

## **Kurzfassung**

Der Industrierobotereinsatz für die Kleinserienproduktion, speziell bei kleinen und mittleren Unternehmen, stellt Anforderungen, die von konventionellen Robotersystemen nicht ausreichend erfüllt werden. Dies betrifft insbesondere die zu geringe Wandlungsfähigkeit der Anlagen und deren Programmierung, welche zu viel Zeit beansprucht und zu hohe Anforderungen an die Qualifikation der beteiligten Mitarbeiter stellt. Um diesem Defizit entgegenzuwirken, wurde ein Konzept zur bedienerfreundlichen Programmierung und Bedienung von Industrierobotern entwickelt, welches auch einen Bediener mit wenig Roboterkenntnissen befähigt, innerhalb kurzer Zeit robust ausführbare Roboterprogramme zu erstellen.

Das entwickelte Programmierkonzept nutzt einen skillbasierten Programmieransatz, wodurch zum einen eine hierarchische Aufteilung der Programmieraufgaben auf verschiedene Nutzerebenen und zum anderen eine gegenüber Toleranzen und Varianten robuste Programmausführung erreicht wurde. Um auch Konfigurationsfehler und Fehlerzustände in Komponenten und Prozessen erkennen zu können, wurde eine Fehlerfortpflanzungsanalyse in die Programmausführung integriert. Durch die Einbindung von Strategien zur Erkennung und Behandlung von Fehlern in die Programmbausteine verkürzt sich die Programmierzeit für den Bediener. Die automatische Rückführung von Fehlerzuständen auf ihre Ursachen trägt zur Verkürzung der Anlagenstillstandszeit im Fehlerfall bei. Insgesamt wird so der Anteil der produktiven Nutzungsdauer erhöht und die Anlagenamortisationszeit verkürzt. Um die Bedienung der Roboter während ihrer Kalibrierung und Programmierung sowie während der Fehlerbehandlung möglichst intuitiv zu gestalten, wurde unter anderem die direkte physische Interaktion zwischen Mensch und Roboter als Bedienschnittstelle genutzt. Genauigkeitseinschränkungen, die aus diesem Ansatz heraus entstehen, konnten durch den Einsatz von Such- und Lernstrategien ausgeglichen werden.

Das entwickelte Konzept wurde an einem Demonstrator zur Lösung einer industriellen Fertigungsaufgabe umgesetzt. In einer eingangs durchgeführten Analyse wurde in der Kleinserienproduktion sowie bei kleinen und mittleren Unternehmen ein großes Potential für die Automatisierung von Handhabungs- und Montageaufgaben identifiziert. Deshalb wurde für den Demonstrator eine variantenreiche Montageaufgabe als Testszenario ausgewählt. Anhand des Demonstratoraufbaus konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, Fertigungsaufgaben und die ihnen entsprechenden Roboterfähigkeiten so zu strukturieren, dass eine Programmierung des Roboters durch den Anlagenbediener allein über Auswahl und Parametrierung der Roboterfähigkeiten möglich ist. Auch eine automatisierte Programmerstellung zur weiteren Entlastung des Bedieners konnte für den gegebenen Anwendungsfall realisiert werden. Die für den Demonstrator entwickelten Software- und Hardwarekomponenten zeichnen sich durch eine hohe Wiederverwendbarkeit aus, womit eine weitere wesentliche Konzeptanforderung erfüllt wurde. Der nächste Umsetzungsschritt ist der Transfer des Demonstrators in das reale Produktionsumfeld.

## **Abstract**

The utilisation of industrial robots for small-batch production, especially in small and medium-sized enterprises, imposes requirements which can not be fulfilled by conventional robotic systems. Particularly the mutability of the systems is too low and their programming requires too much time and is too dependent on qualified personnel. To improve this situation a concept for operator-friendly programming and handling of industrial robots was developed, which enables also operators with only little knowledge of robotic systems to quickly generate robust robot programs.

The developed programming concept utilises a skill-based approach, thus allowing a hierarchical separation of the programming tasks along the user levels and resulting in a program execution, which is robust against process tolerances and variations. To be able to detect configuration errors as well as faulty states in components and processes, an error propagation analysis was integrated into the program execution. By incorporating strategies for error detection and handling, the programming time for the operator is shortened. The ability to conclude underlying faults from detected errors reduces the time required by the operator to return the system to an error-free state. In total the ratio of productive usage during the utilisation period is increased, thus shortening the payback period.

In order to realise an intuitive handling of the robot during its calibration and programming as well as during error recovery, the approach utilises the direct physical interaction between human and robot. Accuracy limitations originating from this method have been compensated by the use of search strategies and learning approaches.

The developed concept has been implemented in a demonstrator cell, solving an industrial production task. Based on an initial analysis of suitable tasks in the area of small-batch production and at small and medium-sized enterprises, a significant potential for the automation of handling and assembly tasks had been identified. Based on this analysis an assembly task with many variants has been selected as test scenario for the demonstrator. It has been demonstrated that it is possible to structure production tasks and the respective robot skills in a way that allows programming of the robot by the operator just by selection and parameterisation of those skills. Additionally an automated program generation, which further reduces manual effort, has been implemented for the given use case. The software and hardware components that have been developed for the demonstrator are characterized by their high reusability, which has been one of the major requirements for the overall system. The next implementation step is the transfer of the demonstrator cell into the real production environment.