

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczące inspekcji wizyjnej z wykorzystaniem sztucznej inteligencji w celu poprawy bezpieczeństwa portów lotniczych. Kontrola płaszczyzn lotniskowych (*ang. aerodrome*), takich jak drogi startowe, drogi kołowania oraz płyty postojowe jest krytyczna z perspektywy bezpieczeństwa wykonywanych operacji lotniczych oraz gotowości operacyjnej portu lotniczego. Współczesne standardy i zalecenia Agencji Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA), takie jak *Artificial Intelligence Roadmap 2.0*, wskazują, aby inspekcja obszarów manewrowych w portach lotniczych wykorzystywała rozwiązana bazujące na sztucznej inteligencji, czyli uczeniu maszynowym, głębokich sieciach neuronowych oraz algorytmach decyzyjnych, wspierając tym samym osoby odpowiedzialne za utrzymanie bezpieczeństwa.

W rozprawie doktorskiej sformułowana została następująca teza naukowa: *Zmodyfikowane metody przetwarzania obrazu wraz z rozwiązaniami bazującymi na sieciach neuronowych w obszarze systemów wbudowanych znacząco usprawniają ułatwiają zautomatyzowany proces inspekcji portu lotniczego.*

Bazując na przytoczonych wcześniej zaleceniach instytucji międzynarodowych, wyodrębniono trzy główne obszary badawcze poruszane w rozprawie doktorskiej. Pierwszym z nich jest wykrywanie obiektów typu FOD (*ang. Foreign Object Debris*) na newralgicznych obszarach portu lotniczego. Obiekty takie mogą spowodować katastrofę lotniczą, jeśli znajdują się w pobliżu statku powietrznego podczas najbardziej krytycznych faz lotu, takich jak start i lądowanie. Rozprawa przedstawia analizę dostępnych baz danych, pokazuje autorską bazę danych *PUT dataset* oraz wykorzystanie algorytmów przetwarzania obrazu do wykrywania takich obiektów na płaszczyznach lotniskowych, przy zastosowaniu architektury sieci neuronowych i metod przetwarzania obrazu, wspierając tym samym służby w tym istotnym zadaniu. Dobór architektury sieci neuronowych w postaci GoogLeNet i YOLOv5 znacznie poprawił dokładność wykrywania FOD, co możliwe było do zweryfikowania przy wykorzystaniu różnych bazy danych oraz badając wpływ poszczególnych parametrów danych wejściowych na wynik końcowy.

Drugim analizowanym obszarem badawczym wynikającym z przepisów lotniczych jest wykrywanie poziomych oznaczeń lotniskowych. Oznaczenia te służą personelowi lotniczemu, ale także naziemnemu, jako wskazówki i mają swoje ściśle określone położenie. Dzięki tak rygorystycznym przepisom determinującym umiejscawianie oznaczeń poziomych, możliwe jest wykonanie poprawnego najazdu platformą pomiarową do badania nawigacyjnego oświetlenia lotniskowego nad badaną lampę w oparciu o lokalizację względem określonych linii. Przeprowadzenie takich badań jest krytyczne i wpływa na zdolność operacyjną portu lotniczego w warunkach obniżonej widzialności. W pracy przedstawiono przygotowaną bazę danych nagrań wideo *PLAVS1* z zastrzeżonego terenu portu lotniczego oraz opracowane algorytmy wykrywania linii, bazujące na metodach przetwarzania obrazu i oceniono ich efektywność w implementacji w urządzeniach wbudowanych, takich jak rodzina Nvidia Jetson.

Trzecim badanym obszarem jest klasyfikacja lamp zagłębionych oświetlenia nawigacyjnego w płaszczyźnie lotniskowe. Klasyfikacja z jednej strony opiera się na wykryciu lampy i ocenie zużycia jej pryzmatu, a z drugiej, na ocenie chromatyczności barwy światła emitowanej przez dany punkt świetlny i porównanie jej z obowiązującymi normami międzynarodowymi. Opracowano w tym celu autorskie bazy danych *PLAVS2*, dobrano odpowiednie algorytmy w oparciu o metody przetwarzania obrazu w celu wykrycia obszaru zainteresowania (ROI), sieci neuronowe, takie jak GoogLeNet, VGG-19 oraz ResNet, a także dokonano analizy i doboru czujników chromatyczności światła, a następnie zaproponowano system wspierający służby lotniskowe w codziennej kontroli płaszczyzn manewrowych.

Realizacja badań naukowych przedstawionych w rozprawie doktorskiej była możliwa dzięki współpracy naukowej Zakładu Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów Politechniki Poznańskiej z Portem Lotniczym Poznań–Ławica.

Abstract

This thesis presents the results of research concerning vision inspection using artificial intelligence to improve safety of aerodrome. Inspection of airfields, especially runways, taxiways, and aprons, is critical from the perspective of aviation operation safety and airport operational readiness. Current standards and recommendations from the European Union Aviation Safety Agency (EASA), such as the *Artificial Intelligence Roadmap 2.0*, indicate that the inspection of manoeuvring areas in airports should employ AI-based solutions, including machine learning, deep neural networks, and logic-knowledge-based approaches, thereby supporting personnel responsible for maintaining safety.

In the doctoral dissertation, the following scientific thesis was formulated: *Proposed vision preprocessing methods, together with neural network solutions within the domain of embedded systems, substantially improve and facilitate the automated inspection process at the airports.*

There are three main research areas addressed in the dissertation, based on the recommendations aforementioned. The first area is the detection of Foreign Object Debris (FOD) in critical airport areas. Such objects can cause an aviation disaster if they come near an aircraft during the most critical phases of flight, such as take-off and landing. The dissertation presents an analysis of available databases, introduces the proprietary *PUT dataset*, and explores the use of image processing algorithms to detect such objects on aerodrome surfaces using neural network architectures, as well as image processing methods, thus aiding the airport services in this vital task. The selection of GoogLeNet and YOLOv5 significantly improved the accuracy of FOD detection, which could be investigated by using different databases and examining the influence of individual input data parameters on the final result.

The second research area, which comes from aviation regulations, is the detection of airport horizontal markings. These markings serve as guidelines for both aviation and ground personnel and have strictly defined locations. Due to stringent regulations determining the placement of aerodrome horizontal markings, it is possible to correct the alignment of the measurement platform for airport lighting inspection based on the location relative to specific lines. Conducting such inspections is critical and impacts the operational capability of the airport under reduced visibility conditions. The author prepared dataset of video recordings, *PLAVS1*, from the restricted area of the airport, and the developed line detection algorithms based on image processing methods, and their analysed their efficiency in implementation in single-board computers such as the Nvidia Jetson family.

The third research area is the classification of in-pavement airfield ground lighting. This classification involves detecting the light fixtures and assessing the wear of their prisms, evaluating the chromaticity of the light emitted by each point source, and comparing it to international standards. The proprietary dataset, *PLAVS2*, was developed for this purpose, and appropriate algorithms based on image processing methods to detect the region of interest (ROI) were selected, neural networks such as GoogLeNet, VGG-19 and ResNet, as well as performing analysis and selection of light chromaticity sensors, proposing a system to support airport services in daily inspection of manoeuvring surfaces.

The realization of the scientific research presented in the doctoral dissertation was made possible through the scientific collaboration of the Division of Signal Processing and Electronic Systems at Poznan University of Technology with Poznań–Ławica Airport.