w tekście nie należy umieszczać w nawiasach klamrowych, co niestety jest w rozprawie normą. Należy również pamiętać, że wzór (wyrażenie matematyczne) może kończyć zdanie i wówczas kończone jest kropką (np. wzór 11.2)

Podsumowując, praca jest napisana w języku polskim, zrozumiała dla czytelnika, jednak posiada bardzo dużo wyrażeń żargonowych, sformułowań potocznych, opisowych ocen (lub stopniowania ocen) omawianych zjawisk bez uzasadnienia i niejako narzucających czytelnikowi, sposób rozumowania Autora, często bez wskazania na własne wyniki eksperymentów, które dowodzą słuszności takiego twierdzenia.

9. Wniosek końcowy

W świetle powyższych uwag stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska, pomimo szeregu uwag o charakterze dyskusyjnym i polemicznym, spełnia warunki określone w art. 187 ust. 1 i ust. 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz.U. 2018, poz. 1668 z późn. zm.) *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* i wnioskuje o jej przyjęcie i dopuszczenie mgr. inż. Rafała Burzy do dalszych etapów przewodu doktorskiego w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

.....


prof. dr hab. inż. Damian Grzechca

