Dr hab. inż. Piotr Kawalec, prof. PW
Wydział Transportu PW
ul. Koszykowa 75
00-665 Warszawa

Warszawa, dn. 12 listopada 2018 r.

RECENZJA

ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

MGRA INŻ. MARCINA KŁOSA

DLA

RADY WYDZIAŁU TRANSPORTU

POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

TYTUŁ ROZPRAWY:

METODA OKREŚLANIA PARAMETRÓW RUCHU NA PODSTAWIE TRANSFOTMACJI STRUMIENIA WIDEO OBRAZU SYTUACJI DROGOWEJ

AUTOR ROZPRAWY: **MGR INŻ. MARCIN KŁOS**

PROMOTOR: **DR HAB. INŻ. WIESŁAW PAMUŁA, PROF. PŚ**

Recenzję opracowano na podstawie pisma Dziekana Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej, dr hab. inż. Piotra Folęgi, prof. PŚ, z dn. 17 września 2018 roku.

1. Ogólna charakterystyka pracy

Opiniowana rozprawa doktorska zawiera 118 stron, podzielonych na 7 rozdziałów, w tym wprowadzenie oraz ocenę uzyskanych wyników. Do tekstu głównego dołączono bibliografię obejmującą 89 pozycji oraz spisy rysunków i tabel. Podział treści pracy na rozdziały i kolejność rozdziałów można uznać za poprawne.

W rozdziale pierwszym stanowiącym wprowadzenie do pracy, Autor prezentuje podstawowe problemy związane ze sterowaniem ruchem drogowym. Doktorant słusznie stwierdza, że na podstawie podstawowych parametrów ruchu drogowego takich jak: natężenie, gęstość i prędkość pojazdów, możliwa jest ocena warunków ruchu oraz realizacja metod sterowania tym ruchem. Przy czym parametry ruchu wyznaczane są w sposób pośredni na podstawie wykrycia pojazdów, bądź kolejek pojazdów, przy pomocy różnego rodzaju detektorów. Autor dokonał porównania własności różnych rodzajów detektorów, po czym

skupił się na wideo detektorach, prezentując stosowane obecnie rozwiązania, oraz stwierdzając na podstawie analizy literatury, że średni błąd pomiarowy takich detektorów wynosi około 10 %, dla niezakłóconych warunków atmosferycznych. Doktorant twierdzi, że przedmiotem pracy jest opracowanie metody odwzorowania parametrów ruchu drogowego z wykorzystaniem transformaty 3D strumienia wideo obrazu sytuacji drogowej, wskazując że tego typu badania, uwzględniające oprócz przekroju również czas obserwacji, znajdują się w fazie początkowej.

Rozdział drugi poświęcono prezentacji celów, tezy i zakresu pracy. Fakt sformułowania zarówno celu naukowego jak i utylitarnego, oceniam pozytywnie, bowiem Autor nie tylko dąży do opracowania algorytmu odwzorowania parametrów ruchu drogowego ze strumienia wideo poprzez jego transformację, lecz również do próby implementacji tego algorytmu w budowanym wideo detektorze. Podanie konkretnej firmy wdrażającej (ZIR–SSR Bytom) oraz konkretnych platform układowych (FPGA oraz SoC), wskazuje, że podane cele są realne i osiągalne. Postawiona w pracy teza „Dyskretna transformacja falkowa strumienia wideo obrazu sytuacji drogowej pozwala odwzorować parametry ruchu" nie budzi sprzeciwu, bowiem ruch drogowy co do zasady jest niestacjonarny, a więc wykorzystanie transformacji falkowej do przetwarzania strumienia wideo jest celowe. Jeśli Autor potwierdzi jeszcze zasadność takiego podejścia to teza będzie do obronienia. Przedstawienie zakresu pracy w postaci konkretnych pytań i precyzyjnych hipotez badawczych jednoznacznie wskazuje etapy badań i oczekiwane efekty, pozwalając na ich niezwykle zwartą prezentację.

W rozdziale trzecim dokonano przeglądu stosowanych obecnie wideo detektorów, działających na podstawie wykrywania zmian treści obrazu, analizując urządzenia Autoscope i Traficam. Autor słusznie stwierdza, że w urządzeniach tych zastosowano algorytmy wykorzystujące analizę statystyczną wartości pikseli, co jest proste obliczeniowo, lecz mało efektywne w zmiennych warunkach oświetleniowych. Dla wyodrębnienia pojazdów konieczne jest zastosowanie metod rozpoznawania obrazów. Doktorant przestawił w pracy analizę metod rozpoznawania obrazów, wskazując na zalety wykorzystania do tego celu transformaty falkowej, która umożliwia lokalizację obiektów na analizowanym obrazie, przy stosunkowo małej złożoności obliczeniowej.

Prezentując metodę odwzorowania parametrów ruchu z użyciem transformacji strumienia wideo sytuacji drogowej, Doktorant na podstawie fundamentalnego wykresu ruchu oraz trójfazowego modelu ruch drogowego, przeanalizował zależności między podstawowymi parametrami ruchu drogowego oraz wpływ tych parametrów na algorytmy sterowania ruchem na skrzyżowaniach. Następnie przedstawił dwie autorskie wersje metody odwzorowania

parametrów ruchu z użyciem transformacji strumienia wideo nazwane: ZPD – zajętości pola detekcyjnego, oraz OPR – obrazu pasa ruchu. W wersji zajętości pola detekcyjnego ZPD Autor zastosował falkowy detektor przejazdu, rejestrujący wjazdy i wyjazdy pojazdów z zadanego pola detekcji na obrazie. Parametry ruchu (natężenie ruchu, średnia prędkość oraz gęstość ruchu) obliczane są pośrednio przez odwzorowanie funkcji przemieszczania się pojazdów. W przypadku obrazu pasa ruchu OPR parametry ruchu drogowego (natężenie oraz gęstość ruchu) obliczane są bezpośrednio z użyciem sumy ważonych współczynników transformaty.

Rozdział piąty poświęcono walidacji opracowanej metody odwzorowania parametrów z wykorzystaniem transformat strumienia wideo. Opisane zostały wyniki eksperymentalnej walidacji opracowanej metody z wykorzystaniem filmów testowych zarejestrowanych na różnych stanowiskach pomiarowych. Do badań wycięto fragmenty filmów o długości 200 tysięcy klatek, przy czym każdy fragment obejmuje zaobserwowany poranny szczyt ruchu. Autor stwierdza, że walidację metody przeprowadził w środowisku programowym przeznaczonym do obliczeń statystycznych i analiz numerycznych. Porównanie zmierzonych wartości natężenia ruchu drogowego z wartościami obliczonymi z użyciem poszczególnych transformat falkowych dla wersji ZPD i POR przedstawiono w postaci wykresów. W analogicznej formie przedstawiono zmierzone i obliczone wartości gęstości ruchu drogowego.

W rozdziale szóstym na sześciu stronach przedstawiono koncepcję sprzętowej implementacji metody odwzorowania parametrów ruchu. Zasadna wydaje się propozycja realizacji operacji filtrowania w schemacie liftingu niż z użyciem splotu. Zasygnalizowane sposoby implementacji opracowanych algorytmów pozostają na poziomie rozważań wstępnych i świadczą, że problemy realizacji tej metody wyznaczania parametrów ruchu drogowego w czasie rzeczywistym nie wyszły jeszcze poza fazę rozważań wstępnych.

Siódmy rozdział poświęcony jest ocenie wyników pracy, gdzie w postaci tabel przedstawiono wyniki odwzorowania natężeń ruchu i jego gęstości dla różnych rodzajów transformacji falkowej zarówno dla skrzyżowań ulic jak i dla dróg wielopasowych.

2. Problematyka i aktualność rozprawy

Adaptacyjne algorytmy sterowania ruchem drogowym stosowane zarówno na skrzyżowaniach odosobnionych jak i w sterowaniu obszarowym, wymagają prowadzenia pomiarów ruchu zarówno na poziomie lokalnym jak i systemowym. Jednym ze źródeł danych o stanie ruchu w obszarze sterowanym mogą być kamery i wideo rejestratory instalowane dla

potrzeb monitorowania i zarządzania ruchem. W sytuacji gdy w kilkunastu miastach kraju tworzone są inteligentne systemy transportowe ITS wyposażone w takie urządzenia, tematykę rozprawy, poświęconej określaniu parametrów ruchu z wykorzystaniem strumienia wideo obrazu sytuacji drogowej, należy uznać za bardzo ważną i niezwykle aktualną. Bowiem opracowanie takiej metody pozwoli na wykorzystanie generowanych w systemie ITS strumieni wideo nie tylko do obserwacji i zarządzania ruchem, lecz również, dzięki uzyskaniu ilościowych miar parametrów ruchu drogowego, do wpływania na realizację sterowania zarówno na poszczególnych skrzyżowaniach jak i w obszarze sterowanym.

Dzięki zastosowaniu transformacji falkowej 3D, możliwe jest odzwierciedlenie w obliczanych parametrach ruchu tak ważnej cechy potoków ruchu jaką jest niestacjonarność strumienia pojazdów. Ponieważ błąd pomiarowy wideo detektorów wynosi około 10 %, Autor bardzo słusznie wskazał na przydatność do wyznaczania parametrów ruchu ze strumienia wideo takie falki i takie współczynniki transformacji, które zapewnią uzyskanie porównywalnych wartości błędów odwzorowania tych parametrów.

Aby jednak obliczone parametry ruchu drogowego mogły być wykorzystane w algorytmach sterowania zarówno lokalnego jak i obszarowego na bieżąco, muszą być one wyznaczane w czasie rzeczywistym. Dlatego tak ważne jest stwierdzenie Autora, że zaletą proponowanej metody jest uzyskanie porównywalnych lub nieco mniejszych błędów niż w stosowanych urządzeniach, przy mniejszych nakładach obliczeniowych.

3. Mocne strony rozprawy

Rozprawa ma charakter zarówno naukowy jak i utylitarny, autor posiada głęboką wiedzę w zakresie rozpoznawania obrazów oraz różnego rodzaju transformacji strumienia wideo, wykazuje się dobrą znajomością metod symulacji komputerowej oraz metodyk przeprowadzania eksperymentów badawczych. Do istotnych osiągnięć autora zaliczam:

1. Opracowanie autorskiej metody odwzorowania parametrów ruchu drogowego z użyciem transformacji strumienia wideo w dwóch wariantach: zajętości pola detekcyjnego ZPD oraz obrazu pasa ruchu OPR.
2. Zastosowanie dyskretnej trójwymiarowej transformacji falkowej do odwzorowania parametrów ruchu drogowego.
3. Przeprowadzenie walidacji opracowanej metody dla reprezentatywnych różnorodnych warunków pogodowych.
4. Umiejętność klarownego przedstawiania złożonych problemów, oraz jasnego

formułowania hipotez badawczych.

5. Opracowanie koncepcji implementacji opracowanych algorytmów wyznaczania parametrów ruchu zarówno w wersji sprzętowej w układach FPGA jak i w wersji hybrydowej w układach SoC.
6. Rozpoczęcie prac wdrożeniowych, wspólnie z ZIR–SSR Bytom, polegających na zastosowaniu opracowanej metody w nowo budowanym wideo detektorze.

4. Lista uwag krytycznych i dyskusyjnych

Proszę Autora o ustosunkowanie się i udzielenie odpowiedzi na następujące uwagi krytyczne i dyskusyjne związane z pracą:

1. W sterowaniu ruchem drogowym wyróżnia się metody sterowania niezależne od ruchu (sterowanie cykliczne) oraz sterowanie zależne od ruchu (sterowanie adaptacyjne). Wymieniane niekiedy sterowanie akomodacyjne traktowane jest zwykle jako częściowo adaptacyjne. Natomiast na str. 10 Autor stwierdza że „Metody oparte na sterowaniu akomodacyjnym cechują się najwyższymi wymaganiami pomiarowymi". ?
2. W tabeli 1.1 (str. 11) Autor jako cechy pomiarowe tylko dla detektora optycznego napisał „Pozwala na realizację pomiarów parametrów ruchu drogowego dla algorytmów sterowania". Czyżby pozostałe wymienione rodzaje detektorów (w tym indukcyjny !) na to nie pozwalały ?
3. Proszę o wyjaśnienie problemów związanych z wyznaczaniem parametrów ruchu drogowego w czasie rzeczywistym przy pomocy wideo detektorów ze szczególnym uwzględnieniem proponowanej przez Autora metody określania parametrów ruchu na podstawie transformacji strumienia wideo obrazu sytuacji drogowej.
4. W pracy koncepcja sprzętowej implementacji metody odwzorowania parametrów ruchu zarówno w układach FPGA jak i SoC została tylko zasygnalizowana, proszę Autora o ewentualne przedstawienie wyników syntezy (wykorzystanie zasobów oraz uzyskane parametrów czasowe) przy tych realizacjach. Proszę również o przedstawienie czy jakieś inne możliwości implementacji były analizowane.

5. Wniosek końcowy

Przytoczone uwagi mają w części charakter dyskusyjny i szczegółowy, nie zmieniając pozytywnej, ogólnej oceny merytorycznej rozprawy doktorskiej. Zakres i poziom uzyskanych

wyników badawczych odpowiada ustawowym i zwyczajowym wymaganiom stawianym rozprawom na stopień doktora nauk technicznych.

Wnioskuję zatem do Rady Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej Autora mgr. inż. Marcina Kłosa do jej publicznej obrony w dyscyplinie naukowej transport.