

Abstract

The emerging regulations related to the control of industrial processes according to the idea of Industry 4.0 or monitoring the status of individual system elements in reference to standards require the usage of different methods for carrying out these activities. These requirements are met by solutions provided by broadly understood automation and robotics, which enable partial or complete replacement of humans in order to ensure repeatability, acceleration of performed activities and increase the frequency of measurements that are not achievable for them, but for a robot or computer including scientific areas of automation, electronic, and electrical engineering. One example of such issues, analyzed during the doctoral thesis research, is the testing the operation quality of airfield ground lighting (AGL). In this case, very fast control is required in a short period of time due to the conducted flight operations and short slots between them. Furthermore, the process of measuring the photometric parameters of AGL must result in a report that refers to strictly defined standards issued by the International Civil Aviation Organization (ICAO) and the European Aviation Safety Agency (EASA). Mobile measuring devices are designed for such measurements, which is the subject of the analysis in the doctoral dissertation.

This thesis presents the results of research on the integration of vision and sensory data in the monitoring of measurement vehicles. The presented solutions were examined using a measurement platform for AGL quality testing. To perform the most accurate measurement of the photometric characteristics of the airport navigation system lamps, it is necessary to precisely position the vehicle relative to the incident light beam. The algorithms and methods known in the literature in the aspect of vehicle localization, mainly cars and autonomous vehicles, are not directly reflected in the specifics of the airport environment, among others due to its size and the nature of the characteristic points constituting a reference. The use of multi-sensor measurements and methods of processing vision and sensory data enables precise localization of the measuring vehicle in the work environment in order to perform an accurate measurement of the given object - the airport navigation system lamps.

The following scientific thesis was formulated in the doctoral dissertation: The proposed integrated vision and sensory data processing allows for the vehicle monitoring environment to precisely determine localization of the object for the measurement assessment.

The analysis of multi-sensor solutions for monitoring the vehicle environment allowed for the selection of the following types of measurement sensors for locating the measuring device: satellite navigation sensors, Light Detection and Ranging (LiDAR), vision cameras, and electronic photosensitive modules. The dissertation presents their operating principles, applications, data processing methods, environment features data acquisition modules, and criteria for assessing the measurement accuracy. An analysis was also carried out regarding the embedded system enabling multi-sensor data processing. The dissertation contains a description of the types of AGL, as well as the requirements set by the EASA and ICAO in the scope of standards for individual luminaires. Concepts related to photometric characteristics such as light distribution, light beam intensity, and luminous intensity,

were also described. A comparison of methods and solutions of performing quality control of AGL was made.

As part of the conducted research, methods of processing sensory and vision data were proposed in order to increase the precision of measuring the photometric characteristics of AGL. Data from the satellite navigation system are filtered on the basis of the horizontal dilution of precision (HDOP) parameter and number of visible satellites to reduce the impact of their constellation distribution error on the position determination. The point cloud obtained from the LiDAR sensors is processed using the random sample consensus (RANSAC) algorithm, which allows distinguishing the points of objects that constitute reference points from the points that compose the background. The video sequences presenting the image of the airport areas were processed by threshold processing, the use of dilation operations, and histogram analysis to detect light points in the form of lamps, so that their position relative to the axis of the measuring vehicle could be determined. The dissertation presents research on multi-point measurement of photometric characteristics of AGL. The commercial sensors way of work was analyzed and the concept of an original solution of a module using a photodiode to measure light intensity was proposed. The concept of measurement matrices for testing the quality of airport navigation lighting operation based on a matrix with regular and irregular sensor distribution was also described. The scientific research presented in the doctoral thesis was carried out thanks to the formal cooperation between the Division of Signal Processing and Electronic Systems at the Poznań University of Technology and the Energetics Department of Poznań–Ławica Airport.

Streszczenie

Pojawiające się regulacje związane z przeprowadzaniem kontroli procesów przemysłowych zgodnie z ideą Przemysłu 4.0 czy monitorowaniem stanu poszczególnych elementów systemów w odniesieniu do norm, wymagają zastosowania różnych metod przeprowadzania tych działań. Naprzeciw tym wymaganiom wychodzą rozwiązania dostarczane przez szeroko pojętą automatykę i robotykę, która umożliwia częściowe lub całkowite zastąpienie człowieka w celu zapewnienia powtarzalności, przyspieszenia wykonywanych czynności oraz zwiększenia częstotliwości wykonywania pomiarów, które nie są osiągalne dla ludzi, ale dla robota czy komputera już tak, łącząc tym samym obszary naukowe z zakresu automatyki, elektroniki i elektrotechniki. Jednym z przykładów tego typu zagadnień, przeanalizowanych w czasie badań w ramach rozprawy doktorskiej, jest badanie jakości działania lamp oświetlenia lotnisk (AGL). W tym przypadku wymagana jest bardzo szybka kontrola w krótkim przedziale czasu ze względu na przeprowadzane operacje lotnicze i krótkie sloty pomiędzy nimi. Ponadto, proces pomiaru parametrów fotometrycznych lamp oświetlenia nawigacyjnego lotnisk musi skutkować raportem, który odnosi się do ściśle określonych norm wydanych przez Organizację Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (ICAO) i Europejską Agencję Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA). Do takich pomiarów konstruuje się mobilne urządzenia pomiarowe, co jest przedmiotem analizy doktoratu.

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczące integracji danych wizyjnych i sensorycznych w monitorowaniu pojazdu pomiarowego. Prezentowane rozwiązania zostały przetestowane z wykorzystaniem platformy pomiarowej do badania jakości działania oświetlenia nawigacyjnego lotnisk. W celu przeprowadzenia możliwie dokładnego pomiaru charakterystyki fotometrycznej lotniskowych lamp systemu oświetlenia nawigacyjnego niezbędne jest precyzyjne ustawienie pojazdu względem padającej wiązki światła. Algorytmy i metody znane w literaturze w aspekcie lokalizowania pojazdów, głównie samochodów oraz pojazdów autonomicznych, nie mają bezpośredniego odzwierciedlenia w przypadku specyfiki środowiska portu lotniczego między innymi ze względu na jego rozmiar oraz charakter punktów charakterystycznych stanowiących odniesienie. Zastosowanie pomiarów wieloczuJNIKOWYCH oraz metod przetwarzania danych wizyjnych i sensorycznych umożliwia precyzyjne zlokalizowanie pojazdu pomiarowego w środowisku pracy w celu przeprowadzenia dokładnego pomiaru zadanego obiektu - lamp lotniskowego systemu nawigacyjnego.

W rozprawie doktorskiej sformułowana została następująca teza naukowa: Zaproponowane przetwarzanie zintegrowanych danych wizyjnych i sensorycznych umożliwia monitorowanie otoczenia pojazdu w celu precyzyjnego określenia lokalizacji obiektu do oceny pomiarowej.

Analiza rozwiązań wieloczuJNIKOWYCH służących do monitorowania otoczenia pojazdów pozwoliła dokonać selekcji następujących typów czujników pomiarowych służących do lokalizacji urządzenia pomiarowego: czujników nawigacji satelitarnej, LiDARu (ang. Light Detection and Ranging), kamer wizyjnych oraz elektronicznych modułów światłoczułych. W rozprawie przedstawiono ich zasady działania, zastosowania, metody przetwarzania danych, przykładowe moduły oraz kryteria oceny dokładności pomiarowej. Przeprowadzono także analizę dotyczącą systemu wbudowanego

umożliwiającego wieloczujnikowe przetwarzanie danych. W rozprawie zawarto opis typów lamp oświetlenia nawigacyjnego lotnisk, jak również wymagania stawiane przez EASA oraz ICAO w zakresie norm dla poszczególnych opraw. Opisano również pojęcia związane z charakterystykami fotometrycznymi takimi jak rozsył światłości, natężenie wiązki światła oraz światłość. Dokonano zestawienia metod oraz sposobów dokonywania kontroli jakości AGL.

W ramach przeprowadzonych badań zaproponowano metody przetwarzania danych sensorycznych i wizyjnych w celu zwiększenia precyzji dokonywania pomiaru charakterystyki fotometrycznej lotniskowych lamp oświetlenia nawigacyjnego. Dane pochodzące z systemu nawigacji satelitarnej są filtrowane w oparciu o parametr HDOP (ang. horizontal dilution of precision) oraz liczbę widocznych satelitów, aby ograniczyć wpływ błędu rozkładu konstelacji satelitów na określenie położenia. Chmura punktów otrzymywana z czujników typu LiDAR jest przetwarzana za pomocą algorytmu RANSAC (ang. random sample consensus), który umożliwia odróżnienie punktów obiektów stanowiących punkty odniesienia od punktów stanowiących tło. Sekwencje wizyjne przedstawiające obraz płaszczyzn lotniskowych zostały przetworzone poprzez progowanie, zastosowanie operacji dylatacji oraz analizy histogramów w celu detekcji punktów świetlnych w postaci lamp, aby możliwe było określenie ich pozycji względem osi pojazdu pomiarowego. W rozprawie przedstawiono badania dotyczące wielopunktowego pomiaru charakterystyk fotometrycznych lamp lotniskowego oświetlenia nawigacyjnego. Przeanalizowano sposób działania czujników komercyjnych oraz zaproponowano koncepcję autorskiego rozwiązania modułu wykorzystującego fotodiodę do pomiaru natężenia światła. Opisano również koncepcję matryc pomiarowych do badania jakości działania lamp lotniskowych oświetlenia nawigacyjnego lotnisk w oparciu o matrycę o równomiernym i nierównomiernym rozkładzie czujników. Badania naukowe przedstawione w rozprawie doktorskiej zostały przeprowadzone dzięki formalnej współpracy pomiędzy Zakładem Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów Politechniki Poznańskiej z Zespołem Energetycznym Portu Lotniczego Poznań–Ławica.