WYDZIAŁ AUTOMATYKI,
ROBOTYKI I I ELEKTROTECHNIKI
POLITECHNIKA POZNAŃSKA
28 -01- 2022
WPŁYNĘŁO

Łódź, dnia 10 stycznia 2022 r.

Prof. dr hab. inż. Bogusław Więcek
Politechnika Łódzka
Wydział Elektrotechniki, Elektroniki,
Informatyki i Automatyki
Instytut Elektroniki

PRZEWODNICZĄCY RADY DYSCYPLINY
Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika
prof. dr hab. inż. Wojciech Szeląg

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgra inż. Karola Piniarskiego pod tytułem.:
„Highly efficient night-vision pedestrian detection based on thermal images"

1. Uwagi ogólne

Recenzja rozprawy doktorskiej mgra inż. Karola Piniarskiego została przygotowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Poznańskiej z dn. 10 listopada 2021 r.

Recenzję wykonano na postawie przedłożonej rozprawy doktorskiej pt. „Highly efficient night-vision pedestrian detection based on thermal images" zgodnie z wymogami § 3 ust. 1 pkt 2 rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. „*W sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora*" (Dz. U. z dnia 30 stycznia 2018 r. poz. 261). Rozprawa została wykonana w dyscyplinie naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika.

Rozprawa doktorska mgra inż. Karola Piniarskiego dotyczy analizy i przetwarzania obrazów termowizyjnych w celu detekcji postaci ludzkich w środowisku ulicznym w warunkach nocnych przy braku promieniowania elektromagnetycznego w widzialnym zakresie widma.

Rozprawa liczy 122 strony i składa się z 8 rozdziałów. Struktura dysertacji zawiera wstęp, opis stanu wiedzy, rozdziały przedstawiające metody segmentacji obrazów i wyboru obszaru zainteresowania oraz metody detekcji przy zastosowaniu algorytmów klasyfikacji, wyniki eksperymentów oraz podsumowanie.

Rozprawa napisana jest w języku angielskim w sposób jasny, poprawny językowo i znacznej części wyczerpująco. Dysertacja zawiera 57 rysunków i 48 tablic, które dobrze korelują z opisem i uławiają zrozumienie treści i ocenę postawionych wniosków.

2. Ocena tematyki oraz celu rozprawy

Tematyka naukowa rozwijana przez Doktoranta w rozprawie jest aktualna i ważna, szczególnie z praktycznego punktu widzenia. Ze względu rosnącą liczbę pojazdów, detekcja osób w warunkach ograniczonej widoczności po zmierzchu jest ważnym problemem technicznym, wciąż nie do końca rozwiązanym. W wielu ośrodkach naukowych w kraju i zagranicą tematyka ta jest podejmowana, a proponowane rozwiązania aplikują systemy obrazowe działające w różnych zakresach spektralnych promieniowania elektromagnetycznego. Ze względu na postęp technologiczny i upowszechnienie systemów termowizyjnych, wybór pasma podczerwieni do rejestracji i przetwarzania obrazów osób w warunkach ulicznych w nocy jest jak najbardziej uzasadniony.

Celem dysertacji mgra inż. Karola Piniarskiego jest opracowanie algorytmu detekcji osób na obrazach termowizyjnych w złożonym środowisku, w którym występują inne obiekty emitujące promieniowanie w zakresie widzialnym i w podczerwieni. Podobne algorytmy zostały opracowane w innych ośrodkach, o czym wspomina Autor w przeglądzie stanu wiedzy. Dodatkowym kryterium projektowym zaproponowanej nowej metody detekcji osób w ruchu

ulicznym było zredukowanie złożoności obliczeniowej algorytmu tak, by można go stosować w systemach czasu rzeczywistego.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Mgr inż. Karol Piniarski opracował oryginalną metodę detekcji osób w złożonym środowisku ulicznym w obecności innych obiektów, o kształcie często zbliżonym do kształtu postaci człowieka, w warunkach braku promieniowania w zakresie widzialnym. Do zrealizowania celu rozprawy Doktorant zastosował obrazy z kamer pracujących w paśmie podczerwieni termalnej. Kamera taka zapewnia rejestrację obrazów w paśmie długości fali promieniowania elektromagnetycznego powyżej 3 μm, a przez to umożliwia uzyskanie kontrastowych obrazów osób obserwowanych nocą.

Doktorant postawił w tezę

„The developed approach of nightvision pedestrian detection based on proposed ROI generation by thresholding of thermal images and by properly tuned object classificaion procedure improves detection accuracy and significantly increases computational efficiency of the pedestrian detection proces",

która w języku polskim przyjmuje postać

„Opracowane podejście do detekcji pieszych w nocy w oparciu o zaproponowany proces ekstrakcji obszaru zainteresowania poprzez progowanie obrazów termowizyjnych oraz odpowiednio dostrojoną procedurę klasyfikacji obiektów poprawia dokładność detekcji i znacząco zwiększa wydajność obliczeniową".

Teza rozprawy jest oryginalna, choć wydaje się, że jest zbyt ogólna. Teza nie precyzuje na czym polega innowacyjny pomysł Autora dotyczący ekstrakcji obszaru zainteresowania, jak również nie wskazuje, na czym polega strojenie procedury klasyfikacji. Ponadto, bez szczegółowej lektury rozprawy, czytelnik nie jest w stanie ocenić o ile i względem jakiej metody referencyjnej poprawiono dokładność i zwiększono wydajność obliczeniową nowego algorytmu. W mojej opinii najważniejszą informacją zawartą w tezie o oryginalnym rozwiązaniu Doktoranta, jest stwierdzenie, że progowa segmentacja obrazów termowizyjnych wraz z procedurą strojenia algorytmu klasyfikacji umożliwia implementację nowej metody detekcji osób w obrazach termowizyjnych w czasie rzeczywistym przy dokładności klasyfikacji akceptowalnej w praktycznych zastosowaniach.

Autor przedstawił wyczerpująco stan wiedzy w zakresie niezbędnym do realizacji rozprawy doktorskiej. Wykaz literatury zawiera 105 pozycji. Wśród nich znajdują się 3 współautorskie publikacje Doktoranta z lat 2015-2016. Wykaz literatury i jego omówienie w rozdziale 2 świadczą o dobrej znajomości przez Doktoranta tematyki przetwarzania obrazów, w tym głównie metod segmentacji obrazów i klasyfikacji obiektów metodami sztucznej inteligencji.

Bez wątpienia zaproponowana przez Doktoranta metoda detekcji osób w obrazach termowizyjnych jest nowym i znaczącym osiągnięciem w dziedzinie przetwarzania obrazów termowizyjnych. Autor zaproponował proste i skuteczne rozwiązanie segmentacji obrazów, w którym zastosował progowanie z 2. lub 3. wartościami progów. Wartości progów wyznaczone metodą Otsu zmodyfikował stosując współczynniki, których wartości dobierał w fazie kalibracji przy zastosowaniu istniejących baz obrazów termowizyjnych pieszych w środowisku ulicznym. Dodatkowo Doktorant powiększał obszar zainteresowania w celu połączenia podzielonych części sylwetki osób w obrazowanej scenie oraz usuwał powtórzone elementy

stosując kryteria obszarowe. Jednym w ważniejszych osiągnięć Doktoranta jest, już na etapie segmentacji, wstępna selekcja obszarów zawierających sylwetki osób w obrazach termowizyjnych. Do tego celu Autor stosował różne kryteria przedstawione w rozdziale 3.5, które umożliwiły eliminację obiektów o cechach istotnie się różniących od cech sylwetki człowieka.

Ważnym elementem rozprawy jest wyznaczanie wartości cech i klasyfikacja wcześniej wyodrębnionych obszarów zainteresowania, które zawierają różne obiekty, w tym sylwetki osób, głównie w pozycji pionowej. Autor porównał działanie 3. algorytmów: HOG+SVM, ACF+AdaBoost oraz sieci konwolucyjnej głębokiego uczenia o architekturze AlexNet/CaffeNet. Uzyskane rezultaty detekcji osób w obrazach termowizyjnych są zadawalające zarówno aspekcie dokładności jak i czasu realizacji algorytmów.

Coraz częściej prace promocyjne mają charakter interdyscyplinarny. Taką pracą jest rozprawa doktorska mgra inż. Karola Piniarskiego, która łączy w sobie elementy elektroniki i informatyki. W takim przypadku recenzent powinien odpowiedzieć na pytanie, do jakiej dyscypliny zaliczyć osiągnięcia naukowe Doktoranta, co w przypadku wyboru tylko jednej dyscypliny może być trudne. Prace badawcze doktoranta skupiają się wokół akwizycji i przetwarzania obrazów w różnych pasmach promieniowania elektromagnetycznego (VIS, NIR, MWIR
i LWIR). Obecnie sensory obrazowe wyposażane są w zaawansowane systemy przetwarzania, często stosując znane metody uczenia maszynowego. Wobec powyższego, można moim zdaniem zakwalifikować badania i osiągnięcia naukowe Doktoranta do dziedziny przetwarzania sygnałów z obrazowych sensorów pracujących w zakresie podczerwieni, a szerzej do dyscypliny naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika.

Mgr inż. Karol Piniarski wyniki badań własnych i zespołowych przedstawił w wielu publikacjach. Pewne zdziwienie budzi fakt, że jedynie 3 i to nie najnowsze współautorskie prace Doktoranta z lat 2015-2016, znalazły się w wykazie literatury rozprawy doktorskiej. W bazie WoS doliczyłem się aż 17. publikacji, w tym kilku w czasopismach z listy JCR. Niektóre z nich, zgodne z tytułem, odpowiadają badaniom przedstawionym w rozprawie doktorskiej. Co więcej, ostatnie prace zostały wydane w czasopiśmie SENSOR, co potwierdza przedstawioną powyżej opinię o interdyscyplinarnym charakterze badań Doktoranta, z wyraźnym aspektem aplikacyjnym w sensorach obrazowych pracujących w zakresie podczerwieni termalnej. Szkoda, że Autor w podsumowaniu nie podał pełnej liczby współautorskich publikacji z krótką charakterystyką swojego wkładu. Wydaje się, że podczas obrony Doktorant powinien przedstawić stosowny komentarz w tej kwestii.

Należy podkreślić, że indeks wpływu mgra inż. Karola Piniarskiego wynosi h=5, a liczba cytowań bez autocytowań osiągnęła wartość 32 na początku 2022 r. Jak na młodego stażem naukowca, który stara się uzyskać stopień doktora nauk inżynieryjno-technicznych, jest to wynik bardzo dobry.

Rozprawa doktorska mgra inż. Karola Piniarskiego ma charakter teoretyczno-eksperymentalny i dotyczy trudnego i ważnego problemu naukowego detekcji osób w obrazach termowizyjnych. Autor posiada wiedzę teoretyczną i umiejętności do prowadzenia badań naukowych w dziedzinie przetwarzania i klasyfikacji obrazów. Teza rozprawy została udowodniona.

Do głównych oryginalnych osiągnięć Autora zaliczam:

- opracowanie metody segmentacji obrazów termowizyjnych z kalibracją parametrów i preselekcją regionów zainteresowania,
- opracowanie metody wyboru rozdzielczości wejściowej klasyfikatorów w celu zwiększenia wartości zdefiniowanego indeksu wydajności, który uwzględnia dokładność klasyfikacji i złożoność obliczeniową,

- opracowanie metody detekcji osób w obrazach termowizyjnych, która może być implementowana w systemach czasu rzeczywistego.

4. Uwagi ogólne i dyskusyjne

Lektura rozprawa doktorskiej mgra inż. Karola Piniarskiego prowadzi do sformułowania kilku uwag o charakterze ogólnym i dyskusyjnym.

1. W pracy Autor wielokrotnie stosuje skrót FIR w odniesieniu do obrazów termowizyjnych stosowanych w pracy. Daleka podczerwień nie jest stosowana w kamerach termowizyjnych do pomiaru obiektów o temperaturze zbliżonej do temperatury ciała człowieka. Bardzo drogie kamery FIR to kamery do pomiaru obiektów kosmicznych o niskich wartościach temperatury. Do detekcji ludzi stosuje się powszechnie dostępne kamery średnio i długofalowe, MWIR i LWIR, pracujące w zakresie widma 3-14 μm.
2. W literaturze anglosaskiej sformułowanie „nigth-vision systems" jest zarezerwowane dla noktowizji. W podczerwieni pojęcie nocy nie istnieje. Ciało czarne w świetle widzialnym nic nie odbija, a w podczerwieni jest niemal idealnym emiterem. W podczerwieni, nocą obiekty o temperaturze ciała ludzkiego są lepiej widoczne niż w dzień ze względu na brak odbić od innych obiektów promieniowania ciał wysokotemperaturowych, takich jak Słońce.
3. Autor nie podał jakimi kamerami zostały zarejestrowane obrazy stosowane w badaniach w ramach rozprawy. Jeśli nie można podać modeli kamer, to bardzo przydałby się opis techniczny sprzętu termowizyjnego stosowanego w badaniach, w tym typ detektora i kamery (obserwacyjna/metrologiczna), rozdzielczość przestrzenna i termiczna oraz dokładność pomiaru temperatury. Wobec powyższego można sformułować pytanie, czy wyniki przestawione w rozprawie będą zależeć od typu i jakości zastosowanego sprzętu termowizyjnego?
4. Opis wyników klasyfikacji obiektów metodami uczenia maszynowego wydaje się być niepełny. Moim zdaniem zabrakło szczegółowego opisu procesu uczenia. Spodziewałbym się więcej informacji na temat zastosowanych metod optymalizacji oraz wykresów metryk jakości (funkcji strat) w procesie uczenia. Na str. 75 jest mowa o 25. iteracjach. Czy liczba iteracji odpowiada licznie epok? Ile obrazów zastosowano w procesie uczenia, a ile do walidacji? Podano jedynie relację procentową między tymi zbiorami. Tak mała liczba iteracji w procesie uczenia może budzić zdziwienie. Można sformułować pytanie, czy mała liczba iteracji może doprowadzić do wyznaczenia wartości kilkudziesięciu milionów parametrów sieci CNN? Z praktyki wiadomo, że metryki mogą się stabilizować, jeśli zbiór danych treningowych nie jest odpowiednio zróżnicowany. Dołożenie nowych obrazów o innych wartościach statystyk może istotnie poprawić proces uczenia. Ponadto, w literaturze znany jest problem „zaniku gradientu" podczas optymalizacji (ang. vanishing gradient). Czy ten problem nie wystąpił podczas uczenia sieci AlexNet/CaffeNet? Proszę Doktoranta o komentarz na ten temat podczas publicznej obrony.
5. Spis literatury jest trudny do analizy. Współautorskie prace Autora nie zostały zgrupowane, a brak alfabetycznego porządku w liście publikacji istotnie utrudnia lekturę rozprawy.

Przedstawione uwagi nie wpływają na pozytywną ocenę recenzowanej rozprawy doktorskiej. Mają one charakter drugorzędny i są wskazówką dla Doktoranta do prowadzenia prac badawczych w przyszłości. Autor samodzielnie rozwiązał postawiony problem naukowy i potwierdził, że posiada szeroką wiedzę i umiejętności do prowadzenia eksperymentów w dziedzinie przetwarzania obrazów termowizyjnych, w tym także w zakresie metod uczenia maszynowego.

5. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska mgra inż. Karola Piniarskiego pt. „Highly efficient night-vision pedestrian detection based on thermal images" zawiera oryginalne wyniki prac badawczych i stanowi potwierdzenie samodzielnego rozwiązania ważnego problemu naukowego jakim jest detekcja osób w obrazach termowizyjnych. Doktorant opracował oryginalną metodę, która konkuruje z innymi znanymi w literaturze ze względu na realizację detekcji w czasie rzeczywistym przy zachowaniu wystarczającej dla praktyki dokładności. Autor wykazał się dużą wiedzą w tematyce rozprawy, znajomością literatury naukowej oraz umiejętnościami rozwiązywania problemów naukowych na drodze eksperymentalnej. Teza rozprawy została udowodniona. Tematyka rozprawy doktorskiej mgra inż. Karola Piniarskiego, uzyskane wyniki prac badawczych oraz jej znacznie praktyczne pozwalają zakwalifikować ją do dyscypliny naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika.

W związku z powyższym stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim zawarte w aktualnych przepisach prawa i wnoszę o dopuszczenie mgra inż. Karola Piniarskiego do publicznej obrony.