

Dr hab. inż. Paweł Skruch, prof. AGH

Katedra Automatyki i Robotyki

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

Al. Mickiewicza 30/B1, 30-059 Kraków

E-mail: pawel.skruch@agh.edu.pl

Kraków, dn. 20 grudnia 2021r.



PRZEWODNICZĄCY RADY DYSCYPLINY
Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika

prof. dr hab. inż. Wojciech Szela

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Karola Piniarskiego pt. „Highly efficient night-vision pedestrian detection based on thermal images”

I. Podstawa opracowania recenzji

Niniejsza recenzja dotyczy rozprawy doktorskiej mgr. inż. Karola Piniarskiego zatytułowanej „Highly efficient night vision pedestrian detection based on thermal images” w dyscyplinie naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika. Promotorem opiniowanej rozprawy doktorskiej jest prof. dr hab. inż. Adam Dąbrowski, a promotorem pomocniczym dr inż. Paweł Pawłowski. Recenzję opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki Politechniki Poznańskiej prof. dr hab. inż. Wojciecha Szela działającego na podstawie Uchwały nr 03/2021-2022 Rady dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika z dnia 20 października 2021 r. w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej mgr. inż. Karola Piniarskiego.

II. Ocena oryginalności problemu badawczego podjętego w rozprawie i jego znaczenia dla rozwoju dyscypliny

Rozprawa doktorska dotyczy zagadnienia detekcji i klasyfikacji pieszych na obrazach termowizyjnych. Jest to problem badawczy z obszaru percepcji, który polega na rejestracji i interpretacji danych uzyskanych z systemu sensorycznego w celu zrozumienia obserwowanego zjawiska. Algorytmy percepcji wpisują się w jeden z dominujących trendów w branży motoryzacyjnej dotyczących opracowania systemów bezpieczeństwa, które w swojej docelowej postaci w samochodach w pełni zautomatyzowanych mają realizować tzw. wizję zerowej liczby wypadków drogowych. Percepcja w pojazdach w głównej mierze bazuje na czujnikach wizyjnych, radarowych, lidarowych i ultradźwiękowych. Algorytmy percepcji otoczenia pojazdu powinny się charakteryzować wysoką niezawodnością, gdyż w oparciu o uzyskane dane są podejmowane decyzje krytyczne pod względem bezpieczeństwa. Szczególnie dużym wyzwaniem jest opracowanie algorytmów, które będą działały niezawodnie w trudnych warunkach środowiskowych, np. w nocy, w mgie, itp. Słaba widoczność wymusza stosowanie dodatkowych czujników, które mają zapewnić podobny poziom niezawodności systemu percepcyjnego pojazdu jak w przypadku dobrych warunków pracy. Jednym z takich czujników są kamery termowizyjne, które są już stosowane w seryjnie produkowanych pojazdach. Dodatkowo, ze względu na specyfikę przemysłu motoryzacyjnego, algorytmy przetwarzania danych muszą być implementowalne na platformach czasu rzeczywistego o ograniczonych zasobach

sprzętowych. Te wymagania powodują, że czasami algorytmy charakteryzujące się dobrymi wskaźnikami jakościowymi nie mają zastosowania w branży motoryzacyjnej ze względu na duże wymagania pod względem mocy obliczeniowej i zasobów pamięciowych. W tym kontekście motywacja Autora pracy związana z osiągnięciem wysokiej wydajności procesu detekcji pieszych przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej dokładności wpisuje się w specyfikę branży motoryzacyjnej.

W kontekście nowych trendów rozwojowych obowiązujących w branży motoryzacyjnej oraz specyfiki dotyczących projektowanych rozwiązań algorytmicznych tematyka badawcza poruszana w rozprawie doktorskiej bardzo dobrze wpisuje się w te trendy i odpowiada na aktualne potrzeby przemysłu samochodowego. Należy zatem jednoznacznie stwierdzić, że problem badawczy podjęty w rozprawie wykazuje duże cechy oryginalności i innowacyjności w skali międzynarodowej oraz ma duży potencjał dla rozwoju dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika.

III. Ocena poprawności i kompletności celów oraz hipotez badawczych

Autor rozprawy doktorskiej stawia tezę naukową, że odpowiednio dobrany proces ekstrakcji obszaru zainteresowania opierający się na progowaniu obrazów termowizyjnych oraz odpowiednio dostrojona procedura klasyfikacji obiektów poprawiają dokładność detekcji pieszych w nocy i znacząco zwiększają wydajność obliczeniową algorytmów percepcji. Usprawnienia odnoszą się do innych rozwiązań opisanych w literaturze stanowiących aktualny stan wiedzy w obszarze przetwarzania obrazów termowizyjnych. Na podstawie tak nakreślonej hipotezy badawczej Autor formułuje główny cel pracy, który polega na analizie i opracowaniu automatycznego mechanizmu detekcji pieszych na obrazach termowizyjnych rejestrowanych w nocy. Mechanizm ten powinien charakteryzować się wysoką wydajnością procesu detekcji pieszych przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej dokładności. Tak sformułowany cel badawczy ma umożliwić implementację opracowanych rozwiązań na platformach sprzętowych czasu rzeczywistego mających zastosowanie w systemach percepcji w automatyce pojazdowej.

Stwierdzam, że zarówno hipoteza badawcza jak i główny cel rozprawy są sformułowane w sposób jednoznaczny oraz umożliwiający ich weryfikację za pomocą mierzalnych wskaźników. W kontekście głównych trendów rozwojowych obowiązujących aktualnie w branży motoryzacyjnej, przedstawiona teza i cel są ważnym elementem rozwoju technologii systemów aktywnego bezpieczeństwa odpowiadającym na zapotrzebowania rynku.

IV. Ocena poprawności struktury rozprawy

Rozprawa doktorska składa się z ośmiu głównych rozdziałów oraz spisu literatury zajmujących łącznie 122 strony. Na początku pracy Autor umieścił spis skrótów oraz symboli stosowanych w rozprawie oraz krótkie jednostronicowe streszczenie w języku polskim i angielskim. Pierwszy rozdział zawiera zwięzłe wprowadzenie w zagadnienie badawcze będące przedmiotem dysertacji. Rozdział drugi stanowi przegląd aktualnego stanu wiedzy w zakresie analizy obrazów termowizyjnych. W tym rozdziale są również scharakteryzowane publiczne zbiory danych, które zostały wykorzystane w eksperymentach. Rozdział trzeci zawiera opis algorytmu ekstrakcji obszaru zainteresowania w procesie detekcji pieszych, a w rozdziale czwartym została przedstawiona metoda korekcji wyodrębnionego obszaru. Rozdział czwarty jest trochę pod względem objętościowym za krótki w porównaniu do innych rozdziałów. Rozdział piąty opisuje procedurę dostrajania etapu klasyfikacji obiektów według zaproponowanego kryterium jakości. Analiza uzyskanych wyników eksperymentalnych w kontekście

aktualnego stanu wiedzy jest przedmiotem rozdziału szóstego. Rozdział siódmy pracy to opis możliwości wykorzystania zaproponowanych rozwiązań w systemach monitoringu. Rozdział 8 zawiera podsumowanie.

Kolejność rozdziałów rozprawy doktorskiej jest poprawna i odzwierciedla ona właściwą metodologię prowadzenia badań naukowych, w której po sformułowaniu hipotezy badawczej jest przedstawiony i dokładnie opisany schemat postępowania mający na celu sprawdzenie jej prawdziwości. Weryfikacja postawionej hipotezy badawczej jest przeprowadzana przez szereg eksperymentów, które potwierdzają istnienie problemu badawczego oraz które służą do pozyskania odpowiednich danych. W oparciu o uzyskane dane przeprowadzana jest następnie analiza ilościowa i jakościowa oraz proponowane są rozwiązania postawionego problemu badawczego. Proporcje pomiędzy poszczególnymi rozdziałami są właściwe biorąc pod uwagę ich merytoryczną zawartość (rozdział czwarty mógłby być trochę bardziej rozbudowany). Praca zawiera również poprawnie sformułowane założenia metodologiczne, w tym właściwy opis metod, technik i wykorzystywanych narzędzi badawczych.

V. Ocena znajomości metodologii badań oraz przyjętych i zastosowanych metod badawczych

Metodologia badań opisanych w rozprawie doktorskiej opiera się w głównej mierze na eksperymentach, w których weryfikowany jest ilościowo i jakościowo mechanizm detekcji pieszych na obrazach termowizyjnych. W eksperymentach Autor korzysta z otwartych zbiorów danych, które zostały scharakteryzowane w rozdziale 2.2. W mechanizmie detekcji pieszych są wykorzystane znane metody wykrywania takie jak histogram zorientowanych gradientów (*Histogram of Oriented Gradients* - HOG), metoda wektorów nośnych (*Support Vector Machine* – SVM), metoda *Aggregated Channel Feature* (ACF) oraz głębokie sieci konwolucyjne. W obszarze uczenia maszynowego kluczowe techniki opierają się na uczeniu nadzorowanym, stąd konieczność posiadania reprezentatywnych zbiorów uczących, testowych i walidacyjnych. Techniki uczenia nadzorowanego zostały zastosowane także do struktur głębokich. Analiza wyników eksperymentalnych została wykonana pod kątem wskaźników jakościowych uwzględniających dokładność procesu detekcji oraz zużycie zasobów systemowych w tym czasu obliczeń. Ten ostatni aspekt jest szczególnie istotny pod kątem efektywnej implementacji rozwiązań na platformach wbudowanych o ograniczonych zasobach. Metodologia prowadzenia prac eksperymentalnych jest również ukierunkowana na znalezienie rozwiązań suboptymalnych w sensie zdefiniowanych wskaźników jakości. Dodatkowo, w rozdziale siódmym został opisany eksperyment dotyczący możliwości wykorzystania obrazowania wielospektralnego przez operatorów monitoringu. Eksperyment został wykonany na grupie osób (studentów i pracowników) i miał na celu określenie czasu reakcji w manualnej identyfikacji pieszych w nocy. **Należy zatem stwierdzić, że Autor rozprawy właściwie dobrał metodologię badawczą do rozwiązania postawionego problemu badawczego, poprawnie wybrał, a następnie zastosował opisane powyżej metody badawcze oraz wykazał się ich dobrą znajomością zarówno pod względem teoretycznym jak i aplikacyjnym.**

VI. Ocena stopnia zaawansowania zawartej w rozprawie wiedzy teoretycznej z zakresu automatyki, elektroniki i elektrotechniki

Rozprawa doktorska ma w przeważającym stopniu charakter koncepcyjno-aplikacyjny, gdzie nabyta przez Autora rozprawy wiedza teoretyczna z widzenia maszynowego została wykorzystana do opracowania automatycznego mechanizmu detekcji pieszych na obrazach rejestrowanych przez kamery termowizyjne. **W tym kontekście stopień zaawansowania zawartej w rozprawie wiedzy**

teoretycznej z dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika należy ocenić jako zadowalający i wystarczający z punktu widzenia rozwiązywanego problemu badawczego. Problem badawczy będący przedmiotem rozprawy doktorskiej jest poprawnie zdefiniowany przy wykorzystaniu właściwego formalizmu stosowanego w przetwarzaniu obrazów. Schematy przetwarzania danych wejściowych uzyskanych z kamer termowizyjnych są poprawne i czytelne. Autor stosuje właściwą nomenklaturę, poprawnie definiuje wskaźniki jakościowe, przeprowadza eksperymenty w sposób umożliwiający uzyskanie miarodajnych wyników niezbędnych do weryfikacji postawionych hipotez badawczych.

VII. Ocena umiejętności poprawnego przedstawienia uzyskanych przez doktoranta wyników

Autor rozprawy przykładą dużo uwagi do poprawnej weryfikacji przyjętych hipotez i zakładanych celów badawczych. Wnioski wynikające z analizy uzyskanych wyników eksperymentalnych są przedstawione w sposób jasny i zwięzły. Zestawienie wyników w postaci tabel, schematów i rysunków jest dodatkowo opisywane i wyjaśniane w tekście rozprawy, co miejscami jest dobrą praktyką, ze względu na ich wielowymiarowy i wieloaspektowy charakter. Na szczególną uwagę zasługuje prezentacja wyników działania poszczególnych etapów mechanizmu detekcji pieszych na obrazach termowizyjnych. Należy także podkreślić, że obszernie rozdziały kończą się zwięzłym podsumowaniem uzyskanych wyników i przeprowadzonej analizy co świadczy o umiejętności Autora rozprawy podsumowywania wyników badań. **Recenzent stwierdza zatem, że doktorant opanował w stopniu bardzo dobrym umiejętność poprawnego przedstawiania wyników badań i opracowywania tekstu technicznego.**

VIII. Ocena formalnej strony rozprawy

Rozprawa doktorska jest napisana starannie, poprawnie pod względem językowym i stylistycznym. Przedstawiony przez Autora układ pracy jest logiczny i przejrzysty. Recenzent nie zauważył podczas czytania pracy większych i systematycznych błędów. Pod względem redakcyjnym w kilku miejscach dają się zauważyć małe uchybienia, które zostały opisane w uwagach szczegółowych. Uchybienie te są związane m.in. z formatowaniem tekstu i nie mają one dużego wpływu na ogólne wrażenie dotyczące natury redakcyjnej pracy, które należy ocenić bardzo pozytywnie. **Przypisy, tabele, wykresy oraz bibliografia są sporządzone prawidłowo.**

IX. Ocena znajomości, doboru, analizy i interpretacji wykorzystywanych w rozprawie źródeł literaturowych

Spis literaturowy obejmuje w sumie 105 pozycji, gdzie 42 stanowią artykuły opublikowane w czasopiśmie, 37 to materiały konferencyjne, 19 to materiały elektroniczne w tym odwołania do stron internetowych, 6 to pozycje książkowe, 1 pozycja to patent amerykański. Przegląd literatury w kontekście postawionych hipotez i celów badawczych jest zawarty w rozdziale drugim. Autor rozprawy poprawnie też odwołuje się do źródeł literaturowych w kolejnych rozdziałach pracy. Należy nadmienić, że **spis literatury zawiera pozycje stosunkowo nowe, przeważająca ich ilość obejmuje okres ostatnich 10 lat**, część pozycji literaturowych została opublikowana nawet w roku 2021. Do wszystkich wymienionych pozycji w spisie literatury są odwołania w tekście. **Przedstawiony przez Autora spis literatury należy uznać za obszerny reprezentujący obecny stan wiedzy.**

W spisie literatury znajdują się 3 pozycje, w których jednym z wymienionych autorów jest Autor recenzowanej pracy doktorskiej. Publikacje Autora rozprawy przedstawione w spisie pochodzą z okresu od 2015 do 2016 roku. Jedną z nich to publikacja w recenzowanym czasopiśmie (*Computational Methods in Science and Technology*), dwie pozostałe to prace opublikowane w materiałach konferencyjnych (*Signal Processing: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (SPA)*). Te pozycje pokrywają się z tematyką pracy. Brakuje publikacji Autora z ostatnich 5 lat.

X. Wskazanie oryginalnych osiągnięć

Autor rozprawy w ramach realizacji postawionych celów badawczych uzyskał nowe, oryginalne i wyróżniające rezultaty, do których zaliczam:

- (1) Opracowanie algorytmu wyodrębniania obszarów zainteresowań (ang. *region of interest*) za pomocą wielokrotnego progowania dla obrazów termowizyjnych pod kątem detekcji pieszych;**
- (2) Metodę korekcji wyodrębnionego obszaru w celu lepszego dopasowania kształtu wykrywanego obiektu oraz zwiększenia jakości klasyfikacji;**
- (3) Procedurę dostrajania procesu klasyfikacji pieszych, która polega na odpowiednim doborze rozdzielczości wyselekcjonowanych obszarów zainteresowań w celu minimalizacji jednowymiarowego wskaźnika jakości będącego sumą ważoną dokładności klasyfikacji i czasu obliczeń;**
- (4) Zdefiniowanie mierzalnych wskaźników jakości pozwalających ocenić mechanizm detekcji pieszych pod kątem oczekiwań przemysłu motoryzacyjnego.**

XI. Uwagi i komentarze

Po przeczytaniu rozprawy doktorskiej nasuwają się następujące uwagi ogólne:

- (1) Elementem podsumowującym i wieńczącym prace badawczo-rozwojowe przeprowadzone przez Autora byłoby przygotowanie demonstratora technologii detekcji pieszych na obrazach termowizyjnych w czasie rzeczywistym. Ten etap, który stanowiłby efekt finalny prowadzonych badań niestety nie został opisany w recenzowanej pracy.
- (2) Uzyskane wartości jakości klasyfikacji reprezentowanej przez wskaźnik *MR* są na poziomie większym niż 10% dla zbiorów CVC-14 oraz KAIST. Powodem takiego stanu rzeczy są, według Autora, wyniki fałszywie dodatnie na poziomie klasyfikatora. Tutaj powstaje pytanie w jaki sposób można by poprawić te wskaźniki, aby zwiększyć potencjał aplikacyjny prezentowanych rozwiązań.
- (3) Jedną z konkluzji z przeprowadzonych badań w rozprawie doktorskiej powinno być wskazanie, w jaki sposób, zdaniem Autora, przeprowadzać fuzję danych z innymi czujnikami (tj. radarami, kamerami, lidarami), aby zwiększyć niezawodność algorytmów percepcji w systemach jazdy zautomatyzowanej;

(4) Wartościowym uzupełnieniem treści rozprawy byłaby analiza bezpieczeństwa tzw. zamierzonej funkcjonalności zgodnie z nową normą obowiązującą w przemyśle motoryzacyjnym *ISO/PAS 21448:2019(E): Road vehicles — Safety of the intended functionality*. Pewne elementy tej analizy zostały przedstawione w rozprawie, nie mniej jednak formalnie to podejście nie zostało zastosowane.

Podczas czytania pracy nasunęły się następujące uwagi szczegółowe:

- (1) Strona 6: niewłaściwe formatowanie numeru rozdziału 1.3;
- (2) Strona 20: pierwsze dwa zdania w pierwszym paragrafie są stylistycznie niepoprawne;
- (3) Strona 24: wzór (5) jest niepoprawnie zapisany gdyż sumujemy wartości od $T + 1$ do T ;
- (4) Strona 25: wzór (7) jest niepoprawnie zapisany gdyż sumujemy wartości od $T + 1$ do T ;
- (5) Strona 26: notacja wykorzystana we wzorze (11) nie jest czytelna.
- (6) Strona 41: niewłaściwe formatowanie „Table 6Table 5”;
- (7) Strona 42: wskaźniki (32)-(36) można by zapisać w sposób bardziej formalny;
- (8) Strona 50: niewłaściwe formatowanie „Table 16Table 6”;
- (9) Strona 64: niewłaściwe formatowanie „Figure31Figure 32”;
- (10) Strona 69: brakuje informacji jak wyliczać nowe współrzędne przeskalowanego obszaru za pomocą wzorów (37)-(40) jeżeli wychodzimy poza obraz;
- (11) Strona 75: brakuje numeru odnośnika „[ref]”;
- (12) Strona 83: „(a in formuła (20))” – we wzorze (20) nie występuje zmienna „a”.

Powyższe uwagi mają charakter redakcyjny oraz dyskusyjny i nie podważają istoty pracy, którą oceniam wysoko.

XII. Ocena ogólna i wnioski końcowe

Stwierdzam, że sformułowany przez Autora główny cel pracy został osiągnięty, a postawiona teza rozprawy w pełni udowodniona. Rozprawa doktorska stanowi zwartą przemyślaną całość. Autor jasno przedstawia zasadnicze rezultaty rozprawy, które poparte są dobrze udokumentowanymi wynikami eksperymentalnymi. Tutaj także podkreślić, że Autor pracy w swoich badaniach uwzględnił specyficzne wymagania branży motoryzacyjnej związane z implementacją algorytmów percepcji na platformach sprzętowych o ograniczonych zasobach. Struktura wewnętrzna pracy, logiczna kolejność poszczególnych rozdziałów i podrozdziałów oraz powołań literaturowe nie budzą żadnych zastrzeżeń. Stosowane w pracy nazewnictwo i oznaczenia są poprawne, zgodne z ogólnie przyjętymi w specjalistycznej literaturze z obszaru automatyki, elektroniki i elektrotechniki. Praca jest napisana bardzo starannie i poprawnie redakcyjnie. Podkreślam również charakter praktyczny pracy oraz potencjał aplikacyjny uzyskanych wyników.

Recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Karola Piniarskiego spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w obowiązujących przepisach.

Wnoszę o przyjęcie rozprawy oraz jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Dodatkowo wnioskuję o wyróżnienie rozprawy ze względu na to, że jej wyniki mają dużą wagę naukową i potencjał aplikacyjny w wymagającej branży motoryzacyjnej.



Paweł Skruch