

Prof. dr hab. inż. Artur Babiarz
Politechnika Śląska
Katedra Automatyki i Robotyki
ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice

Gliwice, 27.11.2023 r.

SEKRETARIAT
Rady Dyscypliny AEEITK

04.01.2024

Wpłynęło dnia

Zarejestrowano pod nr

Podpis 

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Daniela Dworaka pt.

“Low-level sensor data fusion for Object Detection in an Autonomous Vehicle perception system based on a Machine Learning approach”

Promotor rozprawy: Dr hab. inż. Jerzy Baranowski, prof. AGH

Promotor pomocniczy: Dr inż. Mateusz Komorkiewicz

Dyscyplina naukowa: automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne

Recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej dr hab. inż. Ryszarda Sroki, prof. AGH z dnia 27 października 2023 r.

1 Ocena formalna rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska dotyczy problemu pozyskiwania informacji o otaczającym świecie na potrzeby sterowania autonomicznymi pojazdami poruszającymi się w ruchu miejskim. W tym celu Doktorant skupił się na analizie niskopoziomowej fuzji danych z wykorzystaniem uczenia maszynowego. Głównym wynikiem prowadzonych przez Doktoranta badań jest zaproponowana nowatorska metoda nazwana *Cross-Domain Spatial Matching (CDSM)*.

Rozprawa doktorska zawiera łącznie 135 stron i została podzielona na dziesięć rozdziałów, spis literatury oraz wykaz oznaczeń. Rozprawa została napisana w języku angielskim.

Rozdział pierwszy zawiera krótkie wprowadzenie do tematyki rozprawy doktorskiej, uzasadnienie prowadzonych przez Doktoranta badań, wkład Doktoranta w rozwój dyscypliny AEEITK, dorobek badawczy oraz krótki opis poszczególnych rozdziałów. W podrozdziale 1.2 Doktorant zamieścił główną tezę rozprawy:

Investigate and verify the effectiveness of a Low-Level Fusion that utilizes an automotive sensor suite to perform Object Detection task in Autonomous Vehicle perception system.

W tym podrozdziale autor wskazuje jeszcze trzy cele rozprawy doktorskiej:
Establishing the potential advantages of low-level sensor data fusion in improving perception accuracy, reducing uncertainty, and enabling a more comprehensive understanding of the environment.

Investigating an end-to-end fusion of sensor data within one Neural Network architecture.
Exploring Explainable AI (XAI) techniques to enhance the interpretability of the decision-making processes in perception NN model.

W rozdziale drugim przedstawiono klasyfikację pojazdów autonomicznych oraz scharakteryzowano każdy z poziomów tej klasyfikacji. Ponadto omówiono czujniki występujące w systemach sterowania autonomicznych pojazdów oraz sposób pozyskiwania na ich podstawie informacji na temat otaczającego świata. Na koniec tego rozdziału została opisana fuzja sygnałów z wcześniej omówionych czujników.

Rozdział trzeci został poświęcony przeglądowi literatury dotyczącej sieci neuronowych oraz ich wykorzystania w systemach sterowania autonomicznych pojazdów.

W rozdziale czwartym opisano kluczowe wskaźniki efektywności oraz ich zastosowanie do detekcji obiektów w przestrzeni 2D i 3D. Na koniec tego rozdziału autor przybliżył pojęcie interpretowalnej sztucznej inteligencji oraz metodę Grad-CAM.

Rozdział piąty stanowi główne osiągnięcie Doktoranta w postaci metody Cross-Domain Spatial Matching.

W rozdziale szóstym przedstawiono zbiór danych użytych do trenowania sieci i walidacji.

Rozdziały siódmy i ósmy zawierają otrzymane wyniki z wykorzystaniem pojedynczego czujnika oraz zaproponowanej metody CDSM. W rozdziałach tych zamieszczono zdjęcia z realnego środowiska drogowego danego miasta oraz reprezentację danej sceny drogowej z wykorzystaniem pojedynczego czujnika oraz metody CDSM.

W rozdziale dziewiątym przedstawiono analizę XAI.

Wnioski dotyczące przeprowadzonych badań Doktorant zawarł w rozdziale dziesiątym.

Oceniając rozprawę doktorską pod względem edytorskim należy zwrócić uwagę na nietypowy, w mojej opinii, sposób podpisów rysunków i tabel. Autor formułuje podpisy o długości kilku linii tekstu zawierając w podpisie również opis rysunku czy tabeli wraz z dyskusją na temat zawartości tych elementów rozprawy. Opis i komentarz zawartości rysunków czy też tabel powinien znajdować się w tekście rozprawy. Utrudnia to często czytanie rozprawy i wymaga poszukiwania opisu pod rysunkiem lub tabelą. Kolejną rzeczą, która jest dyskusyjna to zamieszczenie tez rozprawy doktorskiej. Są one fragmentami

dłuższych opisów co również może powodować pewne zdezorientowanie czytającego. Tezy pracy powinny być dokładnie i czytelnie sprecyzowane.

Czytając przedłożoną do recenzji rozprawę doktorską ma się odczucie, że autor zakłada dość dużą wiedzę czytelnika. Niektóre pojęcia nie są wytłumaczone lub są opisane w bardzo dużym skrócie (np. YOLO).

Pomimo powyższych uwag rozprawa doktorska jest napisana poprawnie. Pojawiają się odnośniki do rysunków, tabel lub wzorów co ma istotny wpływ na przejrzystość tekstu rozprawy doktorskiej. Spis literatury jest poprawny i zawiera bardzo aktualną literaturę. Podział rozprawy na rozdziały nie budzi żadnych wątpliwości.

2 Ocena merytoryczna rozprawy

W ocenie merytorycznej skupiłem się głównie na rozdziale piątym, który stanowi, w mojej opinii, główny wynik prowadzonych przez Doktoranta prac badawczych oraz rozdziałach szóstym, siódmym i ósmym.

Głównym celem Doktoranta jest połączenie informacji pozyskanej z czujnika wizyjnego oraz radaru, który generuje chmurę punktów. Taka fuzja danych ma poprawić rozpoznawanie i wykrywanie innych pojazdów w ruchu drogowym. Pierwszy problem, który został rozwiązany przez Doktoranta to różna orientacja względem siebie układów odniesienia skojarzonych z czujnikiem wizyjnym i radarem (chmurą punktów). W tym celu zostało wykorzystane popularne narzędzie do wyznaczania orientacji ciał sztywnych-kwaterniony.

Doktorant wykorzystuje w swoich badaniach kamerę cyfrową, z której uzyskuje dane o obiektach poprzez zastosowanie znanych z literatury sieci neuronowych *EfficientNetV2* oraz *BiFPN*. W kolejnym podrozdziale Doktorant opisuje pozyskiwanie informacji z radaru na podstawie otrzymanej chmury punktów.

Główny wynik otrzymany przez Doktoranta został zawarty w podrozdziale 5.4, którym jest architektura sieci neuronowych wykorzystująca fuzję danych z kamery cyfrowej oraz radaru.

Rozdział szósty opisuje wykorzystane bazy danych dostępne w trybie open-source, to jest KITTI dataset oraz NuScenes dataset. W rozdziale tym przedstawiono również sposób trenowania sieci neuronowych.

W rozdziale siódmym zamieszczono skuteczność wykrywania danych pojazdów przez sieć neuronową wytrenowaną za pomocą wyżej wymienionych zbiorów. Przedstawiono wyniki z podziałem dla kamery cyfrowej i radaru.

Rozdział ósmy jest analizą wyników uzyskanych z zastosowanej metody CDSM.

Podsumowując ocenę merytoryczną stwierdzam, że przedstawione w wyżej opisanych rozdziałach wyniki wskazują na szeroką wiedzę Doktoranta w zakresie projektowania sieci neuronowych na potrzeby pozyskiwania informacji o otaczającym świecie dla pojazdów

autonomicznych. Jednak należy zaznaczyć, że Doktorant do stworzenia własnego rozwiązania postawionego problemu wykorzystał znane z literatury narzędzia.

3 Ocena dorobku publikacyjnego Doktoranta

W bazie Web of Science (WoS) indeksowane są 2 prace Doktoranta (dostęp 25.11.2023). Według bazy WoS indeks Hirscha wynosi 2, a liczba cytowań 12 (bez auto cytowań również 12).

W bazie Scopus indeksowanych jest 6 prac. Należy zauważyć, że indeks Hirscha wynosi 3 przy całkowitej liczbie cytowań równej 33, a przy pominięciu auto-cytowań indeks Hirscha jest nadal równy 3 i liczba cytowań wynosi 25. Świadczyć to może o rozpoznawalności Doktoranta oraz o znaczeniu publikacji na arenie międzynarodowej.

4 Uwagi dyskusyjne

Zebrane w tym punkcie uwagi nie mają wpływu na końcową ocenę rozprawy doktorskiej. Poniżej zostały zawarte główne uwagi i komentarze:

- w rozprawie doktorskiej autor w niektórych miejscach pisze słowo "radar" z wielkiej litery, a w innych z małej litery. Czy ma to merytoryczne uzasadnienie czy jest to błąd redakcyjny?,
- strona 40-we wzorze (4.1) pojawiają się symbole, które nie są wyjaśnione, podobnie we wzorze (4.2),
- strona 41, po wzorze (4.2) pojawia się pojęcie *norma L2*, która nie występuje we wcześniejszych wzorach, powinno być to wyjaśnione,
- podrozdział 5.2, strona 51: autor opisuje zastosowanie kwaternionów do uzyskania macierzy rotacji, a jednocześnie definiuje wymagane obroty dla otrzymania identycznej orientacji układów współrzędnych skojarzonej z kamerą cyfrową i chmurą punktów, należy szerzej wyjaśnić zastosowanie kwaternionów,
- w wynikach zamieszczonych w rozprawie pojawiają się tylko przypadki sceny, na której maksymalnie występują trzy pojazdy w ruchu (pomijam pojazdy zaparkowane), czy istnieje ograniczenie liczby pojazdów, dla którego, po przekroczeniu tej liczby, zaproponowana metoda jest nieskuteczna?
- czy zaproponowana metoda jest skuteczna dla pojazdów autonomicznych poruszających się w nocy?
- jaka jest skuteczność metody w różnych warunkach oświetleniowych.

Ponadto, w mojej opinii w rozprawie brak schematu lub algorytmu obliczeniowego w postaci blokowej lub pseudo kodu dla uzyskanych wyników. Podsumowanie w takiej formie bardzo ułatwiłoby analizę zaprezentowanej metody. Prezentacja danych i ich analiza jest przedstawiona tylko w formie opisowej i tabel.

5 Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę poprzednie punkty recenzji moja ocena rozprawy doktorskiej jest następująca:

- Praca zawiera oryginalne wyniki oraz przedstawia rozwiązanie postawionego problemu badawczego z zakresu dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.
- Doktorant posiada ogólną wiedzę teoretyczną z zakresu pojazdów autonomicznych, która wpisuje się w dyscyplinę automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.
- Doktorant zdobył i posiada umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy badawczej.

Uwzględniając powyższą ocenę, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Daniela Dworaka spełnia warunki określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2023, poz. 742) i wnoszę o dopuszczenie rozprawy doktorskiej do publicznej obrony.

Artur Babiarz