

prof. dr hab. inż. Zdzisław Kowalczyk
profesor zwyczajny
Katedra Systemów Decyzyjnych i Robotyki
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki
Politechnika Gdańska
ul. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

27 grudnia 2023

SEKRETARIAT
Rady Dyscypliny AEEITK

Wpłynęło dnia 15. 01. 2024
Zarejestrowano pod nr
Podpis dm

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
DLA RADY DYSCYPLINY AUTOMATYKI, ELEKTRONIKI I
ELEKTROTECHNIKI I TECHNOLOGII KOSMICZNYCH
AKADEMII GÓRNICZO-HUTNICZEJ
W KRAKOWIE**

PhD Thesis: **“Real-time generation of safe trajectories for autonomous vehicles in dynamic environments”**

Tytuł rozprawy: **”Generowanie w czasie rzeczywistym bezpiecznych trajektorii dla pojazdów autonomicznych w dynamicznych środowiskach”**

Autor rozprawy: **mgr inż. Wojciech Turlej**

Promotor: **prof. dr hab. inż. Wojciech Mitkowski**

Promotor pom.: **dr inż. Krzysztof Kogut**

1. **Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrywane w pracy (teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?**

Przedmiotem przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej jest ważne społecznie, cywilizacyjnie oraz technicznie zagadnienie projektowania systemów autonomicznego prowadzenia pojazdu na ulicy przez urządzenie, które określa się jako agenta-kierowcę.

Współczesna cywilizacja charakteryzuje się automatyzacją i informatyzacją procesów zarządzania, nadzoru i sterowania różnymi procesami oraz obiektami, które są bliskie człowiekowi. Należy do nich prowadzenie samochodu.

Inżynierowie ciągle myślą o konstruowaniu agenta-kierowcy, który będzie mógł w pełni autonomicznie kierować pojazdem na ulicy. W robotyce, w przemysłowym środowisku statycznym, już od dawna organizuje się planowany ruch mobilnych pojazdów. Jednak względem środowiska dynamicznego, do jakiego zalicza się drogi publiczne, zastosować trzeba dużo wyższą inteligencję, wiedzę i umiejętności oraz możliwości autonomizacji, aby zagwarantować skuteczny i bezpieczny ruch pojazdu.

Cel jaki postawił przed sobą doktorant to rozwiązanie problemu projektowania i ewaluacji algorytmów planowania ruchu pojazdu w warunkach niepewnych z wykorzystaniem planowania wielohipotezowego. W podejściu tym uwzględnia się kilka

hipotez nt. przyszłego zachowania się innych użytkowników drogi, aby zagwarantować skuteczność i bezkolizyjność ruchu sterowanego pojazdu we wszystkich prawdopodobnych scenariuszach. Podejście takie łatwo można zastosować w bezpiecznym rozwiązaniu zadania „planowania z manewrem awaryjnym”, w którym uwzględnia się najgorszy możliwy rozwój sytuacji drogowej.

Statystyka i badania nad publicznym ruchem pojazdów pokazują, że większość wypadków jest spowodowana błędami kierowców, a w szczególności związana jest z rozproszeniem uwagi oraz wpływem alkoholu lub zmęczenia.

Dlatego panuje przekonanie, że zaawansowane systemy wspomagania kierowcy (ADAS, *Advanced Driver Assistance System*), a w dalszej perspektywie – systemy jazdy autonomicznej (ADS, *Autonomous Driver System*), które nie prokurują ww. dominujących błędów człowieka, mogą zrewolucjonizować bezpieczeństwo ruchu drogowego i zmniejszyć liczbę wypadków.

Niestety głównym wyzwaniem takiego rozwiązania jest brak ludzkiej inteligencji i wiedzy pozwalającej na bezpieczną jazdę. Zamiast tego inżynier staje przed trudnym zadaniem zbudowania inteligentnego robota (agenta-kierowcy o odpowiednich możliwościach wykonawczych), narażanego dodatkowo na mnogość zagrożeń i finansowe koszty błędnych decyzji. Z tego względu rozpatrywane zagadnienie jest bardzo istotne gospodarczo. Ale też i wymaga wielu badań i zgody społecznej w zakresie warunków bezpieczeństwa oraz gwarancji ich spełnienia przez pojazdy ADS.

Rozważana metoda planowania wielohipotezowego skupia się na planowaniu krótkoterminowych manewrów w trudnych sytuacjach. Można to wspomóc metodami planowania opartymi na uczeniu maszynowym, np. uczeniu ze wzmocnieniem (RL, *Reinforcement Learning*), które umożliwiają też planowanie strategiczne w dłuższej perspektywie. Szkolenie w tym podejściu opiera się na środowisku symulacyjnym, co oznacza, że w systemie rzeczywistym może pojawić się wrażliwość na bieżące błędy percepcji. Aby temu zaradzić, doktorant proponuje wykorzystanie na etapie szkolenia i ewaluacji prostych (wysokiego poziomu) modeli czujników, które pozwalają na błędy modelowania charakterystyczne dla systemów dynamicznej percepcji obiektów i detekcji pasa ruchu.

Postęp technologiczny w dziedzinach fizyki, elektroniki, mechatroniki, technik komputerowych i programowania, a także nowe technologie stosowane w budowie samochodów (jak kamery przemysłowe), stanowią zachętę do rozwoju koncepcji ADAS/ADS oraz wyzwanie dla inżynierów projektujących takie systemy.

Z tą myślą doktorant postawił następujące hipotezy badawcze, których celem są metody planowania ruchu w oparciu o ML/RL dla komercyjnych systemów zaawansowanego wspomagania jazdy (ADAS) i jazdy autonomicznej (ADS):

1. Możliwe jest opracowanie planu bezpiecznej jazdy pojazdu zautomatyzowanego, który uwzględni kilka (pod)hipotez dotyczących przyszłego stanu otoczenia. W planowaniu jazdy uwzględnić można przewidywalne, najgorsze przypadki dotyczące zachowania innych użytkowników drogi, zapewniając istnienie wykonalnych manewrów w celu uniknięcia kolizji podczas realizacji planu jazdy.

2. Zastosowanie stochastycznych modeli systemów percepcji w procesie uczenia się strategii kierowania RL poprawia odporność systemu na błędy percepcyjne.

3. W symulacyjnej walidacji algorytmów planowania jazdy, w celu ukazania potencjalnych problemów w ocenianym systemie, zastosować można optymalizacyjne metody generowania scenariuszy kontradiktoryjnych (*adversarialnych*).

Postawione tezy wyrażone są całkowicie jasno oraz w świetle wiedzy i wyników badań naukowych są dobrze uzasadnione oraz aktualne i ważna praktycznie.

W swojej istocie zaprezentowana rozprawa skupiona jest na praktycznym wykorzystaniu metod matematycznych i metod sztucznej inteligencji w projektowaniu systemów ADS/ADAS, jak również ich implementacji i eksperymentalnej, symulacyjnej walidacji.

Uwzględniając techniczno-inżynierską i dużą przemysłową wagę rozważanego zagadnienia projektowania zaawansowanych systemów kierowania lub wspierania kierowcy (ADS/ADAS), tematykę rozprawy Pana Wojciecha Turleja należy zaliczyć do ważnych społecznie, naukowo, oraz technologicznie.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono analizę źródeł we właściwy sposób (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle), świadczący o dostatecznej wiedzy autora? Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Autor dysertacji zastosował bardzo obszerne wprowadzenie mieszczące się w rozdziałach 1 i 2. Samo podanie tez rozprawy zostało w rozdziale 1 poprzedzone prezentacją tematyki, aspektów automatyzacji i bezpieczeństwa oraz motywacji i zakresu rozprawy, po czym czytelnikowi przedstawia się skrótowy zarys pracy oraz ważniejsze wyniki, w szczególności te, które dotyczą autorskiego wkładu.

W rozdziale 2 (str. 9-33) umieszczono zasadnicze i bardzo gruntowne wprowadzenie, dotyczące systemów ADAS i ADS, podsystemów percepcji, architektury ADS, techniki uczenia ze wzmocnieniem oraz zagadnienia bezpieczeństwa, z uwzględnieniem błędów programistycznych oraz sprzętowych i czujnikowych.

Trzy zasadnicze rozdziały 3-5 (s. 35-144), z których każdy odnosi się do jednej z trzech postawionych hipotez badawczych, także zawierają zgrabne, specjalistyczne wprowadzenia do poszczególnych zagadnień merytorycznych (wraz ze szczegółową ich motywacją). Zazwyczaj autor formułuje problem, daje wykład na temat swojego rozwiązania i odnosi się do metod jego oceny. Rozdziały te kończą się pokazaniem wyników eksperymentalnych i opracowaniem wniosków badawczych.

Zastosowane strukturalne rozwiązanie rozprawy, nakreślenie ram badawczych, oraz całościowy opis prezentowanej metodologii nie budzą specjalnych wątpliwości.

W zasadzie doktorant bardzo trafnie przeprowadził analizę światowych źródeł literaturowych w zakresie wyników naukowych w przedmiotowej dziedzinie. Poza drobnymi przeoczeniami, wnioski zaczerpnięte ze źródeł bibliograficznych nie budzą zastrzeżeń. Autor poprawnie posługuje się też wybranymi odniesieniami literaturowymi. Całość zgromadzonego materiału przeglądowego dobrze świadczy o dziedzinowej wiedzy, jaką nabył doktorant.

Pewne koncepcje własnych, autorskich rozwiązań zostały już udokumentowane naukowymi opracowaniami (referat na konferencji MMAR'2021, artykuł w czasopiśmie *Electronics* MDPI'2022 i Patent US'2023).

Praca ogólnie liczy 169 stron (plus łatwy do wygenerowania w LaTeXu, ale niezbyt użyteczny spis rysunków i tablic). Merytoryczne rozdziały dysertacji zajmują 110 stron, zaś spis bibliograficzny obejmuje 205 pozycji, wraz z ww. 3 pozycjami: autorską pracą (MDPI) oraz współautorskimi, referatem i patentem.

3. Czy autor rozwiązał postawione zadania, czy użył właściwej do tego metody, oraz czy przyjęte założenia są uzasadnione?

W ramach rozważanego zagadnienia projektowego dotyczącego planowania ruchu w zaawansowanych systemach wspomaganie jazdy i jazdy autonomicznej, wykorzystując dobrane osiągnięcia naukowe i zasady współczesnej inżynierii oraz inwencję własną, autor postawił sobie do opracowania trzy główne zadania, polegające na rozwiązaniu istotnych problemów związanych z bezpieczeństwem i niezawodnością systemów:

1) Biorąc pod uwagę fakt, że systemy oparte na RL mają trudności z nauczeniem się reakcji na rzadko obserwowane lub złożone sytuacje, doktorant proponuje stosować je w połączeniu z przejrzystą metodą planowania trajektorii, prowadzącą do bezpiecznej realizacji awaryjnych manewrów jazdy lub podpowiadania alternatywnych (wielowariantowych) decyzji w skomplikowanych sytuacjach drogowych.

2) W celu uniknięcia niebezpiecznych zachowań i zwiększenia odporności systemów ADS/ADAS (opartych na RL) na błędy w kanale percepcji agenta-kierowcy, doktorant słusznie stwierdza, że systemy takie, szkolone (jedynie) w środowiskach symulacyjnych, powinny być należycie ocenione pod kątem skutków, jakie mogą wywołać błędy w układach sensorowych.

3) Ze względu na brak przejrzystości rozwiązań ML ich weryfikacja i walidacja jest utrudniona. Możemy tu mieć do czynienia z błędami systemowymi („inteligencji” niedostosowanej do rzadkich i nietypowych sytuacji), których nie ujawnią ani ręcznie zaprojektowane testy, ani drogie jazdy testowe na prawdziwej lub symulowanej drodze. W związku z tym doktorant proponuje badania nad zautomatyzowanymi testami kontradiktoryjnymi (*adversarialnymi*), pozwalającymi na wykrywanie ww. problemów w systemach ADS.

Sprostanie powyższym wyzwaniom wydaje się być ważnym krokiem wymaganym w celu komercjalizacji systemów ADS opartych na RL. Dlatego doktorant proponuje pakiet metod związanych z planowaniem ruchu pojazdów i walidacją systemów ADAS/ADS.

Opracowane metody zasadniczo posadowione są na podejściu RL/ML, zapewniając odporność na błędy percepcyjne i wspierając skuteczność ich weryfikacji. Zatem w celu prowadzenia badań nad tymi metodami doktorant szkoli przykładowe strategie oparte na RL i wykorzystuje je w procesie testowania hipotez badawczych.

Zaletą pracy jest to, że autor starał się projektować w sposób uniwersalny, który można zastosować w przypadku innych strategii jazdy (nie tylko RL/ML).

Na podstawie szczegółowej lektury rozprawy można uznać, iż jej autor rozwiązał postawione zadanie – wykazując się przy tym: znajomością analizowanego zagadnienia projektowego dotyczącego planowania ruchu w zaawansowanych systemach agenta-kierowcy (jazdy autonomicznej lub wspomaganie), kształtowania i modelowania ścieżki percepcyjnej w systemach ADS/ADAS, projektowania i symulacji takich systemów, opanowaniem materiału teoretycznego w zakresie optymalizacji i technik wielokryterialnych, jak również biegłością w posługiwaniu się środowiskiem informatycznym i warsztatem inżynierskim, biegłością w implementacji algorytmów, a także umiejętnością doboru założeń badawczych, definiowania kierunków badań, projektowania i implementacji systemów, formułowania wniosków, oraz w dużym stopniu samodzielnego rozwiązywania postawionych zadań i umiejętnością weryfikacji osiągniętych rezultatów (na poziomie teoretycznym i w warunkach laboratoryjnych).

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Postęp w technologii uczenia maszynowego (ML) zrewolucjonizował świat nauki, technologii i przemysł. Zwłaszcza metody *Reinforcement Learning* (RL) osiągnęły niespotykaną skuteczność w rozmaitych zadaniach. Trudno jest jednak zapewnić wystarczającą efektywność modułu planowania ruchu agenta-kierowcy, albowiem w systemach opartych na uczeniu maszynowym mogą pojawić się problemy związane z błędami percepcji oraz oceny złożonej sytuacji drogowej. Przy planowaniu ruchu warto zatem uwzględniać złożone interakcje między obiektami i użytkownikami drogi oraz projektować długoterminowe strategie jazdy, zwłaszcza wobec niedoskonałości działania (pod)systemów percepcji. Do wyzwań związanych z wprowadzeniem systemów ADAS/ADS zaliczyć należy też ograniczoną przejrzystość modeli, brak gwarancji bezpieczeństwa oraz podatność na błędy *niedomodelowania* (w zakresie symulowanych scenariuszy zastosowanych w treningu RL).

W rozdziale 3 doktorant pokazuje optymalizacyjne podejście do planowania jazdy, w którym proponuje jednoczesne generowanie wielu trajektorii ruchu pojazdu, biorąc pod uwagę wiele hipotez dotyczących przyszłego stanu otoczenia (tj. adekwatnie do hipotezy planuje się trajektorię sterowania pojazdem). W celu ustalenia bieżącej bezkolizyjnej trajektorii, „niezależnie od sytuacji”, narzuca się warunek wspólnoty/identyczności wszystkich trajektorii w początkowej fazie. Odkłada się w ten sposób decyzje kluczowe dla bezpieczeństwa do czasu zebrania nowych danych o środowisku i zachowaniu innych użytkowników drogi. Możliwe jest tu planowanie awaryjne, na podstawie najbardziej prawdopodobnej hipotezy o zachowaniu innych uczestników ruchu oraz w najgorszym przypadku tego zachowania. W ten sposób planuje się optymalny i bezpieczny ruch pojazdu, z uwzględnieniem szerszego zakresu scenariuszy.

W rozdziale 4 autor skupia się na problemie odporności strategii kierowania na błędy w postrzeganiu, z wykorzystaniem zestawu skutecznych modeli czujników o niskiej wierności, umożliwiających modelowanie zarówno systemów dynamicznej percepcji otoczenia (przy radarowym wykrywaniu obiektów), jak i systemów percepcji statycznej (detektorów pasa ruchu opartych na kamerach). Zastosowane modele czujników (opracowane w zespole) wykorzystano zarówno do szkolenia sieci, jak i weryfikacji/walidacji strategii prowadzenia pojazdu. Przykładowa strategia jazdy poddana jest treningowi w środowisku symulacyjnym z wykorzystaniem ww. modeli czujników i porównana ze strategiami wytrenowanymi przy użyciu prostszych symulacyjnych modeli czujników oraz przy doskonałej (*fault-free*) percepcji otoczenia.

Warto zauważyć, że w literaturze stosuje się różne techniki modelowania sensorów. Rzadko jednak ma to miejsce w odniesieniu do strojenia zasad jazdy (w oparciu o RL) oraz analizy ich wpływu na końcową skuteczność systemów ADS/ADAS. Dlatego do bardziej wartościowych osiągnięć doktoranta warto zaliczyć wprowadzenie efektywnych modeli statycznej i dynamicznej percepcji otoczenia oraz zbadanie wpływu modeli czujników na docelową skuteczność strategii prowadzenia pojazdu.

W rozdziale 5 autor rozważa problem automatycznej weryfikacji (walidacji?) systemów ADAS i ADS oraz proponuje autorską metodę automatycznego generowania kontrydiktoryjnych (*adversarial*) scenariuszy testowych. Pomysł ten jest użyteczny w procesie wykrywania potencjalnych problemów w opracowanych strategiach

drogowych (ADS), gdzie generuje się optymalne trajektorie uwzględniające trudne zachowania innych użytkowników drogi, którzy mogą źródłem niebezpieczeństwa.

Ważną cechą prezentowanej metody jest możliwość generowania scenariuszy kontradiktoryjnych uwzględniających wzorce błędów percepcyjnych. W ten sposób można przebadąć kombinacje zachowań innych uczestników ruchu z jednoczesnym występowaniem błędów percepcyjnych (wpływających na decyzje w zakresie kierowania pojazdem). Skuteczność tej metody wykazano w zadaniu generowania bazy danych scenariuszy kontradiktoryjnych dla przykładowej strategii jazdy opartej na RL.

Doktorant dostarczył dowodów swojej dojrzałości naukowej i inżyniersko-społecznej, która pozwala mu na pracę indywidualną i zespołową. Widać opanowanie przez niego warstwy merytorycznej w zakresie niezbędnych podstaw teoretycznych w zakresie budowy autonomicznych systemów kierowania pojazdem oraz umiejętności komputerowej implementacji algorytmów i badań eksperymentalnych.

W podsumowaniu można zatem stwierdzić, że zgodnie z postawioną tezą i w duchu zamierzonych celów badawczych omawianej rozprawy doktorskiej, jej autor osiągnął kilka głównych i oryginalnych wyników, sprzęgniętych z trzema szczegółowymi tezami:

- 4.1. W zakresie bezpiecznej jazdy zautomatyzowanym pojazdem opartej na podejściu wielohipotezowym:
 - (i) poprzez sformułowanie problemu optymalizacji (podobnie jak w podejściu predykcyjnym do sterowania w określonym horyzoncie czasowym z wykorzystaniem metody „przesuwanego horyzontu”), autor opracował wielorakie konkurencyjne trajektorie przewidywanego ruchu, z których każda powiązana jest z innym przypadkiem, ale przy zachowaniu ich zgodności w okresie początkowym,
 - (ii) w oparciu o nowy standard IEEE dotyczący modeli związanych z bezpieczeństwem dla zautomatyzowanych systemów jazdy (IEEE 2846-2022), doktorant opracował konstruktywne podejście do generowania trajektorii przy hipotezie możliwego najgorszego przypadku.
- 4.2. W obszarze wykorzystania stochastycznych modeli systemów percepcji w procesie uczenia (opartej na RL) strategii kierowania pojazdem w celu zwiększenia odporności projektowanego systemu ADS na błędy postrzegania:
 - autor zastosował zestaw stochastycznych modeli czujników uwzględniających błędy zachodzące w statycznych i dynamicznych systemach percepcji.
- 4.3. Na polu zastosowania metod optymalizacyjnych generowania scenariuszy w symulacyjnej ocenie i diagnostyce systemów ADS, tj. weryfikacji/walidacji opracowywanych algorytmów planowania jazdy:
 - autor zaproponował optymalizacyjne podejście do generowania scenariuszy kontradiktoryjnych w celu aktywnego wyszukiwania scenariuszy stwarzających zagrożenie dla ocenianego systemu oraz iteracyjnego generowania dużej liczby trudnych scenariuszy.
- 4.4. W zakresie wyników numerycznych badań eksperymentalnych:
 - doktorant zastosował metodę wielohipotezową generowania trajektorii sterowania symulowanym pojazdem w trudnych sytuacjach drogowych, z uwzględnieniem hipotezy najgorszego przypadku oraz z wykorzystaniem stochastycznych modeli percepcji i optymalizacyjnego generowania scenariuszy kontradiktoryjnych.
- 4.5. Warto na koniec wyróżnić złożoność i innowacyjność:
 - polegającą na jednoczesnym generowaniu trajektorii innych użytkowników drogi oraz błędów percepcji (krytycznych dla bezpieczeństwa zmechanizowanego procesu podejmowania decyzji), co jest szczególnie ważne przy testowaniu strategii jazdy opartych na RL (gdzie trudno jest przewidzieć groźne kombinacje trajektorii i błędów percepcji).

Z zaprezentowanego raportu wynika duża sprawność doktoranta w prowadzeniu innowacyjnych prac badawczo-projektowych uwzględniających elementy teoretyczne i współczesne narzędzia inżynierskie.

Na podstawie powyższego oraz częściowej publikacji wyników badań, można nabrać przekonania, że mgr inż. Wojciech Turlej dowiódł postawionej tezy badawczej i zrealizował cel rozprawy oraz wykazał się wiedzą i umiejętnością rozwiązywania zagadnień naukowych w trudnym obszarze projektowania zaawansowanych bezpiecznych systemów autonomicznego kierowania pojazdami w ruchu publicznym.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Na podstawie lektury rozprawy można wywnioskować, że doktorant posiadał należyłą umiejętność korzystania z teorii i technik zaczerpniętych z literatury oraz wnoszenia własnych opracowań, jak również dostateczną zdolność zwięzłego i jasnego przedstawiania uzyskanych wyników.

Jak wskazałem w p. 2, wprowadzenie oparte na przeglądzie literaturowym zostało bardzo dobrze opracowane. Struktura pracy jest dobra. Całość raportu bardzo dobrze dokumentuje wkład doktoranta i uzyskane przez niego wyniki i praca prezentuje się ogólnie bardzo wiarygodnie. Autor nie zaniedbuje należytego wprowadzenia i dostarcza czytelnikowi podstaw niezbędnych dla dyskusji. Trzy rozdziały merytoryczne zostały opatrzone obszernym podsumowaniem (zwykle 2-3,5-stronicowym).

Cały raport, przygotowany w języku angielskim, sprawia wrażenie dobrze skomponowanej pracy. Porządek rzeczy w poszczególnych rozdziałach jest dobrze ułożony. Język techniczny zastosowany w raporcie jest ogólnie zrozumiały, raczej pozbawiony terminów slangowych, jednak nie zawsze jasny, a czasem nadmiernie skomplikowany. Akapity są zrównoważone (krótkie), chociaż zdarzają się długie zdania przeładowane treścią, powtórzeniami lub błędną logiką.

Ogólnie rzecz biorąc, choć podjęta problematyka jest bardzo złożona, omawiana rozprawa doktorska (o charakterze teoretycznym, rozwojowym i wdrożeniowym), dotycząca niezwykle innowacyjnej dziedziny przemysłu motoryzacyjnego, mającej istotne społecznie perspektywy aplikacyjne, prezentuje się bardzo dobrze pod względem merytorycznym. Raport kończy się obszernym esejem zawierającym propozycje kierunków dalszych badań.

6. Jakie są słabe strony i główne wady?

Jak wspomniano, poruszana problematyka jest bardzo złożona, a omawiana rozprawa doktorska ma charakter teoretyczny, badawczo-rozwojowy i wdrożeniowy. Pomimo złożoności i wielomodalności tego zagadnienia doktorantowi udało się przedstawić całkiem zgrabny i merytorycznie spójny raport.

Choć praca nie ma charakteru ściśle analitycznego pod względem matematyczno-fizycznym, mocno wykorzystuje dobrany aparat matematyczny, a poza pojedynczymi przypadkami wzory matematyczne zostały bardzo poprawnie zredagowane.

Doktorant jednak niepotrzebnie używa rozwlekłych/długich opisów (nawet w krótkim streszczeniu). Zwłaszcza w języku angielskim nienatywny autor powinien unikać bardzo długich i skomplikowanych zdań, jak ognia.

Wydaje się, że doktorant starał się być w swojej wypowiedzi niezwykle precyzyjny i nie pozostawiać czytającemu żadnych wątpliwości. Ale efekt jest odwrotny, bo takie zachowanie prowadzi do zmęczenia czytelnika, który dokładnie wie, w jakim kontekście się znajduje. Tym bardziej autor, którego uwaga jest jeszcze lepiej skupiona na konkretnym celu i oparta na znanym mu kontekście, którego powinien użyć, aby przekaz był płynny i prowadził do celu. Jest to szczególnie uderzające w języku angielskim, który – w odróżnieniu od fleksyjnego języka polskiego – musi być w dużej mierze oparty na kontekście.

Czasami takie nadmierne powtarzanie treści prowadzi do formy logicznego zapętlenia lub tautologii.

Generalnie jednak, poza wskazanym powyżej nadmiernym rozbudowaniem i skomplikowaniem konstrukcji zdaniowych, raport napisany jest w języku angielskim na ponadprzeciętnym wysokim poziomie.

Jednak nienatychnemu (polskiemu) autorowi zwykle trudno jest perfekcyjnie posługiwać się na przykład angielskimi przedimkami (grammar articles) i interpunkcją.

Oto kilka przykładów:

„The proposed method can be used to effectively explore potential issues in ~~the~~ developed driving policies, by using an optimization-based trajectory generation to find (?) the behavior of other road users; that trigger safety-critical failures in the tested system.” →

“The proposed method can be used to effectively investigate potential problems in developed driving policies by using optimization-based trajectory generation to find the behaviors of other road users that cause safety-critical failures in the tested system.” → or (better) →

“The proposed method can be used to effectively investigate potential problems in developed road policies by generating optimal trajectories that take into account the behavior of other road users who cause safety-critical situations in the tested system.”

Czy inne niezgrabności:

“The method has been able to generate safe (with respect to formulated hypotheses)...” →

“This method managed to generate safe (taking into account the hypotheses)...” → or (better)

“In the examples presented, this method managed to generate safe (taking into account the hypotheses) and effective trajectories, confirming the research hypothesis.”

“While many sensor modeling methods were previously proposed for evaluation purposes, the impact of their use in ~~the~~ training of RL-based motion planning systems on the final performance of such systems remains poorly understood.” →

“Although many sensor modeling methods have been proposed for evaluation purposes, the impact of their use in training RL-based motion planning systems on the ultimate performance of such systems remains (is) poorly understood.”

“The performance of all ~~the~~ trained policies has been evaluated both in large-scale driving tests in the simulation, as well as in a set of predefined test scenarios.” →

“The effectiveness of all trained strategies was assessed both in large-scale simulation driving tests and on a set of predefined test scenarios.”

“Optimization-based adversarial scenario generation methods can be used in simulation-based validation of motion planning algorithms to expose potential weaknesses or issues in the evaluated systems.” →

“In order to detect potential problems in the assessed systems, optimization methods for generating adversarial scenarios can be used in the simulation validation of motion planning algorithms.”

“to generate the trajectories of the road users” → “to generate trajectories of other road users”

“that distinguishes the method from the existing ones” → “that distinguishes the method from existing ones”

“safety-critical mistakes of the tested module.” → “safety-critical errors in the tested module.”

“The method has been used for the generation of” → “The method was used to generate”

“being able to expose several issues” → “thus revealing several issues”

Przy tak techniczno-technologicznej pracy, oprócz spisów symboli i operatorów, warto byłoby podać definicje najbardziej fundamentalnych pojęć, takich jak efektywne modele (*efficient models*), skuteczne trajektorie (*efficient trajectories*), skuteczność

systemu (*performance*), wierność modeli (*model fidelity*), nisko/wysoko poziomowe modele, oraz weryfikacja i walidacja, ...etc. – oraz używać tych pojęć adekwatnie do ich znaczenia w kontekście pracy.

Niedoskonały jest spis literatury – uporządkowany wg nazwisk, ale rozpoczynający się od imion. W wielu wypadkach widać niedokładny opis: brak numeru raportów wewnętrznych; miejsca konferencji, brak danych/specyfikacji typu publikacji (pozycje [6], [13], [18], [22],...). Pojawia się też rozwlekłość związana z pełnymi imionami lub pełną nazwą znanych instytucji (jak IEEE), zbędne „In:” w przypadku czasopism, ..., czy też niedopracowany zbiór pozycji literaturowych (np. dwukrotnie występująca, pod numerami [182] i [183], autorska pozycja – MMAR 2021).

Zwięzłe tłumaczenie polskie jest dość niestaranne: chyba „short-term” to raczej „krótko-terminowy”, a nie „krótki manewr”; Podobnie “low-fidelity models” oznacza modele “niskiej dokładności/wierności”, zaś „high-level sensor models” oznacza „modele wysokiego poziomu”, co podkreśla zupełnie inną charakterystykę (choć oba pojęcia mogą odnosić się do tego samego modelu, ale jest to dość mylące w odbiorze).

W tym kontekście, uderza brak powołania na doktorat (sprzed roku) Kamila Lelowicza o tematyce „Modele matematyczne wybranych komponentów branży motoryzacyjnej i ich badanie w celu rozwoju systemów aktywnego bezpieczeństwa” – z podobną, przywołaną tu filozofią.

Dlatego doktorant powinien wyjaśnić kwestię interakcji związanej ze zbieżnością jego rozprawy z ww. rozprawą doktorską Kamila Lelowicza (w ramach tej samej Rady Dyscypliny AEEiTK AGH) oraz braku owej pracy w spisie literatury, zwłaszcza w zakresie modelowania błędów występujących w systemach percepcji (kanałach wizyjnych) wykorzystywanych do obserwacji obiektów dynamicznych (uczestników ruchu na drogach publicznych) oraz wykrywania pasów ruchu.

W zakresie merytorycznym, niezrozumiałą jest też brak jawnego odniesienia opracowanej (wielohipotezowej) metody planowania trajektorii do znanej od dawna strategii sterowania predykcyjnego w określonym horyzoncie czasowym, znanej pod nazwą "receding horizon", i odpowiedniej literatury naukowej (nawet rodzimej).

Będąc przekonany o celowości dalszego rozwoju doktoranta, przedstawiłem powyżej przykładowe uwagi, które powinny przyczynić się do uzyskania jeszcze wyższej jakości raportów i prezentacji w pracach naukowo-dydaktycznych i publikacjach podoktorskich.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Podsumowując, praca dotyczy nowoczesnych teorii systemów, automatyki i robotyki, modelowania, metod matematycznych, przetwarzania obrazu i sztucznej inteligencji, których integracja pozwala na budowę inteligentnych produktów, takich jak autonomiczne systemy kierowania pojazdami ADS. Przydatność prac badawczych związanych z autonomicznością i poprawą bezpieczeństwa w transporcie samochodowym dla nauki, gospodarki i współczesnego społeczeństwa jest bardzo wysoka, zarówno poznawczo, jak i aplikacyjnie.

Poza podsystemem wykonawczym, który we współczesnych pojazdach stoi na bardzo wysokim poziomie funkcjonalnym, technologicznym i niezawodnościowym, ogólna koncepcja budowy pojazdów autonomicznych pozostaje nadal prosta w swojej filozofii. Najogólniej rzecz biorąc, zawiera kanał percepcji otoczenia oraz moduł podejmowania decyzji kierowniczych, obejmujący bieżące projektowanie trajektorii ruchu pojazdu. Jednak w tym obszarze jest jeszcze wiele do zrobienia, gdyż

inżynierowie dążą tu do zastąpienia ludzkiej inteligencji. Dlatego zagadnienie to jest niezwykle trudne i złożone oraz prowadzi do budowy skomplikowanych systemów ADS zawierających wiele elementów i generujących wiele nierozwiązanych problemów.

Wobec powyższego omawiana praca mieści się w szerokim nurcie badań dotyczących największych wyzwań współczesności.

Poprzez swoje badania w zakresie teorii, jej implementacji oraz obliczeń i testów symulacyjnych z wykorzystaniem opracowanych metod i modeli, autor dostarczył dowodów racjonalności i użyteczności swoich opracowań.

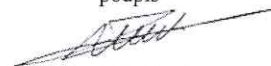
Według przedstawionej powyższej analizy, wyniki osiągnięte przez mgr inż. Wojciecha Turleja z pewnością przyczyniają się do postępu w zakresie budowy autonomicznych systemów kierowania pojazdami, z zachowaniem zasad bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Wyniki pracy w postaci zweryfikowanego rozwiązania inżynierskiego mają duże znaczenie dla nauk technicznych. Krytyczne uwagi redakcyjno-edytorskie nie wpływają na wysoką ocenę zakresu oraz oryginalnych merytorycznych osiągnięć naukowo-badawczych doktoranta, zawartych w recenzowanej rozprawie, oraz bardzo pozytywną ocenę pracy, która z dużym nadmiarem spełnia wymagania rozprawy doktorskiej, a nawet może kwalifikować się do wyróżnienia.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- (a) nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim.
- (b) wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania.
- (c) spełniająca całkowicie wymagania.
- (d) spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem.
- (e) wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie.

podpis



ZKowalczyk

