

Dr hab. inż. Joanna Jaworek-Korjakowska, prof. AGH
AGH w Krakowie, Wydział EAIiB
Katedra Automatyki i Robotyki

Kraków, 02.05.2023 r.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Biuro Rady Dyscypliny
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne
wpłynęło dnia 17 05. 2023
nr 22 zał.

Recenzja
Rozprawy Doktorskiej
mgr Paweł Kowalczyk
pt.: Statystyczne podejście do weryfikacji i walidacji systemów sterowania w
pojazdach autonomicznych

Dziedzina: nauki techniczne,

Dyscyplina: Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne

Recenzowana praca powstawała pod kierunkiem naukowym prof. dra hab. inż. Jacka Izydorczyka.

Niniejszą recenzję przygotowano na podstawie uchwały Rady Dyscypliny AEETK Politechniki Śląskiej 95/2022 z dn. 20.12.2022 zgodnie z art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (j.t. Dz.U. z 2020 r. poz. 85, z późn. zm.).

1. Cel i teza rozprawy

Pan mgr inż. Paweł Kowalczyk ukończył matematykę stosowaną w 2016 roku i uzyskał stopień magistra na podstawie pracy magisterskiej zatytułowanej „Współrzędne biegunowe i sferyczne oraz ich zastosowanie w matematyce”. Od 2017 roku pracuje w firmie APTIV, gdzie obecnie zajmuje stanowisko Advanced Expert Data Scientist w zespole badawczo-rozwojowym. Jest współautorem dwóch patentów, brał udział w licznych seminariach i konferencjach oraz opublikował 4 artykuły w tym 3 z listy filadelfijskiej.

Tematyka poruszana w doktoracie dotyczy bardzo aktualnego obszaru badawczego związanego z oceną skuteczności, weryfikacji i walidacji wyników otrzymywanych przy pomocy algorytmiki opartej na sztucznej inteligencji. Powyższe zagadnienie jest szczególnie istotne w bezpieczeństwie kierowania pojazdem oraz w procesie usprawniania metodologii zautomatyzowania analizy dużych zbiorów danych pochodzących z systemów percepcji pojazdu. W ostatnich latach zauważamy bardzo duży postęp w dziedzinie technologii jak i algorytmów, który przyczynił się do zwiększenia skuteczności jak i możliwości zastosowania rozwiązań opartych na metodach głębokiego uczenia (ang. deep learning, DL). Co więcej, to obszar samochodów autonomicznych powoduje rozwój obszaru DL, a rosnąca dokładność i skuteczność sieci głębokich przynosi

ogromną wartość naukową jak i wdrożeniową, która następnie wykorzystywana jest w innych obszarach.

Jednym z priorytetowych obszarów w zastosowaniu metod głębokich jak i wszystkich metod uczenia maszynowego w autonomicznych pojazdach jest zapewnienie działań w zakresie kwestii etyki, które będą tworzone zgodnie z przyjętymi standardami i wymaganiami RODO. W ramach pracy doktorskiej Autor porusza obszar zarówno testowania i weryfikowania rozwiązania jak i tworzenia etycznych zbiorów danych zawierających różne scenariusze, które nie są reprezentowane w środowisku (na przykład kolizje, czy wypadki).

W ramach pracy bardzo szeroko został przedstawiony i przeanalizowany problem ewaluacji i interpretacji otoczenia oraz zostały omówione miary jakości modułu percepcji oraz zaproponowane nowe miary podobieństwa dla prostokątów okalających (ang. Bounding-box), które służą do detekcji obiektów w otoczeniu pojazdu.

Podsumowując, **tezy pracy**, które zostały przedstawione na stronach 6-8 można uznać za istotne z punktu widzenia zarówno naukowego (nowe miary statystyczne) jak też w aspekcie przyszłych zastosowań proponowanego rozwiązania w praktyce wdrożeniowej, co zostało potwierdzone poprzez realizację rozprawy doktorskiej we współpracy z firmą APTIV.

Tezy rozprawy doktorskiej brzmi następująco:

1. **Możliwym jest stworzenie metodologii ewaluacji, która precyzyjniej określa jakość wyznaczania prostokątnych regionów rozpoznania niż robi to indeks Jaccarda w kontekście detektorów wizyjnych wchodzących w skład modułów percepcji. Ponadto, można stworzyć miarę podsumowującą całe pojawienie się obiektu w zasięgu sensorów uwzględniającą potencjalną konieczność szybkiej reakcji na nową sytuację.**
2. **Usystematyzowanie procesu testowania modułów percepcji w zróżnicowanych warunkach ruchu drogowego i istotne rozszerzenie płynących z niego wniosków można uzyskać poprzez uzupełnienie metody testowania hipotez statystycznych o analizę topologiczną przeprowadzoną z wykorzystaniem algorytmu klastrowania i odległości Wassersteina. Dodatkowo odległość Wassersteina może rozszerzyć samą metodologię oceny jakościowej.**
3. **Analiza zajętości obszarów znajdujących się w zasięgu sensorów samochodu testowego z wykorzystaniem metryki Wassersteina do klastrowania dwuwymiarowych rozkładów jest metodologią**

umożliwiająca formalizację opisu danych uczących, testowych i walidacyjnych używanych do szeroko rozumianego rozwoju jazdy autonomicznej oraz pozwoli ocenić ich różnorodność.

Doktorant definiuje następujące granice rozważań:

1. Tematyka pracy nie dotyczy procesu projektowania sprzętu, w szczególności sensorów.
2. Doktorant nie rozważa fuzji danych modułów percepcji.
3. W ramach pracy nie są porównywane architektury sieci głębokich. Doktorant skupia się na porównaniu różnych metod statystycznych do analizy rozwiązań.

W celu udowodnienia powyższych tez pracy zaproponowano i rozwiązano następujące zagadnienia badawcze:

1. Opracowano statystyczną miarę podobieństwa złożoną z trzech zaproponowanych miar pomocniczych połączonych z wykorzystaniem ważonej średniej harmonicznej do ewaluacji modułów percepcji na tle danych referencyjnych.
2. Zaproponowano analiza jakości sekwencji prostokątów opisujących detekcję obiektów w całym czasie trwania scenariusza testowego.
3. Opracowano metodę wizualizacji jakości scenariusza testowego umożliwiającą szybką lokalizację problemów z działaniem modułu percepcji.
4. Zaproponowane metryki porównano z wynikami uzyskanymi przy pomocy indeksu Jaccarda.
5. Zrealizowano szereg eksperymentów dla modułu percepcji MOD działającego dla danych wizyjnych, które były sztucznie degradowane.

Na podstawie powyższych rozważań oraz uzyskanych wyników można stwierdzić, że hipoteza naukowa pracy, podana na początku niniejszej recenzji została potwierdzona.

Warto podkreślić, że w celu udowodnienia tezy dotyczącej zaproponowania metryki statystycznej do oceny prostokątów okalających Doktorant realizował badania w niezwykle aktualnym obszarze naukowym jakim jest rozwój algorytmiki dla pojazdów autonomicznych w tym architektury do detekcji obiektów w otoczeniu pojazdu.

2. Przegląd treści rozprawy

Tekst rozprawy liczy 150 stron i został podzielony 7 rozdziałów. Rozprawa doktorska zawiera również 162 pozycje literaturowe, spis rysunków i spis tabel.

Przegląd treści rozprawy jest omówiony poniżej.

Rozdział 1 wprowadza do tematyki badań z zakresu rozprawy, zawiera podstawowe pojęcia dotyczące percepcji samochodu, autonomii, gromadzenia danych oraz testowania rozwiązań dla percepcji pojazdu. Sformułowano problem badawczy, cele, zakres i tezy pracy.

W **rozdziale 2** przedstawiono definicję pojazdu autonomicznego, budowę oraz testowanie systemów percepcji pojazdu jak i przedstawiono wyzwania w tym obszarze w tym proces etykietowania danych, przechowywania i dostępu do dużych zbiorów danych jak i proces resymulacji, które pozwala stworzyć wymaganą liczbę scenariuszy drogowych.

W **rozdziale 3** wprowadzono główny temat rozprawy doktorskiej dotyczący ewaluacji interpretacji otoczenia w tym działania modułów percepcji w samochodzie wyposażonym w systemy aktywnego bezpieczeństwa oraz stanowi przegląd literatury dotyczący metod analizy danych charakterystycznych dla testowania inteligentnej percepcji dla systemów asystujących kierowcy. Ponadto zawiera ocenę prostokątów okalających, miary oceny jakości detekcji jak i wybór odpowiedniego zbioru danych. Doktorant przedstawił również techniki wizualizacji i analizy danych za pomocą metryki Wassersteina.

W **rozdziale 4** przedstawione zostały autorskie rozwiązania dotyczące autorskie miary ewaluacji modułów percepcji dla prostokątnych regionów rozpoznania. Metodologia oceny zawiera analizę lokalnego podobieństwa w poszczególnych klatkach jak i podsumowanie ewaluacji wykrycia obiektów w czasie. W ramach rozdziału przedstawiony został wpływ miar dla różnych kalibracji. Otrzymane wyniki zostały opublikowane w pracy naukowej.

W **rozdziale 5** Doktorant opisuje eksperyment polegający na wprowadzeniu sztucznych zaburzeń do obrazu z kamery co pozwala na zbadanie wpływu degradacji danych wizyjnych na jakość działania modułu percepcji.

Rozdział 6 podejmuje tematykę analizy dużych zbiorów danych zawierających scenariusze testowe składające się ze zbiorów trajektorii opisanych w układzie współrzędnych. Doktorant wykorzystuje termiczną mapę zajętości otoczenia oraz odległości Wassersteina dwuwymiarowych rozkładów zajętości generowanych przez zawarte w scenariuszach trajektorie obiektów do porównania zbiorów danych.

W **rozdziale 7** przedstawiono wnioski końcowe z badań, przedstawiono szczegółowy wkład naukowy i otwarte problemy badawcze z rozważanej tematyki.

Bibliografia pracy jest obszerna, liczy 162 pozycje i jest poprawnie dobrana pod kątem prezentacji rozważanej w pracy problematyki.

3. Uwagi dyskusyjne i krytyczne

Podczas lektury recenzowanej rozprawy nasunęły się również pewne uwagi o charakterze dyskusyjnym. Część z nich ma naturę bardziej ogólną, a część jest szczegółowa.

Uwagi ogólne:

- Proszę o szczegółowe przedstawienie architektury wykorzystywanej do rozpoznawania prostokątów okalających?
- W pracy zdecydowanie brakuje szczegółowego opisu zbioru danych. Bardzo proszę o doprecyzowanie
- W pracy brakuje opisu sposobu podziału zbioru danych na zbiór treningowy i testowy. Uwaga dotyczy również sposobu treningu sieci dla zaproponowanych metryk statystycznych.
- Proszę o weryfikację Tabeli 4.1 oraz o szczegółowe omówienie, szczególnie przypadków skrajnych.
- W jaki sposób błąd zbioru referencyjnego wpływał na błąd metryk statystycznych?

Uwagi szczegółowe:

- W pracy w wielu miejscach występują stwierdzenia mało precyzyjne. Bardzo proszę o uszczegółowienie, co rozumiemy poprzez XXX
- Na str. 5 pojawia się określenie 'wstrzyknięcie ich na wejście'. Sformułowania w pracy powinny być techniczne i jednoznaczne.
- Str. 5 – reprezentacyjny zbiór danych
- Str. 38 – niepoprawny zapis bibliografii [84][85][86] powinno być [84-86].
- Str. 39 – proszę szczegółowo omówić podział zbioru danych i jego cel.

- Str 43 – wydaje się, że metryki 3.3.3 jak i 3.3.4 powinny być zamieszczone wcześniej. W tym rozdziale panuje chaos. Podrozdziały nie dotyczą wyboru zbioru danych.
- Str. 54 – bardzo proszę o ponowne przeanalizowanie algorytmu i przygotowanie oraz omówienie wersji zoptymalizowanej.
- Rys. 4.5. Proszę omówić przykład z uwzględnieniem zasad ruchu drogowego.

4. Ocena formalna

Od strony formalnej tekst rozprawy nie budzi większych zastrzeżeń. Praca zawiera błędy językowe, stylistyczne i interpunkcyjne. Praca napisana jest w języku polskim, zawiera błędy językowe oraz redakcyjne. Układ pracy jest jednak poprawny, w wielu miejscach nie jest jednak spójny logicznie.

5. Osiągnięcia

Uwagi dyskusyjne przedstawione w punktach 3-4 w żadnym wypadku nie umniejszają wartości naukowej ocenianej pracy. Uważam, że praca opisuje bardzo obszerny i oryginalny dorobek naukowy Doktoranta w dyscyplinie AEEiTK. Badania zostały opisane i opublikowane w kilku znaczących czasopismach.

6. Podsumowanie

Zakres i poziom naukowy uzyskanych wyników badawczych odpowiadają w pełni ustawowym i zwyczajowym wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim określonym w ustawie z dn. 20 lipca 2018 r (Dz. U. Nr Dz.U.2022.574, z późn. zm.) Prawa o szkolnictwie wyższym i nauce. Wnioskuje zatem do Wysokiej Komisji powołanej przez Radę Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Śląskiej o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej Autora, mgr inż. Pawła Kowalczyka do publicznej obrony.