

Industrieroboter für KMU

Flexible und intuitive Prozessbeschreibung

Markus Rickert und Alexander Perzylo, fortiss, An-Institut TU München

Industrial Robots for SMEs – Flexible and Intuitive Process Specifications

The requirements of industrial production have drastically changed in the past. Mass production has been the predominant approach for decades, but there is a growing demand for individualized goods. In particular, small and medium-sized enterprises (SME) deal with small lot sizes and even single-item production. These companies have very demanding requirements for robot deployment. Programming robots must be time efficient and not require specific expertise in robotics, so that shop floor workers can use them. In this article, we introduce a knowledge-based approach to address these issues.

Keywords:

SME, human-robot interaction, assembly, industry 4.0, ontologies, semantic process description

Die Produktion in kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) findet oft im Rahmen von Kleinserien oder sogar Einzelfertigung statt. Um diese KMU durch Roboter-basierte Automatisierung zu unterstützen, bedarf es eines Umdenkens in der Ausgestaltung der Bedienkonzepte. In diesen Anwendungsszenarien gewinnt die effiziente Programmierung und Adaption enorm an Stellenwert. Zudem muss das benötigte Vorwissen im Umgang mit Robotern soweit reduziert werden, dass Facharbeiter ohne großen Ausbildungsaufwand Robotersysteme selbst bedienen können. In diesem Beitrag stellen wir einen wissensbasierten Ansatz vor, der die genannten Herausforderungen behandelt.

Industrieroboter werden gegenwärtig typischerweise in der Großindustrie eingesetzt. Schweißanwendungen in der Automobilbranche stellen dabei einen Großteil der Einsatzgebiete dar. Arbeitszellen dieser Art werden durch spezialisierte Teams über mehrere Wochen

10.000 Mitarbeitern in allen deutschen produzierenden Unternehmen beläuft sich im Durchschnitt auf 261 Stück [2]. Gemäß Schätzungen der International Federation of Robotics (IFR) wurden in deutschen KMU im Jahr 2008 in den Bereichen Lebensmittel, Automobil, Elektronik und Chemie bis zu 1600 Roboter eingesetzt, was lediglich einem Verhältnis von 6 Robotern auf 10.000 Mitarbeiter entspricht [2].

und Monate programmiert. Häufig wird hier vorab eine Vermessung der Zelle vorgenommen und mit einem digitalen Modell abgeglichen, sodass eine virtuelle Programmierung parallel zu dem Aufbau vorgenommen werden kann. Diese Art der Programmierung erfordert ausgeprägtes Expertenwissen aus dem Bereich der Robotik, sei es von der Bedienung von Teach Pendants und ihren herstellerspezifischen Programmiersprachen bis hin zu komplexen CAD-basierten Softwaresystemen. Der aufwendigen Programmierung steht eine äußerst lange Laufzeit dieser Zellen gegenüber, was zu einer großen Produktivitätssteigerung für die Unternehmen führt.

KMU verfügen im Allgemeinen nicht über Mitarbeiter mit entsprechendem Robotik-Hintergrund. Die Verwendung der derzeitigen Bedienkonzepte stellt für sie ein großes Hindernis dar. Viele KMU scheuen die Kosten, Angestellte im Umgang mit Robotern zu trainieren. Werden nur einzelne Mitarbeiter geschult, gerät das Unternehmen zudem in ein kritisches Abhängigkeitsverhältnis. Erschwerend kommt hinzu, dass in KMU eine vollkommen abweichende Art der Fertigung gefragt ist: viele Varianten mit kurzen Produktzyklen bedingen eine hohe Effizienz hinsichtlich der Programmierung der Roboter und deren Auslastung [3]. Um den Einsatz von Robotersystemen in KMU zu fördern, ist daher eine für den jeweiligen Facharbeiter verständliche Eingabeart der für ihn relevanten Prozesse essentiell.

Kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) hingegen stellen einen bislang nicht hinreichend erschlossenen Markt dar. Im Wirtschaftsbereich des verarbeitenden Gewerbes fallen 97,4 % aller Unternehmen in Deutschland in die Kategorie KMU, also in Unternehmen mit weniger als 250 Mitarbeitern. Sie stellen in diesem Bereich 44,8 % aller Arbeitsplätze mit einem Umsatzanteil von 21,2 % und einem Bruttoinvestitionsanteil in Sachanlagen von 25,1 % [1]. Die Anzahl an Robotern pro

Um den Anforderungen von KMU gerecht zu werden, sieht der hier präsentierte Ansatz vor, die Kommunikationsebene zwischen Benutzer und Robotersystem auf eine abstraktere Ebene anzuheben. Hierzu wird das Robotersystem mit zusätzlichem Wissen über seine Fähigkeiten, Werkzeuge, Sensoren sowie die Anwendungs-



Dr. Markus Rickert arbeitet als Gruppenleiter am fortiss Institut und ist verantwortlich für die Fachgebiete Robotik und Autonomes Fahren.



Alexander Perzylo, M.Sc., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet Robotik am fortiss Institut mit den Schwerpunkten wissensbasierte Systeme und Mensch-Roboter-Interaktion.

rickert@fortiss.org
www.fortiss.org

domäne ausgestattet, sodass der Facharbeiter nicht alle Parameter einer Aufgabe selbst spezifizieren muss, sondern einige dieser Parameter automatisch inferiert werden können [4].

Explizite Repräsentation von Wissen

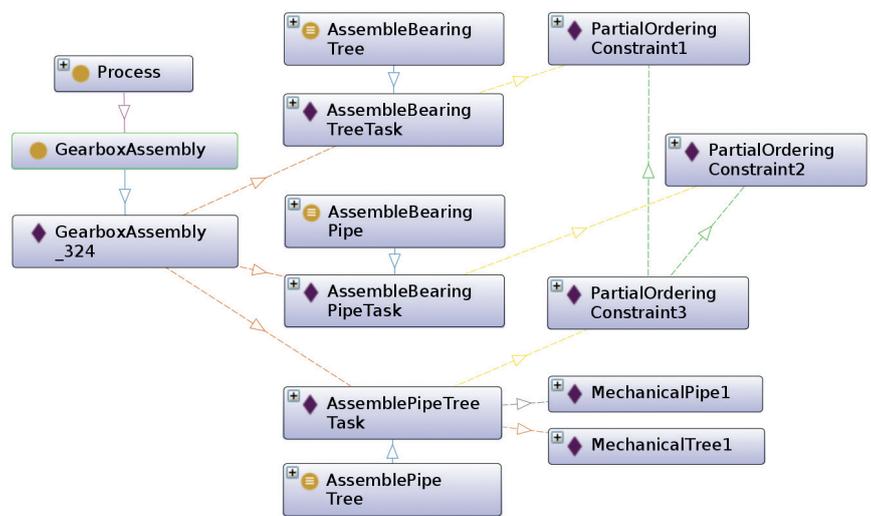
Eine intuitive Kommunikation zwischen zwei Kooperationspartnern ist nur möglich, wenn beide über dasselbe Allgemein- und Domänenwissen verfügen. Für Menschen ist es selbstverständlich, über grundlegendes Wissen wie Farben und Größen zu sprechen. Domänenexperten verständigen sich blind über Fachbegriffe bei Schweißanwendungen oder Montagevorgängen. Robotersysteme müssen daher über ähnliches Wissen verfügen, um eine domänenspezifische Eingabe verstehen und auch mit unterspezifizierten Aufgabenbeschreibungen umgehen zu können.

Heutzutage eingesetzte Programmiersprachen für Roboter verfügen über eine feste Anzahl an Basisanweisungen mit deren Hilfe sehr komplexe Abläufe umgesetzt werden können. Diese beinhalten grundsätzliche Variablendefinitionen für Gelenkstellungen oder kartesische Koordinaten, Kontrollstrukturen sowie Fahr- und E/A-Anweisungen. In derartigen Programmen wird der konkrete Ablauf der Roboterbewegungen beschrieben, der Bezug zur eigentlich ausgeführten Aufgabe – die Semantik – fehlt jedoch und wird behelfsmäßig über Kommentare hergestellt. Das Umsetzen von industriellen Fertigungsprozessen erfordert ausgiebiges Training und Expertenwissen der Robotik-Domäne. Programme aus vielen Zeilen Programmtext sind nach einiger Zeit oft auch für den ursprünglichen Programmierer nicht mehr auf Anhieb verständlich.

Im Gegensatz hierzu steht die Beschreibung der eigentlichen Aufgabe. Ein Pick-and-Place-Prozess beinhaltet z. B. die Handhabung von bestimmten Objekten und Quell- und Zielregionen, die entsprechend beschrieben werden können. Ist dem Roboter diese Zielsetzung bekannt, kann er im Fehlerfall angemessene Rückmeldungen geben. Kann zum Beispiel ein Prozess aufgrund eines fehlenden Objekts nicht ausgeführt werden, ergibt sich nun die Option, den Benutzer um Überprüfung und Bereitstellung des Objekts zu bitten.

Die semantische Prozessbeschreibung aus Bild 1 setzt sich aus einzelnen Teilaufgaben zusammen, deren zeitliche Abfolge durch eine partielle Ordnung festgelegt ist. Diese lassen sich für eine Domäne in einer Ontologie hierarchisch definieren und entsprechend spezia-

lisieren. Dieser Ansatz basiert auf Technologien des Semantic Web [5]. Auf dieser Ebene legt der Benutzer Interaktionsobjekte, zu verwendende Werkzeuge und weitere Bedingungen zur Umsetzung der Aufgabe fest. Unterhalb dieser Ebene findet eine Abbildung der abstrakt parametrisierten Aufgaben auf vorhandene Roboterfähigkeiten statt. Durch die Trennung von Aufgabenbeschreibung mit ihren Anforderungen und einer Arbeitszellenbeschreibung mit ihren Fähigkeiten lassen sich die semantischen Prozessbeschreibungen wiederverwenden und auf verschiedene Arbeitszellen übertragen.



Semantische Objektmodelle und geometrische Bedingungen

Für die Parametrisierung vieler Aufgabentypen ist eine detaillierte Beschreibung involvierter Objekte erforderlich. Dies schließt Eigenschaften wie zum Beispiel Abmessungen, Gewicht, Materialeigenschaften, Polygon-Triangulierung für 3D-Darstellung, Greifpositionen und CAD-Informationen ein. Durch die Übertragung dieser Datenstrukturen in eine Wissensbasis, beispielsweise durch den Import von gängigen Industrie-Austauschformaten wie STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data) oder IGES (Initial Graphics Exchange Specification), ergibt sich zudem die Möglichkeit der Vernetzung mit den semantischen Prozess- und Arbeitszellenbeschreibungen. Objektmodelle dienen hier als Parameter für Aufgaben. Ebenso können auf diese Art Bestandteile einer Arbeitszelle beschrieben werden. Die Verwendung einer gemeinsamen Beschreibungssprache ermöglicht eine einheitliche Darstellung und das Teilen und Verknüpfen von Informationen, was zu Synergieeffekten im Gesamtsystem führt.

Bild 1: Auszug aus einer semantischen Beschreibung eines industriellen Prozesses (Montage einer Getriebeeinheit in drei Schritten). Dargestellt sind Klassen einer ontologischen Taxonomie (gelb) und Instanzen der jeweils assoziierten Klassen (lila).

Gerade Montageprozesse lassen sich sehr gut über einen Bezug zwischen Flächen, Kanten und Punkten eines bei CAD üblichen Begrenzungsflächenmodells (Boundary Representation, BREP) [6] beschreiben. Im Gegensatz zu Polygonmodellen beinhalten derartige Daten Informationen über z. B. Achse und Radius von Kreisen und Zylindern. Diese exakten mathematischen Modelle ermöglichen es, präzise geometrische Verknüpfungen zwischen Objekten herzustellen. Durch unterschiedliche geometrische Bedingungen können Kontaktflächen oder Ausrichtungen beschrieben und somit ein gewünschter Endzustand eines Montageprozesses von zwei Bauteilen definiert werden. Häufig verwendete geometrische Bedingungen sind hierbei Konzentrizität, Parallelität oder Koinzidenz. Im Gegensatz zur Definition dieser Bedingungen bei der Konstruktion in CAD-Programmen ist dieser Vorgang in dem hier beschriebenen System ein Teil der Parametrisierung von einzelnen Prozessschritten und kann durch das Robotersystem interpretiert und ausgeführt werden.

Intuitive Benutzerschnittstellen

Das Domänenwissen ist Teil des Gesamtsystems und muss nicht durch den Benutzer erstellt werden. Die semantischen Beschreibungen werden im Hintergrund einer intuitiven Benutzerschnittstelle automatisch eingesetzt und erweitert.

Eingabemodalitäten wie sie heutzutage bei Smartphones üblich sind, zeichnen sich durch ihre einfache Verständlichkeit aus. Viele Anwender sind bereits mit dieser Art der Bedienung vertraut. Daher basiert die zentrale graphische Benutzerschnittstelle, welche in Bild 2a gezeigt wird, auf einer Touch-Bedienung. Bei einer Kooperation zwischen Mensch und Roboter können weitere Modalitäten beitragen, die Interaktion zu verbessern. Wie in einer durchgeführten Benutzerstudie gezeigt

wurde, werden insbesondere Handgesten zur Auswahl von Objekten und Orten in einer Arbeitszelle präferiert [7]. Um diesem Resultat Rechnung zu tragen, integriert die zentrale Benutzerschnittstelle ein Modul zur Handgesten-Erkennung, das optional vom Benutzer verwendet werden kann.

In Verbindung mit Objekterkennung und visuellem Feedback durch Projektoren, die über dem Werk Tisch angebracht sind (Augmented Reality), kann das vorhandene Wissen des Robotersystems auf verständliche Art und Weise dem Benutzer veranschaulicht werden. Bild 2b zeigt, wie solche Rückmeldungen (z. B. Objektbezeichnungen oder Meta-Informationen) dargestellt werden können. Nicht erkannte Objekte oder solche außer Reichweite sind ebenfalls sofort ersichtlich.

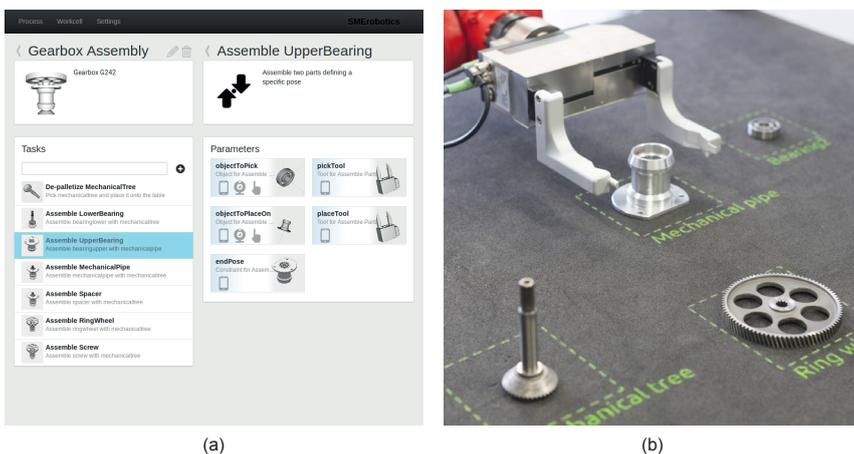
Ausführung von Prozessbeschreibungen

Bisher wurde dem System lediglich die zu erfüllende Aufgabe beschrieben. Für die Ausführung ist jedoch die Beschreibung der konkret vorhandenen Hardware und ihres Aufbaus notwendig. Dies beinhaltet eine Beschreibung der Platzierung und Geometrie der Arbeitszelle und des Roboters, sowie dessen Kinematik, der vorhandenen Werkzeuge und Sensoren. Wird eine bestimmte Arbeitszelle zur Ausführung eines Prozesses ausgewählt, kann überprüft werden, ob die für die Ausführung des Prozesses notwendige Ausstattung vorhanden ist. Weiterhin wird eine Transformation der abstrakten Aufgabenbeschreibung zu konkreten Roboter-/Werkzeugfunktionen und Objektpositionen durchgeführt. Objekte werden über vorhandene Sensoren und Algorithmen vom System erfasst und in einem zentralen Weltmodell fusioniert. Somit ist bekannt, welche Bauteile in der Arbeitszelle an welchen Positionen vorliegen. Die Parameter der Roboterfähigkeiten, die den einzelnen Teilschritten zugrunde liegen, werden entsprechend angepasst. Die konkreten Steuerbefehle werden gemäß Prozessplan an die Robotersteuerung übermittelt.

Quantitative Evaluierung der Programmierparadigmen

Um eine Analyse der Effizienz dieses Ansatzes gegenüber klassischer Programmierung im Kontext von KMU durchzuführen, wurden zwei Vergleiche am Beispiel eines Montageprozesses einer Getriebeeinheit und der Wand eines Holzhauses umgesetzt. Ausgebildete Teach Pendant-Experten mit langjähriger Erfahrung wurden gebeten, den jeweiligen Prozess zu programmieren.

Bild 2: Roboterzelle mit integrierten kognitiven Fähigkeiten. a) Objektzentrierte Prozesseingabe über graphische Benutzerschnittstelle. b) Darstellung von Zusatzinformationen über Augmented Reality-Projektion.



Die Getriebeeinheit besteht aus vier Bauteilen, die in drei Teilschritten zusammengesetzt werden muss. Die Umsetzung erfolgte an einem System aus zwei Roboterarmen mit jeweils einem Parallelgreifer mit unterschiedlichen Greifbacken. Aufgrund der geringen Toleranzen der Bauteile ist hohe Präzision bei diesen Teilschritten erforderlich. Bei der Umsetzung mit einem Teach Pendant ergab sich eine Gesamtzeit von 48 Minuten. Hiervon wurden 23 Minuten allein für das Einprogrammieren der Objektpositionen verwendet. Nach einer 15-minütigen Einweisung in die neuartige Programmierertechnik wurde derselbe Prozess erneut von demselben Experten durchgeführt. Hierbei konnte die erforderliche Zeit auf 8 Minuten gesenkt werden, was einer Reduktion um 83 % entspricht.

Der Prozess zur Produktion einer Wand eines Holzhauses umfasst das Platzieren von zwei Abdeckplatten auf einem vorbereiteten rechteckigen Holzrahmen. Die Platten mussten danach mit jeweils fünf Nagellinien befestigt werden. Als letzte Operation wurden die Überstände an allen vier Seiten der Wand mit einer Kreissäge abgetragen. Die unterschiedlichen Werkzeuge wurden von dem Roboter über einen Werkzeugwechsler abgelegt und aufgenommen. Die Programmierung mit dem Teach-Pendant dauerte 47 Minuten. Die intuitive Programmierung war nach 13 Minuten abgeschlossen. Dies entspricht einer Zeitersparnis von 72 %.

Bild 3a zeigt einen Auszug aus dem Programmiervorgang für den Anwendungsfall der Herstellung einer Holzwand. Die Ausführung eines Teilschritts des Prozesses ist in Bild 3b zu sehen.

Flexible und intuitive Prozessbeschreibung

Der hier präsentierte intuitive Ansatz verändert grundsätzlich die Herangehensweise der Programmierung von Robotersystemen und der Umsetzung komplexer Prozesse. Es wird nicht mehr wie bisher die konkrete Abarbeitung einzelner Roboterbefehle definiert, sondern die eigentlichen Prozessschritte beschrieben. Dem Arbeiter wird eine für seine Domäne verständliche Schnittstelle angeboten, mit der er ohne ausgiebige Schulung arbeiten kann. Von ihm wird nicht mehr verlangt, sich mit hersteller-spezifischen Programmiersprachen auseinanderzusetzen.

Die Umsetzung des Prozesses ist für den Anwender nun wesentlich einfacher und effizienter. Der entsprechende Aufwand wird bereits vorab von einem Roboterexperten betrieben,

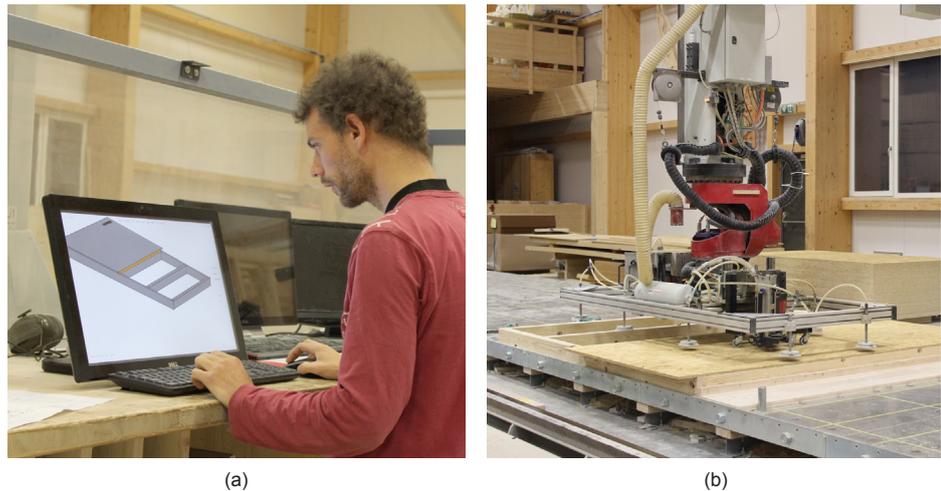


Bild 3: Konstruktion einer Holzwand. a) Eingabe der geometrischen Montagebedingungen. b) Ausführung des spezifizierten Prozesses auf dem Zielsystem, bestehend aus Linearschiene mit hängendem Roboterarm und austauschbaren Werkzeugen (im Bild: Vakuumsauger).

der eine Lösung für eine bestimmte Domäne bereitstellt. Dies beinhaltet die Definition geeigneter Prozessschritte, die ausreichend parametrierbar sind, und die Wissensbeschreibung sämtlicher für die Domäne relevanter Begriffe und für den Prozess relevanter Hardware. Allgemeinwissen kann über sämtliche Domänen hinweg wiederverwendet werden und einige Domänen stellen eine weitere Konkretisierung vorhandener Beschreibungen dar. Über Technologien des Semantic Web können weitere Datenquellen eingebunden und auf bestehendes Wissen zurückgegriffen werden.

Bereits etablierte Softwarewerkzeuge aus den Bereichen CAD und CIM, bei denen die Semantik von Prozessen noch nicht erfasst wird, können erweitert werden, um den hier vorgestellten Ansatz zu integrieren. Ziel muss es sein, sämtliches Wissen der verschiedenen Phasen des Product-Lifecycle-Managements zu erhalten. Wie in der Evaluierung des hier vorgestellten Konzepts gezeigt, ist eine derartige Verknüpfung von Wissen durch Technologien wie Ontologien heutzutage möglich.

Schlüsselwörter:

KMU, Mensch-Roboter-Interaktion, Montage, Industrie 4.0, Ontologien, Semantische Prozessbeschreibung

Dieser Beitrag entstand im Kontext des SME-robotics Projekts, das im 7. Rahmenprogramm der Europäischen Union unter Vertrag #287787 vom 01.01.2012–31.06.2016 gefördert wird.

Literatur

- [1] Söllner, R.: Die wirtschaftliche Bedeutung kleiner und mittlerer Unternehmen in Deutschland, Wirtschaft und Statistik. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2014, S. 40-51.
- [2] Gorle, P.; Clive, A.: Positive Impact of Industrial Robots on Employment, IFR International Federation of Robotics, Metra Martech London 2013.
- [3] Koren, Y.: The Global Manufacturing Revolution: Product-Process-Business – Integration and Reconfigurable Systems. Hoboken, New Jersey 2010.
- [4] Perzylo, A.; Somani, N.; Profanter, S.; Rickert, M.; Knoll, A.: Toward efficient robot teach-in and semantic process descriptions for small lot sizes. In: Robotics: Science and Systems (RSS), Workshop on Combining AI Reasoning and Cognitive Science with Robotics. Rom 2015.
- [5] Shadbolt, N.; Hall, W.; Berners-Lee, T.: The Semantic Web Revisited. In: IEEE Intelligent Systems Journal (2006), S. 96-101.
- [6] Integrated generic resource: Geometric and topological representation, ISO 10303-42, International Organization for Standardization. Genf 2014.
- [7] Profanter, S.; Perzylo, A.; Somani, N.; Rickert, M.; Knoll, A.: Analysis and semantic modeling of modality preferences in industrial human-robot interaction. In: Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). Hamburg 2015, S. 1812-1818.