

Streszczenie

ZASTOSOWANIE METOD UCZENIA ZE WZMOCNIENIEM DO STEROWANIA ROBOTEM PRZEMYSŁOWYM WSPÓLPRACUJĄCYM Z CZŁOWIEKIEM

W pracy podjęto problematykę dotyczącą zastosowania metod sztucznej inteligencji do sterowania robotem przemysłowym, pracującym we wspólnej strefie roboczej z człowiekiem. Pierwszym celem pracy było opracowanie takiego systemu sterowania robotem, aby wykrywał i omijał on przeszkody niespodziewanie pojawiające się na jego zadanej trajektorii ruchu. Zaproponowane rozwiązanie pozwoliło na jego zastosowanie do zapewnienia bezpiecznej współpracy człowieka i robota przemysłowego, we współdzielonej strefie roboczej. Dzięki temu, możliwy był jednoczesny dostęp człowieka i robota do tej samej strefy. Do opracowania systemu sterowania zastosowano algorytmy uczenia ze wzmocnieniem, a do wykrywania przeszkód w polu roboczym robota zaprojektowano i zbudowano dedykowaną głowicę z laserowymi czujnikami odległości, zamontowaną na kiści manipulatora.

W pierwszych rozdziałach pracy przedstawiono różne rozwiązania ilustrujące współpracę robotów przemysłowych z człowiekiem. Opisano zastosowania w robotyce algorytmów bazujących na sztucznej inteligencji i uczeniu ze wzmocnieniem (*Reinforcement Learning*, RL). Omówiono różne metody wykrywania przeszkód, a następnie przedstawiono matematyczne podstawy stosowanych w badaniach algorytmów uczenia ze wzmocnieniem. Opisano środowisko pracy oraz stanowisko badawcze, w którym były przeprowadzane testy i badania symulacyjne.

Zasadniczą częścią pracy były badania symulacyjne i doświadczalne przeprowadzone w laboratorium z zastosowaniem rzeczywistego robota. Wykonano badania różnych algorytmów uczenia ze wzmocnieniem, w zadaniu pozycjonowania punktu środkowego narzędzia (*tool center point*, TCP) robota. Na podstawie uzyskanych wyników wytypowano algorytm, który zastosowano do opracowania systemu składającego się z dwóch, tak zwanych agentów pracujących równolegle i sterujących robotem. Jeden z nich był odpowiedzialny za omijanie przeszkód, a drugi za podążanie po zadanej trajektorii ruchu. Zaprojektowany system zoptymalizowano i zastosowano do sterowania robotem przemysłowym pracującym jednocześnie w tej samej strefie roboczej z człowiekiem.

Wykonane badania, potwierdziły możliwość pracy człowieka i robota przemysłowego we wspólnej strefie roboczej. Wykazano, że opracowany system sterujący, bazujący na metodach uczenia ze wzmocnieniem sterował robotem w taki sposób, że bezkolizyjnie omijał różne przeszkody zlokalizowane w dowolnym miejscu w przestrzeni roboczej, w tym człowieka. Tym samym wykazano, że zastosowanie metod uczenia ze wzmocnieniem bazujących na sztucznej inteligencji, pozwala na bezpieczne sterowanie robotem współpracującym z człowiekiem.

Abstract

APPLICATION OF REINFORCEMENT LEARNING ALGORITHMS TO CONTROL AN INDUSTRIAL ROBOT COOPERATING WITH HUMAN

This thesis presents the issues related to the application of artificial intelligence methods to control an industrial robot operating in a shared workspace with a human being. The first goal of the thesis was to develop a robot control system that would detect and avoid obstacles, that unexpectedly appears on its given motion trajectory. The proposed solution allowed for its use to ensure safe cooperation between human and an industrial robot in a shared workspace. As a result, simultaneous human and robot access to the same space was possible. To develop the control system, Reinforcement Learning (RL) algorithms were used, and to detect obstacles in the workspace of the robot, a head with laser distance sensors was designed, built, and mounted on the manipulator's wrist.

In the first chapters of the thesis, various solutions illustrating the cooperation of industrial robots with humans were presented. The application of algorithms based on artificial intelligence and RL methods in robotics was described. Various methods of obstacle detection were discussed, and then the mathematical foundations of the RL algorithms used in the research were presented. The environment and the test stand in which the tests and simulation experiments were carried out were described.

The essential part of the thesis was experimental research carried out in a laboratory with the application of a real robot. Research on various RL algorithms was carried out in the task of positioning the tool center point (TCP) of the robot. Based on the obtained results, an algorithm was selected and used to develop a system consisting of two agents working in parallel and controlling the robot. One of them was responsible for avoiding obstacles, and the other one was responsible for moving the TCP of the robot on a given trajectory of motion. The designed system was optimized and used to control an industrial robot operating simultaneously in the same workspace with a human being.

The tests carried out confirmed the possibility of human and industrial robot cooperating in a shared workspace. It was shown that the developed control system, based on the RL methods, controlled the robot in such a way that it avoided collision-free various obstacles located anywhere in the workspace, including humans. Thus, it has been shown that the use of RL methods based on artificial intelligence allows for the safe control of a robot cooperating with a human.