

Sichere Mensch-Roboter-Kollaboration durch Prädiktion

Patrick Zeising¹, Stefan Brending², Michael Lawo^{1,2}, Jürgen Pannek³

neusta mobile solutions GmbH, Bremen¹

Arbeitsgruppe Künstliche Intelligenz, Universität Bremen²

Dynamics in Logistics, Universität Bremen³

Zusammenfassung

Bestehende Konzepte zur Realisierung von Mensch-Roboter-Kollaboration haben die Einschränkung, dass entweder die Arbeit von Mensch und Roboter zeitlich voneinander getrennt ist, oder sie nur für Roboter mit einer Traglast von maximal 15 Kilogramm anwendbar sind. Wir stellen ein Konzept vor, bei der durch intelligentes Verbinden der Arbeitsbereiche von Mensch und Roboter eine neue Form einer Mensch-Roboter-Kollaboration ermöglicht wird.

1 Einleitung

Die Arbeitsbereiche von Robotern und Menschen sind aus Sicherheitsgründen räumlich und zeitlich strikt voneinander getrennt. Schutzzäune oder Lichtschranken verhindern zuverlässig unbefugtes Eindringen eines Menschen während des Betriebs in den Schutzraum, das in heutigen Produktionsanlagen zum sofortigen Not-Halt des Roboters, zu dessen Stillstand und in der Folge ggf. zu dem einer ganzen Produktionsstraße führt. Durch ein intelligentes Verbinden der Arbeitsbereiche von Mensch und Roboter unter Berücksichtigung relevanter Sicherheitsvorschriften soll eine neue Form einer Mensch-Roboter-Kollaboration ermöglicht werden.

2 Formen der Mensch-Roboter-Kollaboration

Im laufenden Normungsprojekt ISO/TS 15066 „Sicherheit kollaborierender Roboter“ (ISO/DTS 15066, 2014) wird ein Rahmen für Mensch-Roboter-Kollaboration erarbeitet. Es werden vier Arten der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter beschrieben: „überwachter Stillstand“, „Handführung“, „Überwachung von Geschwindigkeit und Abstand“ sowie „Begrenzung von Kraft und Leistung“. Beim „überwachten Stillstand“ liegt eine zeit-

liche Trennung der Arbeitsbereiche von Mitarbeiter und Roboter vor; die Formen „Handführung“ und „Begrenzung von Kraft und Leistung“ lassen sich nur für Roboter mit geringer Traglast einsetzen.

In der produzierenden Industrie sowie in der Forschung wurden zumeist diese drei Betriebsarten betrachtet. Als Beispiel sei der Einsatz eines Industrieroboters von Universal Robots (Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft, 2015) in den BMW Werken in Spartanburg, USA sowie in Dingolfing, Bayern (Fleischmann, 2014) genannt. Der eingesetzte Industrieroboter (Traglast bis zu 10 kg) von Universal Robots (Universal Robots A/S, 2015) assistiert hier beim Einbau einer Innenverkleidung und übernimmt vom Menschen ergonomisch ungünstige Arbeitsschritte. Dabei wird mit vergleichsweise geringen Nutzlasten gearbeitet. Auch die Forschung beschäftigt sich seit vielen Jahren mit der Mensch-Roboter-Kollaboration. Ein Ergebnis dieser Forschung ist der DLR Light-Weight Robot (LWR) des Instituts für Robotik und Mechatronik am DLR Oberpfaffenhofen (Albu-Schäffer u. a., 2007) mit einer Traglast von bis zu 15 kg und Kraftregelung.

Die Verwendung dieser Lösungskonzepte ist beim Einsatz von lagegeregelten Industrierobotern mit hohen Traglasten (mehr als 200kg) und hohem Eigengewicht (1 bis 3t) in kollaborativen Mensch-Maschine-Arbeitsplätzen grundsätzlich nicht möglich. Eine Lösung der Mensch-Roboter-Kollaboration mit Industrierobotern wurde im Rahmen des Projekts RoRa-Rob (Thomas, Busch, Kühlenkoetter, & Deuse, 2011) zur Bearbeitung von Schweißaufgaben entwickelt. Dabei kommen zwei Schwerlast-Roboter zum Einsatz, die zu verschweißende Stahlträger positionieren und dem Menschen eine ergonomische Arbeitsweise erlauben. Hier kommt es zur räumlichen Überschneidung der Arbeitsbereiche von Mensch und Maschine. Die kontinuierliche Überwachung des Arbeitsbereiches durch das optische Überwachungssystem SafetyEye der Firma Pilz kombiniert mit der sicheren Steuerung des Roboters realisiert einen überwachten Stillstand als zeitliche Trennung. Die Kollaboration von Mensch und Roboter mit hohen Traglasten sowie zeitlicher *und* räumlicher Überschneidung durch Überwachung von Abstand und Geschwindigkeit wird im Projekt InSA (BIBA - Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH, 2014) verfolgt.

3 Simulationsbasierte Prädiktion der Kollaboration

In einem exemplarischen Szenario (siehe Abbildung 1) wird deutlich, dass eine umgangssprachlich formulierte Szene für die enge Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine im Bereich der industriellen Produktion bereits die Grenzen des bisher umgesetzten und regulatorisch Machbaren überschreitet. Die im Szenario beschriebenen Abläufe stellen eine enge Zusammenarbeit dar, die weder in den Beispielen aus der Praxis noch bei der Definition von Mensch-Maschine-Zusammenarbeit in der Normung gemeint ist. Maschinen, die dem Menschen unergonomische Arbeitsschritte abnehmen, ihm Werkstücke in verschiedenen Orientierungen präsentieren, hohe Lasten bewegen und während der Durchführung der Arbeitsschritte assistieren, sind bisher nicht praxistauglich. Die Reichweite von Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter wird im bisherigen Wortgebrauch der Mensch-Roboter-Kollaboration unserer Auffassung nach deshalb nicht hinlänglich erfasst.

Herr Mustermann ist ein erfahrener Arbeiter im Alter von 42 Jahren in einem Betrieb für die industrielle Produktion von Motoren für die Automobilindustrie. Er wurde zusätzlich für die Arbeit an cyber-physischen Arbeitsplätzen geschult und arbeitet seit einigen Wochen in der ersten Arbeitsstation dieser Art seines Betriebes zusammen mit einem Industrieroboter mit einer Traglast von 250kg. Hr. Mustermann ist an seiner Arbeitsstation persönlich angemeldet und das System hat bestätigt, dass es seine Anwesenheit über sensorische Systeme wahrnimmt und er für die Arbeit an dieser Station berechtigt ist.

Zu Beginn des Arbeitsablaufs nimmt Hr. Mustermann seine Arbeitsmittel auf. Er soll ein Bauteil an einem Motorblock zu befestigen. Die Arbeitsstation nimmt über Sensorik in der Arbeitsweste von Herrn Mustermann die Bewegungen seiner Extremitäten wahr und kann ihn im gesamten Arbeitsbereich von Mensch und Maschine lokalisieren. Sie stellt fest, dass sich Hr. Mustermann aktuell nicht im Aktionsbereich des Roboters befindet und lässt deshalb den Industrieroboter seine nächsten Arbeitsschritte wie programmiert fortführen. Der Industrieroboter nimmt den Motorblock von einem Transportsystem auf. Hr. Mustermann bewegt sich in den Aktionsbereich des Roboters und bereitet sich auf die Montage des Bauteils vor. Die Arbeitsstation stellt fest, dass vom Industrieroboter jetzt eine Gefahr für Herrn Mustermann ausgeht und reduziert die Geschwindigkeit der Bewegungen der Maschine in Abhängigkeit des Abstands zwischen ihm und dem Roboter. Der Motorblock wird mit sicherer Geschwindigkeit in einer für Herrn Mustermann ergonomischen Position vom Roboter angereicht. Nach der Montage des Bauteils gibt Herr Mustermann mit einer Geste ein Signal und der Motorblock mit dem montierten Bauteil wird sicher in die nächste Arbeitsposition bewegt. Hr. Mustermann braucht sich in der Zwischenzeit nicht aus dem Aktionsradius des Roboters zu entfernen und kann weitere Arbeitsmittel wie Schrauben und ein Werkzeug aufnehmen. Er kann anschließend die Montage am Motorblock abschließen und signalisiert über eine Geste den Abschluss seiner Arbeit am Motorblock.

Abbildung 1: Anwendungsszenario

Bisher wird der Begriff der Kollaboration in cyber-physischer Arbeitsumgebungen durch Umsetzungen und exemplarische Aufbauten semantisch geprägt, die mit räumlichen oder zeitlichen Trennungen bestimmte Gefährdungsklassen ausschließen. Zentrale Erweiterung der Bedeutung muss unserer Ansicht nach aber die räumliche *und* zeitliche Überschneidung der Arbeitsbereiche sein, die den tatsächlich anzustrebenden Abläufen in der industriellen Produktion gerecht wird. Diese Art der Kollaboration ermöglicht ein Umdenken beim Konzipieren von industriellen Produktionsprozessen und eröffnet ein hohes Optimierungspotential im Bereich von zusammenlegbaren Arbeitsschritten und effizienteren Taktzeiten.

Die Umsetzung dieser engen Mensch-Roboter-Kollaboration erfolgt in Form einer Simulationsschicht, die der Prädiktion der ganzheitlich sensorisch erfassten Arbeitssituation von einem aktuellen Zeitpunkt t_x um wenige Sekunden (Δt) zu einem Simulationszeitpunkt in der errechneten Zukunft ($t_x + \Delta t = t_s$) dient. Dabei werden alle zur Verfügung stehenden statischen Informationen über die Arbeitsumgebung, den aktuellen Arbeitsprozess und die vorprogrammierten Bewegungsabläufe des Roboters sowie dynamischen Daten von sämtlichen Sensoren und Aktoren verwendet, um eine ganzheitliche automatisierte Beurteilung der Situation zur gewählten Simulationszeit zu ermöglichen. Sie ist Basis für die Einschätzung von Risiken und Auslöser geeigneter Gegenmaßnahmen in der Realzeit. Geplante und mögliche Bewegung des Werkers werden mittels Sensorik erfasst. Dabei werden Informationen aus Laserscannern, Kameras sowie eines motion capture Anzuges erfasst und verarbeitet. Bei der Wahl von Sensorik wurde bewusst darauf geachtet, dass Daten redundant vorliegen, um ungenaue und rauschbehaftete Daten herauszufiltern. Die Quittierung einzelner Arbeitsschritte über eine Mensch-Maschine-Schnittstelle lässt den Werker als Komponente des Systems dieses kontinuierlich beeinflussen und steuern. So wird eine dynamische Überwachung und kontinuierliche Regelung von Geschwindigkeit und Abstand auch während der Arbeitsschritte möglich. Eine Umsetzung der simulationsbasierten Prädiktion der Kollaboration soll im Projekt InSA erfolgen.

4 Fazit

Eine enge Mensch-Roboter-Kollaboration erfordert die zeitliche und räumliche Überschneidung der Arbeitsbereiche von Mensch und Maschine. Ein Umsetzungskonzept für Roboter mit beliebigen Traglasten mit vollständiger Kollisionsvermeidung wird durch die dynamische Überwachung und Regelung von Geschwindigkeit und Abstand zwischen den Akteuren erreicht. Der hier verfolgte Ansatz beruht auf einem systemisch berechneten Vorlauf von Aktionen in Arbeitsabläufen aller beteiligter Akteure sowie der automatisierten Beurteilung von Risiko- und Gefährdungspotentialen im Rahmen der menschlich möglichen Reaktionszeiten für in der errechneten Zukunft möglichen Situationen.

Danksagung

Das Projekt InSA wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen der Initiative „Autonomik für Industrie 4.0“.

Literatur

- Albu-Schäffer, A., Haddadin, S., Ott, C., Stemmer, A., Wimböck, T., & Hirzinger, G. (2007). *The DLR lightweight robot: design and control concepts for robots in human environments*. Emerald Group Publishing Limited.
- Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft. (2015, Februar 11). BMW Group : What's next. Abgerufen 11. Februar 2015, von http://www.bmwgroup.com/com/de/verantwortung/whats_next/roboter/index.html
- BIBA - Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH. (2014). InSA. Abgerufen 25. Februar 2015, von <http://www.insa-projekt.de/>
- DIN EN ISO 10218-1:2012-01. (2011). Industrieroboter - Sicherheitsanforderungen - Teil 1: Roboter. Beuth, Berlin.
- Fleischmann, S. (2014, Dezember 3). BMW testet Produktion Seite an Seite mit Robotern. *Landauer Neue Presse*. Passau.
- ISO/DTS 15066. (2014, März 6). Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Collaborative operation.
- Thomas, C., Busch, F., Kühlenkoetter, B., & Deuse, J. (2011). Process and Human Safety in Human-Robot-Interaction - A Hybrid Assistance System for Welding Applications. In S. Jeschke, H. Liu, & D. Schilberg (Hrsg.), *Intelligent Robotics and Applications* (S. 112–121). Springer Berlin Heidelberg.
- Universal Robots A/S. (2015, Februar 23). Universal Robots. Abgerufen 23. Februar 2015, von <http://www.universal-robots.com/>