

Streszczenie

Łączenie danych 2D i 3D oraz ich późniejsza analiza są powszechne w systemach wykorzystujących kamery cyfrowe. Kluczowym zagadnieniem w tym procesie jest lokalizacja kamery względem modelu 3D. Pomimo wielu prac w tej dziedzinie nie ma jednego uniwersalnego rozwiązania tego problemu.

W tej pracy podjęto próbę rozwiązania trzech konkretnych problemów związanych z wyznaczeniem położenia i orientacji (lokalizacji) kamery w różnych złożonych warunkach środowiskowych. Opracowano metodę lokalizacji kamery bazującą wyłącznie na chmurze punktów z informacją o kolorze w każdym z punktów. Główną nowością opracowanej metody jest przygotowanie danych w oparciu o generowanie ortograficznych obrazów syntetycznych. Opracowano algorytm segmentacji chmury punktów i wyznaczania obszarów quasi-płaskich, które są podstawą lokalizacji kamery. Następnie opracowano algorytm wyznaczania pozycji wirtualnej kamery, z której renderowane są widoki syntetyczne. Opracowano również metodę wyznaczania wymaganej rozdzielczości obrazów na podstawie rzeczywistych wymiarów zeskanowanego obiektu, rozdzielczości i pola widzenia kamery oraz przewidywanej średniej odległości kamery od obiektu.

Poprawność opracowanej metody lokalizacji kamery na podstawie chmury punktów niezależnie od metody jej pozyskania została potwierdzona eksperymentalnie w dwóch różnych wnętrzach w z Muzeum Pałacu Króla Jana III w Wilanowie. Pierwsze z nich – Gabinet Chiński Króla zostało zeskanowane używając oświetlenia strukturalnego, natomiast drugie – Gabinet al Fresco z wykorzystaniem metody czasu przelotu wiązki. W obu wnętrzach występuje wiele powtarzających się okresowo dekoracji, natomiast różnią się one ich charakterem – w pierwszym z nich dominują elementy błyszczące, drugie posiada ściany pokryte matowymi freskami. W obu wnętrzach możliwa była lokalizacja kamery używając proponowanej metody.

Drugim zagadnieniem omawianym w pracy jest metoda kalibracji skanera 3D wykorzystującego triangulację laserową składającego się z kilku skanerów kierunkowych. Obecnie stosowane metody kalibracji tego typu skanerów wymagają projektowania skomplikowanych wzorców kalibracyjnych, których geometria musi być każdorazowo dostosowana do geometrii systemu pomiarowego. W pracy zaproponowano metodę tworzenia wzorców kalibracyjnych oraz nową metodę kalibracji skanerów na podstawie lokalizacji kamer w skanerze. W porównaniu do obecnie stosowanych metod geometria wzorca jest znacznie prostsza, a sama metoda może być z powodzeniem stosowana w warunkach przemysłowych,

ponieważ zapewniono częściową odporność na przysłonięcia wzorca, zapylenie i niekontrolowane warunki oświetleniowe. Metoda została użyta w prototypowym skanerze 3D wykorzystującym 6 systemów kierunkowych do pomiaru kłód drewna na linii produkcyjnej.

Trzecim problemem rozwiązany w pracy jest łączenie danych pochodzących z dwóch kamer znacząco różniących się zakresem spektralnym. W pracy zaprezentowano konstrukcję wzorca kalibracyjnego umożliwiającego jednoczesną kalibrację geometryczną i lokalizację kamer pracujących w zakresie promieniowania widzialnego i dalekiej podczerwieni (termowizja). Następnie przedstawiono koncepcję fuzji multispektralnych danych 2D i danych 3D w systemie automatycznego monitorowania infrastruktury krytycznej za pomocą dronów. Następnie przedstawiono algorytm mapowania obrazów w podczerwieni na obrazy w zakresie widzialnym. Układ kamer zamontowany na dronie może się z czasem rozkalibrować wskutek zmian temperatury oraz działania znacznych sił w czasie lotu drona. W pracy przedstawiono nowatorski algorytm detekcji rozkalibrowania układu a także algorytm korekcji mapowania obrazów w czasie rzeczywistym.

Słowa kluczowe: *lokalizacja kamery, kalibracja kamery, punkty charakterystyczne, analiza danych 3D*

Abstract

Combining 2D and 3D data and their subsequent analysis are common practices in systems that use digital cameras. The key problem in this process is camera localization relative to the 3D model. Despite many works in this field, there is no one-size-fits-all solution to this problem.

In this work, an attempt was made to solve three specific problems related to the determination of the position and orientation (pose) of the camera in various complex environmental conditions. A method for estimating camera pose based solely on a point cloud with information about the color of each point was developed. The main novelty of this method lays in data preparation which is based on the generation of synthetic orthographic images. An algorithm for point cloud segmentation and the determination of quasi-flat areas, which are the basis for the camera localization algorithm, was developed. Then, an algorithm was developed for determining the position of a virtual camera from which synthetic views are rendered. A method was also developed to determine the required image resolution based on the actual dimensions of the scanned object, the resolution and field of view of the camera, and the predicted average distance between the camera and the object.

The correctness of the developed camera localization method based on the point cloud regardless of its registration technique, was confirmed experimentally in two different interiors at the Museum of King Jan III's Palace at Wilanów, Warsaw, Poland. The first one - the King's Chinese Cabinet was scanned using structured light, while the second - the al Fresco Cabinet was scanned using the time-of-flight technique. In both interiors many periodically repeated decorations occur. On the other hand, they differ in their character - the first one is dominated by shiny elements, the other has walls covered with matte frescoes. In both interiors it was possible to estimate camera pose using proposed method.

The second problem discussed in the dissertation is a method of calibrating a 3D laser triangulation scanner, which consist of several directional scanners. State-of-the-art calibration methods of such scanners require designing of complex calibration artifacts, which geometry must be adapted each time to the geometry of the measurement system. In this dissertation a method of creating calibration artifacts is proposed as well as a new method of calibrating such scanners based on the poses of cameras in the scanner. Compared to the state-of-the-art methods, the geometry of an artifact is much simpler, and the method itself can be used successfully in industrial conditions due to its partial resistance to pattern occlusions, dust and

uncontrolled lighting conditions. The method was used in a prototype 3D scanner that contains 6 directional systems to measure wood logs on the production line.

The third problem solved in this dissertation is a fusion of the data that come from two cameras that differ significantly in their spectral range. The paper describes the construction of a calibration artifact that enables simultaneous geometric calibration and localization of cameras that work in the range of visible and far infrared radiation (thermovision). Then, the concept of multispectral 2D data and 3D data fusion is presented. This data fusion is used in a system for automatic monitoring of critical infrastructure using drones. Next, an algorithm for mapping infrared images to visible images is presented. The camera system mounted on the drone may decalibrate over time due to temperature changes and the action of significant forces during the flight of the drone. The paper presents an innovative algorithm for detecting the decalibration of the system as well as an algorithm for correcting image mapping in real time.

Keywords: *camera localization, camera calibration, feature points, 3D data analysis*