

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Jana Klimaszewskiego

pt.: „Metoda samokalibracji układu: kamer wizyjnej i termowizyjnej na podstawie dopasowania obrazów”

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Geneza koncepcji pracy.

Ciągła obserwacja otoczenia w warunkach dziennych i nocnych wymaga użycia co najmniej dwóch kamer wizyjnej i termowizyjnej. Obserwacja obrazów z obu kamer na jednym monitorze umożliwia fuzję obrazów z obu kamer. Fuzja obrazów, czyli nałożenie obrazu jednej kamery na obraz drugiej wymaga ujednoczenia skali (rozmiarów) obiektów z obrazów z obu kamer. Proces dopasowania rozmiarów obiektów z obrazów obu kamer nazywany jest kalibracją zestawu kamer. Klasyczną metodą kalibracji jest wykorzystanie wzorca kalibracyjnego - tablicy z naniesionymi obiektami o znanych rozmiarach. Na podstawie obrazów wzorca określa się skalę przetwarzania powierzchni obiektów w obrazie jednej kamery do skali drugiej, co umożliwia nałożenie obiektów na siebie.

Autor rozprawy przyjął w założeniu opracowanie systemu kalibracji zestawu kamer systemu kamer wizyjnej i termowizyjnej dalekiego zasięgu systemu przeciwlotniczego Poprad. Daleki zasięg kamer uniemożliwia w praktyce stosowanie wzorca kalibracji, stąd wynika koncepcja Autora o opracowaniu metody samokalibracji dla w/w zestawu dwóch kamer na podstawie automatycznie wyznaczanych cech obiektów z obrazu obu kamer. Koncepcja autorskiej metody samokalibracji spełniającej wymagania systemu przeciwlotniczego Poprad została określona w tezie rozprawy jako: „System automatycznego dopasowania obrazów z wykorzystaniem metody korelacji fazowej, jednocześnie dla wielu obiektów widocznych na obrazach kamer”.

W ten sposób został zarysowany cel rozprawy i zakres prowadzących prac badawczych. W świetle przyjętych przez Autora rozprawy założeń i celu rozprawy uważam, że teza rozprawy definiuje istotne problemu rozprawy: samokalibrację, automatyczne dopasowanie obrazów, zastosowanie metody korelacji fazowej, która zapewnia czasowe nadążenie samokalibracji za akwizycją obrazu.

1.2. Przegląd literatury tematyki badawczej

Recenzowana rozprawa zawiera 5 rozdziałów. Poza wstępem dwa rozdziały poświęcone przeglądowi literatury (26 stron) i dwa rozdziały opracowania własne. Rozdział 2 poświęcony analizie i przeglądowi publikacji poświęconych metodzie kalibracji, w tym i samokalibracji zestawu kamer wizyjnej i termowizyjnej. W Rozdziale trzecim autor opisuje metody wyznaczenia dopasowania obrazów multimodalnych (dwóch kamer: termowizyjnej i wizyjnej), w tym z zastosowaniem korelacji fazowej. Autor zgromadził 176 pozycji literatury, w tym 5 publikacji zespołów krajowych, Doktorant był współautorem w dwóch publikacjach. Oceniając znajomość literatury przedmiotu na podkreślenie zasługuje opis metod kalibracji multimodalnych zestawu kamer w odniesieniu do poszczególnych zastosowań (monitorowania otoczenia, rozpoznawania twarzy, rozpoznawania obrazów w medycynie). Doktorant przeanalizował kilka metod kalibracji, stosowane opisy analityczne i algorytmy. Uważam, że Doktorant posiada bardzo dobrą orientację w literaturze dotyczącej tematyki badawczej.

2. Analiza merytoryczna rozprawy

Badania własne Autora rozprawy zawarte są w dwóch rozdziałach: 4 (54 strony), w którym przedstawiono opracowaną metodę samokalibracji i rozdział 5 (33 strony), w którym Autor prezentuje wyniki badań samokalibracji w odniesieniu do zestawu kamer systemu przeciwlotniczego Poprad. W Rozdziale 4 Autor przedstawia opracowanie teoretyczne metody samokalibracji dwóch kamer wizyjnej i termowizyjnej wykazuje, że metodę samokalibracji można podzielić na dwa etapy: w pierwszym etapie ustala parametry w skali obrazu termowizyjnego względem wizyjnego (przyjmuje obraz kamery wizyjnej jako kamery odniesienia) przy czym estymacja parametrów w skali dokonuje się automatycznie w trybie kalibracji obrazów z chwili bieżącej do obrazów z chwili poprzedniej, odpowiednio dla kamery wizyjnej i termowizyjnej. W etapie drugim ustala parametry opisujące linie dopasowania odpowiadających sobie obrazów obu kamer. Estymacja parametrów linii dopasowania następuje w trybie automatycznego dopasowania odpowiadających sobie obrazu termowizyjnego i wizyjnego.

W celu otrzymania automatyzacji dopasowania i odpowiedniej szybkości procesu (do kilkudziesięciu ms), Autor wprowadza metodę korelacji fazowej bazującej na obliczeniach w dziedzinie częstotliwości transformaty Fouriera obrazów. W celu sprawdzenia poprawności działania metody wyznacza dopasowanie dwóch jednorodnych kamer (monomodalne dopasowanie) i dwóch kamer wizyjnej i termowizyjnej (multimodalne dopasowanie), z dopasowaniem jednego obiektu, w celu porównania z wynikami w literaturze. Dla potrzeb założonego celu pracy opracowuje metodę dającą w wyniku dopasowanie w skali wielu obiektów, co poprawia jakość działania opracowanej metody samokalibracji.

Do zastosowania metody korelacji fazowej do samokalibracji Autor wprowadza proces wstępnego przetwarzania obrazu termowizyjnego w celu zniwelowania różnic w intensywności poszczególnych pikseli w obrazach kamer wizyjnej i termowizyjnej. Przetwarzanie wstępne zostało zrealizowane przez filtrację krawędziową na podstawie progowania wartości zmian intensywności w dziedzinie obrazu. Wszystkie elementy opracowanej metody samokalibracji zestawu dwóch kamer (wizyjnej i termowizyjnej), zostały zebrane i opracowane w formie przedstawionych algorytmów na bazie, których został opracowany moduł programistyczny do aplikacji oprogramowania UFO-B, realizującego proces fuzji obrazów. Oprogramowanie UFO-B, zostało opracowane przez zespół z udziałem Autora rozprawy w ramach prac realizowanych na Wydziale Mechatroniki.

Oprogramowanie UFO-B z implementacją modułu programistycznego Autora zostało zainstalowane na komputerze mobilnym Jestson TK1, w celu przeprowadzenia badań metody samokalibracji w

warunkach zbliżonych do warunków zastawu przeciwlotniczego Poprad. Sekwencja wideo używana jako baza danych testów była nagrana za pomocą głowicy kamer systemu Poprad. W ramach przeprowadzonych badań metod samokalibracji przetestowano również sekwencje generowane komputerowo oraz sekwencje testowe dostępnej internetowo bazy KAiST.

Dla oceny jakości procesu samokalibracji Autor wprowadza pojęcia dokładności i precyzji. Jako miarę dokładności samokalibracji wyznaczonej przez opracowany moduł programistyczny (opracowane algorytmy), przyjmuje się różnice w odniesieniu do samokalibracji dla sekwencji testowych z wartościami wzorcowymi. Jako miarę precyzji przyjęto odchylenie standartowe błędu działania metody dla serii pomiarów. W celu określenia jakości autorskiego opracowania do oceny drugiego etapu samokalibracji Autor opracował cztery warianty algorytmów jako metodę odniesienia, dla trzech pozostałych Autor zastosował klasyczną (literaturową) metodę korekcji fazowej z wyznaczeniem lokalizacji jednego największego maksimum.

W drugiej metodzie wykorzystano kilka maksymalnych wartości przewyższających wartość średnią maksimum korelacji bazowej obiektów w obrazie.

Trzecia metoda- to opracowanie autorskie dedykowane dla systemu Poprad, w którym uwzględnia się kilka najważniejszych maksimum macierzy korelacji fazowej dla obiektów w polu widzenia kamer.

W czwartej wersji algorytmu uwzględnia się połączone metody z dwóch poprzednich wersji.

Wynikami analizy trzech sekwencji obrazów (komputerowych, z kamer systemu Poprad i bazy KAiST) z użyciem 4 wersji algorytmów Autor potwierdza, że w odniesieniu do sekwencji zestawu kamer (wizyjnej i termowizyjnej) systemu przeciwlotniczego Poprad najlepsze wyniki w sensie kryterium dokładności i precyzji daje autorska trzecia metoda określona jako MPQD (ang. Multiple Peaks Quality Drop).

Autor porównuje również czasy obliczeniowe zbliżonych metod samokalibracji powołując się na pozycje literatury [80], 200 ms i osiągnięty czas w układzie komputera Jetsol TKi-80sek. Natomiast przy obliczeniach na jednostce obliczeniowej stosowanej w literaturze [80], czas obliczeniowy opracowanej w rozprawie metody wynosi 20 ms.

Sumując rozdziały dotyczące badań opracowanej metody (algorytmy) samo dopasowanie stwierdzam że w mojej ocenie Autor dowodzi skuteczności opracowanej metody jej pozytywnym współzawodnictwem odnośnie jakości i czasu trwania w odniesieniu do podobnych metod opisanych w literaturze.

Ocena rozprawy.

Rozprawa doktorska mgr inż. Jana Klimaszewskiego dotyczy zestawu kalibracji kamer dalekiego zasięgu wizyjnej i termowizyjnej. Tematyka rozprawy jest związana z realizacją prac badawczo- rozwojowych nad układem fuzji obrazów z w/w kamer dla przemysłu obronnego i dotyczy fuzji kamer głowicy optoelektronicznej zestawu przeciwlotniczego Poprad.

Proces kalibracji polega na określeniu skali rozmiarów obiektów w polu widzenia kamery wizyjnej i termowizyjnej i opracowanie warunków nałożenia obu obrazów.

Klasyczna metoda kalibracji polega na użyciu wzorcowej tablicy kalibracji z naniesionymi obiektami o znanych wymiarach widocznym w zakresie spektralnym obu kamer. Dla kamer dalekiego zasięgu proces klasycznej kalibracji nie spełnia wymagań poligonowych użycia systemu Poprad.

Autor rozprawy podjął nowatorskie opracowanie systemu samokalibracji dwóch kamer wizyjnej i termowizyjnej na podstawie automatycznego dopasowania obrazów tych kamer wyznaczonego z wykorzystaniem metody korelacji fazowej, dla wielu obiektów jednocześnie widocznych na tych obrazach.

Opracowane elementy procesu samokalibracji Autor ujął w formie algorytmów, przy czym opracował 4 wersje algorytmów, w celu porównania osiągniętych wyników z danymi literaturowymi i wybrał wariant dający najdokładniejsze dopasowania obrazów, jako propozycję do implementacji.

Do autorskich elementów rozprawy, którą uznaje za najważniejsze osiągnięcie Autora rozprawy zaliczam:

1. Rozdzielenie procesu dopasowania obrazów z obu kamer na dwa etapy. W pierwszym etapie ustala się parametry skali obrazów, w drugim ustala się zależność wiążącą parametry dopasowania odpowiadających sobie obiektów obrazu wizyjnego i termowizyjnego. Taka analiza procesu dopasowania obrazów umożliwia automatyczne dopasowanie-samokalibracje.
2. Wprowadzenie dopasowania wielu obiektów w obrazie kamer przez użycie metody korelacji fazowej, co również skróciło proces analizy dopasowania do kilkudziesięciu ms.
3. W przeprowadzonych badaniach przez zastosowanie opracowanej metody w 4 wariantach algorytmów Autor dowiódł skuteczność opracowanej metody samokalibracji kamer dalekiego zasięgu i jej dokładności porównywalnej z danymi z literatury.

Biorąc pod uwagę całość rozprawy wysoko oceniam opracowaną metodę samokalibracji kamer dalekiego zasięgu wizyjnej i termowizyjnej oraz porównawczą metodę oceny wyników własnych w kontekście opracowań literaturowych.

Mając na uwadze w/w dokonania rozprawę autorską mgr inż. Jana Klimaszewskiego oceniam jako bardzo dobrą, spełniającą wymagania prac doktorskich i wnoszę o dopuszczenie do obrony przed Radą Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej.

