

**Politechnika Poznańska**

---

Wydział Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki

INSTYTUT ROBOTYKI I INTELIGENCJI MASZYNOWEJ



**ROZPRAWA DOKTORSKA**

**MARTA ROSTKOWSKA**

**NOWE METODY PASYWNEJ PERCEPCJI WIZYJNEJ W  
ZADANIU NAWIGACJI AUTONOMICZNEGO ROBOTA  
MOBILNEGO.**

**NEW METHODS OF PASSIVE VISUAL PERCEPTION IN AUTONOMOUS MOBILE ROBOT  
NAVIGATION.**

PROMOTOR:

prof. dr hab. inż. Piotr Skrzypczyński

Poznań 2023

## Streszczenie

Podstawowym zadaniem autonomicznego robota mobilnego jest znalezienie odpowiedzi na pytanie „gdzie jestem?” w czasie rzeczywistym. Istnieje wiele różnych sensorów i metod przetwarzania danych, które pozwalają udzielić odpowiedzi na to pytanie. W niniejszej rozprawie głównym obiektem badań był hybrydowy system wizyjny, złożony z kamery perspektywicznej i kamery katadioptrycznej, odwzorowujący koncepcję widzenia peryferyjnego oraz centralnego u zwierząt i ludzi. W pracy przedstawiono korzyści płynące z użycia systemu wizyjnego o hybrydowym polu widzenia oraz jego praktyczne zastosowanie w zadaniach lokalizacji metrycznej i topologicznej w globalnym układzie odniesienia.

Zostały zaproponowane algorytmy przetwarzania obrazu pozwalające na implementację podstawowych funkcji wizji peryferyjnej – wykrywania obiektów lub zdarzeń w otoczeniu robota. Oryginalnym aspektem badań było potraktowanie kamery perspektywicznej i dookólnej, jako dwukamerowego układu stereowizyjnego, w celu wyznaczenia odległości pomiędzy robotem, a obserwowanym przez obie kamery obiektem. Wymagało to opracowania nowych metod kalibracji pary kamer stereo oraz algorytmu wyznaczania wartości głębi sceny metodą triangulacyjną odpornego na zniekształcenia wywołane rektyfikacją obrazu dookólnego.

Wybrane algorytmy zostały użyte do wykrywania pasywnych landmarków z kodami matrycowymi QR i zbadano efektywność konwolucyjnej sieci neuronowej jako detektora tych landmarków na oryginalnych obrazach z kamery katadioptrycznej. Korzystając z wyników tych badań wykazano możliwość użycia pasywnego sensora wizyjnego o hybrydowym polu widzenia do realizacji zadania lokalizacji metrycznej na podstawie znanego ułożenia landmarków z wykorzystaniem wykrywania znaczników za pomocą funkcji widzenia peryferyjnego oraz pomiaru odległości i kątów za pomocą ruchomej kamery perspektywicznej implementującej widzenie centralne.

Przeprowadzono również badania nad wykorzystaniem konwolucyjnych sieci neuronowych na obrazach z kamery dookólnej w zadaniu lokalizacji topologicznej w środowisku pomieszczeń zamkniętych. Wykazano, że zastosowanie oryginalnych obrazów z kamery katadioptrycznej w lokalizacji topologicznej daje tak samo dobre wyniki jak wykorzystanie zdjęć panoramicznych, pozbawionych zniekształceń wynikających z budowy kamery i użycia zwierciadła, jest jednak mniej wymagające obliczeniowo.

Złożone procedury obliczeniowe zostały zaimplementowane z użyciem procesora graficznego GPGPU i programowania współbieżnego, Dokonano analizy wpływu implementacji przy wykorzystaniu procesora graficznego na czas przetwarzania obrazów i uzyskanych z nich informacji, oraz na szybkość i precyzję określenia położenia robota.

Wyniki badań eksperymentalnych przedstawione w rozprawie dowodzą, że wykorzystanie inspirowanej biologicznie koncepcji akwizycji obrazów oraz ich równoległego przetwarzania pozwala realizować w czasie rzeczywistym wybrane funkcje nawigacyjne robota mobilnego w systemie wbudowanym o ograniczonych zasobach obliczeniowych.

*Małgorzata Roskońska*



## Abstract

The primary task of an autonomous mobile robot is to find the answer to the question, "where am I?" in real time. There are many different sensors and data processing methods that help to answer this question. In this thesis, the main subject of research was a hybrid vision system, consisting of a perspective camera and a catadioptric camera, mapping the concept of central and peripheral vision in animals, respectively. The thesis presents the benefits of a vision system with a hybrid field of view and its practical application in metric and topological localisation tasks in a global reference system.

Image processing algorithms were proposed to implement the basic functions of peripheral vision - detecting objects or events in the robot's environment. An original aspect of the research was to treat the perspective and omnidirectional camera as a two-camera stereovision system, in order to determine the distance between the robot and the object observed by the two cameras. This required the development of new methods for calibrating the stereo camera pair and an algorithm for determining the depth values using the triangulation method that is robust to distortions caused by rectification of the circular catadioptric image.

New algorithms were used to detect passive landmarks with QR matrix codes. Moreover, the effectiveness of a convolutional neural network as a detector of these landmarks on the original catadioptric camera images was investigated. Using the results of these studies, the feasibility of using a passive vision sensor with a hybrid field of view to perform a metric localisation task based on the landmarks at known positions was investigated. Implementation of this localisation task using landmark detection with peripheral vision and measuring the distances to the detected landmarks with the rotating perspective camera was demonstrated.

Research was also conducted on the use of convolutional neural networks on omnidirectional camera images in the task of topological localisation in indoor environments. It was shown that the use of original catadioptric camera images in topological localisation gives as good results as the use of panoramic images, which are free of distortions due to the use of a mirror, but is less computationally demanding.

Complex computational procedures have been implemented using a GPGPU and parallel programming libraries. An analysis has been performed of the impact of implementation using a GPGPU on the processing time of the images and the information obtained from them, and finally, on the accuracy and computation time of determining the position of the robot.

The experimental results presented in the thesis demonstrate that the use of a biologically-inspired concept of image acquisition and parallel processing makes it possible to realise in real-time selected navigation functions of a mobile robot in an embedded system with limited computational resources.

Marta Rostkowska