

Title: Development of Multimodal Collaborative Robot System using Hybrid Programming Methods

Abstract

The development of collaborative robots (cobots) has enabled automation of several processes such as assembly, logistics, packaging etc. which were historically impossible to automate. Compared to the conventional industrial robots, cobots provide the flexibility to execute a task together with humans along with the possibility of performing different types of tasks by moving them from one workstation to another. Although these advantages of cobots have opened up a wide range of possibilities, there are several issues such as environment model generation, task specific programming, requirement of qualified personnel etc. that need to be resolved before they can become a common part of the manufacturing process.

To assess the requirements for performing a given task using a cobot system, the aspects: ease of use, adaptability, efficiency, robustness and safety are looked into. A study of state of the art methods compares the identified requirements and indicates that three hybrid programming approaches "instructive programming", "programming by demonstration" and "end-to-end learning" are suitable for enabling the use of movable cobots in industrial environments.

Based on these approaches, three methods are developed in this thesis, each of which involves integrating vision systems into cobots. The methods were implemented in three different scenarios and compared on the basis of the identified requirements for their use in manufacturing environments.

The first method "Instructive programming for autonomous task performance" was implemented into a demonstrator capable of performing assembly tasks of fixing and screwing. The method involved object detection based on template matching with an occupancy grid map of the environment in order to achieve collision free task execution. A task of part handling was considered for the implementation of the second method "Programming by demonstration through hand-eye coordination" in which the cobot was programmed using a combination of a 2D camera and human demonstrations. In contrast to the first method, the object detection was performed using Region Based Convolutional Neural Networks for 2D images and the operators experience was used for task sequencing. Finally the third method "Task performance through deep reinforcement learning" was implemented in a simulation environment for performing simple assembly tasks: peg in hole and ring in peg. A mapping from state to actions for controlling the cobot was learned using policy optimization in an end-to-end manner.

It was concluded that the second method fulfilled most of the requirements of movable cobots as the method combined the human capabilities of adapting to new scenarios with the cobot capabilities of performing tasks with high accuracy and repeatability.

Titel: Entwicklung eines multimodalen kollaborativen Robotersystems unter Verwendung hybrider Programmiermethoden

Kurzfassung

Die Entwicklung kollaborierender Roboter (Cobots) ermöglicht die Automatisierung verschiedener Prozesse, wie zum Beispiel Montage, Logistik oder Verpackung, die bisher unmöglich zu automatisieren waren. Cobots bieten gegenüber konventionellen Robotern sowohl die Vorteile, mit Menschen zusammen zu arbeiten, als auch verschiedene Arten von Aufgaben durchzuführen, indem sie zwischen Arbeitsplätzen bewegt werden können. Obwohl diese Vorteile der Cobots eine große Fülle an Möglichkeiten eröffnen, bleiben z. B. noch einige Probleme wie die Generierung eines Umgebungsmodells, aufgabenspezifisches Programmieren und die Anforderungen an qualifiziertes Personal bestehen. Diese Probleme müssen gelöst werden, bevor Cobots Teil des alltäglichen Produktionsprozesses werden.

Um die Anforderungen zu ermitteln, welche entstehen, wenn eine Aufgabe mit einem Cobot System ausgeführt werden soll, wurden die Aspekte Bedienerfreundlichkeit, Wandlungsfähigkeit, Effizienz, Stabilität und Sicherheit näher betrachtet. Eine Studie zum Stand der Technik vergleicht anhand der identifizierten Anforderungen unterschiedliche Programmierverfahren. Es wurden drei hybride Programmierverfahren ermittelt, "Instruktionsprogrammierung", "Programmieren durch Vormachen" und "End-to-End Learning", die geeignet sind um bewegliche Cobots im industriellen Umfeld zu nutzen.

Basierend auf diesen Verfahren wurden in der vorliegenden Arbeit drei Methoden entwickelt, die jeweils die Integration von Vision-Systemen in Cobots beinhalten. Die Methoden wurden in drei verschiedenen Szenarien implementiert und auf der Basis der zuvor identifizierten Anforderungen für ihre Anwendung im Produktionsumfeld verglichen.

Die erste Methode "Instruktionsprogrammierung für autonome Tätigkeitsausführung" wurde in einem Demonstrator umgesetzt, der in der Lage ist die Montagetätigkeiten Fixieren und Schrauben durchzuführen. Die Methode beinhaltet Objekterkennung basierend auf Template Matching mit einer Umgebungskarte, die mit Occupancy Grid Mapping erstellt wurde, um einen kollisionsfreien Ablauf zu ermöglichen. Eine Teilehandlungsaufgabe wurde für die Implementierung der zweiten Methode betrachtet, "Programmieren durch Vormachen mit Hand-Auge-Koordination", in welcher der Cobot mit Hilfe einer Kombination aus 2D-Kamera und Vormachen durch den Menschen programmiert wurde. Im Gegensatz zur ersten Methode besteht hier die Objekterkennung aus einem künstlichen neuronalen Netz (Region Based Convolutional Neural Network) für 2D-Bilder und die Erfahrung des Bedieners dient der Aufgabensequenzierung. Die dritte Methode "Aufgabenausführung durch Deep Reinforcement Learning" wurde in einer Simulationsumgebung umgesetzt, um einfache Montagetätigkeiten durchzuführen: Stempel in Bohrung und Ring in Stempel. Um den Roboter zu kontrollieren, wurde eine Zuordnung von seinen Zuständen auf Aktionen mit Hilfe von End-to-End Policy Optimierung gelernt.

Es stellte sich heraus, dass die zweite Methode am besten den Anforderungen von beweglichen Cobots entspricht. Sie kombiniert die menschliche Fähigkeit, auf neue Szenarien zu reagieren, mit der Fähigkeit des Cobots, Aufgaben mit hoher Präzision und hoher Wiederholbarkeit durchzuführen.