

STRESZCZENIE

Od wielu lat obserwuje się niegasnący wzrost zainteresowania technikami wykorzystującymi obrazowanie z wykorzystaniem detektorów wizyjnych. Zarówno w dziedzinach analizy dwuwymiarowej, jak i trójwymiarowej, wzrost możliwości obliczeniowych i powszechny dostęp do detektorów sprawiają, że techniki te wkraczają w kolejne dziedziny codziennego życia. Jedną z nich jest, omawiane w niniejszej pracy, zagadnienie wizyjnej lokalizacji i śledzenia obiektów. Celem pracy była analiza i rozwiązanie problemu śledzenia obiektu w przestrzeni 3D w zmiennej scenie. W wyniku analizy opracowany został uogólniony model problemu śledzenia, w ramach którego powstały autorskie algorytmy i modyfikacje takich problemów jak: kalibracja wewnętrzna detektora wizyjnego w przypadku niedoboru danych kalibracyjnych, metoda kalibracji i re-kalibracji zewnętrznej, metoda detekcji i interpretacji stałych elementów sceny wraz z algorytmem wykrywania ruchu detektora oraz metoda kompensacji błędów śledzenia związanych ze zniekształceniami perspektywicznymi. Na początku pracy przedstawiono podstawy teoretyczne matematycznego modelowania zależności geometrycznych w scenie, w tym modele odwzorowania i obrazowania pojedynczego detektora wizyjnego oraz metody opisu transformacji geometrycznych w układach wielokamerowych. Następnie opisane zostały techniki kalibracji wewnętrznej ze szczególnym uwzględnieniem technik użytych i modyfikowanych w ramach niniejszej pracy. Po nich opisane zostały techniki wyznaczania pozycji i orientacji detektora w scenie – począwszy od sposobów detekcji i interpretacji danych kalibracyjnych (analiza obrazu 2D i wiedzy a priori), a skończywszy na metodach wyznaczania pozycji względnej i bezwzględnej. Przegląd literatury kończy analiza błędów śledzenia związanych ze zniekształceniem perspektywnym obiektów sferycznych – błędem ekscentryczności. Opisany jest mechanizm powstawania błędu oraz metody obecnie używane w celu jego eliminacji. Część koncepcyjną pracy otwiera krótkie wprowadzenie i opis warunków użytkowych, w których wykorzystywane były elementy nowości pracy. Następnie zamieszono krótki opis dwóch aplikacji – systemu wspomagającego decyzje sędziowskie i niskokosztowego skanera światła strukturalnego w ujęciu wyzwań i ograniczeń implementacyjnych. W tak zdefiniowanych warunkach w dalszej części pracy wprowadzony zostaje opracowany w ramach pracy modułowy schemat koncepcyjny systemu śledzenia oraz wymagania i warunki pracy każdego z modułów (cel, dane wejściowe, dane wyjściowe i realizacja we wdrożonych aplikacjach). Wśród opisywanych modułów wskazane i szczegółowo opisane zostają te, których rozwój jest przedmiotem niniejszej pracy. Kolejną część pracy stanowi rozdział poświęcony implementacji – wdrożeniom dwóch opisywanych w

poprzedniej części systemów. Omówiony został skaner światła strukturalnego, w którym dla dwóch położenia wzorca kalibracyjnego osiągnięto dokładność pomiaru na poziomie 0,4 mm co stanowi 0,13% długości przekątnej objętości pomiarowej. Po nim, opisany zostaje system wspomagający decyzje sędziowskie, w którym pozycja detektora wyznaczana jest z dokładnością około 1 mm. W systemie tym pokazano, że możliwe jest wykrywanie położenia śledzonego obiektu z niepewnością mniejszą niż 10 mm, co jak sprawdzono eksperymentalnie jest dokładnością wyznaczającą do podjęcia automatycznej decyzji sędziowskiej. Praca zakończona jest podsumowaniem przeprowadzonych prac, spełnienia celów badawczych i udowodnieniem tezy wraz z wyznaczeniem kierunku dalszych prac.

Słowa kluczowe: śledzenie 3D, przetwarzanie obrazu, kalibracja kamery, pozycjonowanie kamery

ABSTRACT

It can be observed that interest in image processing based techniques has been growing recently. As a result of computational capability development and visual sensor availability, 2D and 3D analysis has been becoming present in everyday activities. An example of these techniques is the visual tracking of an object in 3D space, described in this dissertation. The aim of the research was to analyze and solve a problem of three-dimensional tracking of an object located in dynamic scene. As a result, a generic modular model of a problem was proposed, and new solutions as well as improvement for existing algorithms were designed. Among developed methods, following ones can be listed: intrinsic camera calibration in scene with low amount of calibration data, extrinsic camera calibration (pose estimation) and online recalibration, extraction and data interpretation of known scene elements (from 2D images) including camera movement detection algorithm and method for correction of perspective mapping based distortions (eccentricity error). In the beginning of the dissertation theoretical basis for mathematical model of scene geometry was presented, which includes: single camera perspective projection and imaging model as well as methods of multi camera relative transformation description in complex hierarchies. Next, intrinsic calibration were presented and methods used during research at hand were described in detail. In following sections, camera pose estimation related techniques were described – beginning with keypoints and other calibration data detection and interpretation, and finishing with absolute and relative pose estimation algorithms. At the end of the literature review, eccentricity error in spherical and circular object projection and existing methods of its compensation were presented. Then, at the beginning of a conceptual part of this dissertation, brief discussion of practical features and limitations in 3D tracking applications was conducted. After discussion, generic modular model of 3D tracking system with modules' description and requirements were introduced. For each module, inputs, outputs, purpose and implementations were defined. Among described modules, ones which are connected with algorithms developed during presented research are described in detail. Fourth chapter is devoted to implementation and applications. Two systems implemented during research were described: low cost structural light scanner calibrated with only two calibration artifact positions in which 0,4 mm measurement accuracy were achieved (which is a 0,13% of a measurement volume) and referee support system, in which the accuracy of camera position is 1mm and object was tracked with 10 mm maximal error. In referee support system there were also experiment presented, which proved system utility and requirements

fulfilment. At the end of a dissertation summary, a discussion on scientific and utility goals was performed and future work direction are proposed.

Keywords: 3D tracking, camera calibration, image processing, pose estimation