

Analyse der Prognosefähigkeit standardisierter Roboterbewegungen in der Mensch-Roboter-Kollaboration

Sumona SEN

*Labor Human Factors Engineering und Robotik, Hochschule Niederrhein
Reinarzstraße 49, D-47805 Krefeld*

Kurzfassung: In der Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) existieren keine trennenden Schutzeinrichtungen und Mensch und Maschine stehen sich direkt gegenüber. Dies erfordert eine Neuausrichtung der technischen sowie arbeitswissenschaftlichen Anforderungen an Sicherheit und Aufgabenallokation. Um präventiv Unfälle zu vermeiden, muss das System erwartungskonform gestaltet sein. Die Zielsetzung dabei ist, dass der Mensch durch diesen Gestaltungsaspekt die Bewegungen des Roboters antizipieren und dadurch möglichen Kollisionen aus dem Weg gehen kann. Die Dissertation befasst sich mit der Analyse der Prognosefähigkeit standardisierter Roboterbewegungen in der MRK, um genau diesen Aspekt näher zu betrachten.

Schlüsselwörter: Mensch-Roboter-Kollaboration, Bahnplanung, Prognose, Situation Awareness, Sicherheit, Erwartungskonformität

1. Einleitung

Im Zuge der industriellen Revolution 4.0 und der hohen Nachfrage nach flexibler und individueller Produktion ist die Mensch-Roboter-Kollaboration zu einem der Hauptthemen geworden. Die Forschung setzt ihren Fokus auf unterschiedliche Aspekte rund um diese Thematik. Im Vordergrund stehen dabei die Sicherheit und die Neugestaltung der Arbeit. Das Risiko von möglichen Kollisionen und Unfallgefahren, das früher durch Zäune und Abtrennungen gelöst wurde, muss nun neu betrachtet und evaluiert werden, um den Menschen im System zu schützen. Um eine kollisionsfreie Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter zu gewährleisten, sind Aspekte wie Erwartungskonformität und transparente Aktionen des Roboters unerlässlich. Idealerweise ist der Mensch zu jeder Zeit in der Lage, die aktuelle sowie die zukünftige Position des Roboters antizipieren zu können, um eine Kollision zu vermeiden (Buxbaum & Häusler 2020). Es wird erwartet, dass die Art der Bewegung, insbesondere die Trajektorie des Roboterarms einen Einfluss auf die Prognose und somit auf die Erwartungskonformität hat (Nemec et al. 2017). Die Dissertation befasst sich mit dem Thema der Prognosefähigkeit von Roboterbewegungen in der MRK, wobei der Fokus, auf Grund der Verfügbarkeit im industriellen Umfeld, auf standardisierten Trajektorien liegt.

2. Abgrenzung der Arbeit

Aktuelle Arbeiten in diesem thematischen Umfeld umfassen beispielsweise Experimentalversuche in der Grundlagenforschung zur Aufgabenallokation (Tausch 2018) oder die neuroergonomische Gestaltung der Bewegung von Automaten in der MRK

(Kuz 2016). Wischniewski et. al (2019) beschreiben 7 Thesen zur ergonomischen Gestaltung der MRK und nennen dabei insbesondere die Notwendigkeit der Flexibilisierung der Aufgabenallokation zwischen Mensch und Roboter und als Voraussetzung dazu eine erwartungskonforme Gestaltung von Roboterbewegungen. Im Rahmen des Ladenburger Diskurses der Daimler und Benz Stiftung zum Thema MRK haben führende Wissenschaftler aus unterschiedlichen Disziplinen diesen Thesensatz erweitert und dabei die wesentlichen Aspekte zur zukünftigen Entwicklung der MRK beschrieben (Buxbaum 2020). Neben den genannten ergonomischen Thesen stehen dabei Sicherheitsaspekte sowie eine breite Anwendbarkeit der Technologie im Vordergrund. Beim Aufbau von MRK-Systemen zeigt sich, dass Programmierer und Integratoren auf die im System vorhandene Funktionalität setzen und bei der Planung der Roboterbewegungen auf standardisierte Methoden zurückgreifen. Dazu gehören (1) die PTP Bewegung, bei der der Roboter schnellstmöglich vom Startpunkt zum Zielpunkt gefahren wird ohne Beachtung der resultierenden Bewegungsbahn, (2) die Linearbewegung (LIN), die sich in einer geradlinigen Bahn des Roboterarms manifestiert und (3) die Zirkularbewegung (CIRC), bei der der Roboterarm einer Kreisbahn folgt (Weber 2017). Es ist jedoch bislang nicht erforscht, wie sich diese verschiedenen Bewegungsarten im Hinblick auf die oben genannten Aspekte darstellen. Faktisch existiert keine Anleitung für Programmierer und Integratoren, die solche arbeitswissenschaftlichen Aspekte berücksichtigt. Das führt dazu, dass die Art der Bewegungsbahnen in heutigen MRK Applikationen ausschließlich nach technischen Aspekten, wie z. B. Geschwindigkeit oder Fügerichtung, ausgewählt werden. Um eine sichere Gestaltung zu gewährleisten, ist der Mensch im System, seine Reaktionen und sein Bewusstsein in der Situation, zu berücksichtigen.

3. Forschungsfrage

Durch Probandenexperimente soll untersucht werden, ob und wie die verschiedenen standardisierten Trajektorien des Roboterarms sich in ihrer Prognostizierbarkeit unterscheiden. Grundlegend hierfür ist das Situationsbewusstsein des Menschen in der jeweiligen Situation. Mithilfe verschiedener Messmethoden, beschrieben in Kapitel 4, wird evaluiert, bei welcher Bewegungsart eine schnelle sowie korrekte Prognose des weiteren Verlaufs der Bewegung möglich ist. Daraus abgeleitet ist die Forschungsfrage dieser Dissertation:

- "Können sich unterschiedliche standardisierte Roboterbewegungen auf die Prognosefähigkeit der Roboterbewegung auswirken?"

4. Methoden

Für die Messung von Prognosefähigkeit von Bewegungen in komplexen und dynamischen Situationen eignet sich das Konzept des Situationsbewusstseins (Hofinger 2005). Situationsbewusstsein ist ein Konstrukt, das nach Endsley (1988) aus drei Leveln besteht. Level 1 steht für die Wahrnehmung der Elemente der Umwelt, Level 2 für das Verstehen der aktuellen Situation und Level 3 für die Prognose zukünftiger Ereignisse. Für die Prognosefähigkeit ist also besonders das dritte Level von Bedeutung.

Befragungsverfahren zählen zu den objektiven Messmethoden von Situationsbewusstsein. Endsley (1995) entwickelte dazu die SAGAT-Methode (Situation Awareness Global Assessment Technique). Bei dieser Messmethode wird eine Simulation zu vorgegebenen Zeiten eingefroren, alle Informationsquellen abgeschaltet oder abgedunkelt und der Proband zur aktuellen Situation befragt. Dieser Vorgang wird als „Freezing“ bezeichnet. Für die Umsetzung der SAGAT-Methode wird eine realistische Simulationsumgebung benötigt. Hierfür wird eine Full-Scope Simulation angewandt. Ein Full-Scope Simulator ist ein Simulator, der das komplette Verhalten des Referenzsystems modelliert, um die Interaktion des Menschen mit dem System untersuchen zu können. Für dieses Forschungsvorhaben steht im Human Factors Labor der Hochschule Niederrhein eine eigens dafür entwickelte Full-Scope Simulationsumgebung zur Verfügung (Buxbaum et. al 2018). Abbildung 1 zeigt einen Versuchsaufbau in dieser Simulationsumgebung.

Eine weitere objektive Methode, um Situationsbewusstsein messen zu können, ist das Eyetracking. Durch Eyetracking lassen sich die Blickbewegungen einer Person aufnehmen und auf Fixationen, Sakkaden und Regressionen untersuchen. Dadurch lassen sich Rückschlüsse auf den Aufmerksamkeitsfokus und die bewusste Wahrnehmung ziehen.



Abbildung 1: Versuchsaufbau im Full-Scope Simulator

5. Durchgeführte und geplante Experimente

5.1 Experiment 1

Das erste Experiment dient zur Voruntersuchung der Antizipation der verschiedenen Roboterbewegungen. Es soll festgestellt werden, ob der Mensch bereits während der Ausführung der Bewegung des Roboterarms das Ziel der Bewegung einschätzen kann. Folgende Hypothesen werden aus der Fragestellung abgeleitet:

- H1: „Es gibt keinen Unterschied in der Vorhersagbarkeit bei Verwendung linearer Bewegungsprofile und PTP-Bewegungsprofile.“
- H2: „Lineare Bewegungsprofile erlauben eine bessere Vorhersagbarkeit als PTP-Bewegungsprofile.“
- H3: „Es gibt keinen Unterschied in der Vorhersagbarkeit bei Verwendung zirkularer Bewegungsprofile und PTP-Bewegungsprofile.“
- H4: „Zirkulare Bewegungsprofile erlauben eine bessere Vorhersagbarkeit als PTP-Bewegungsprofile.“

Hierzu wurde ein Setting mit einem kollaborativen Roboter und einer Werkbank aufgebaut. Auf der Werkbank sind die Startposition, von der aus der Roboterarm verfährt, und die 6 Zielpositionen lokalisiert. In unmittelbarer räumlicher Nähe zu den Zielpositionen befinden sich 6 Schalter. Durch die Möglichkeit des Probanden, in den Arbeitsbereich des Roboters einzugreifen, besteht Kollisionsgefahr. Dem Probanden ist nicht bekannt, zu welcher Zielposition und mit welcher Bewegungsart sich der Roboterarm bewegt. Seine Aufgabe besteht darin, sobald er erahnen kann, welche Zielposition angefahren wird, den jeweilig zugehörigen Schalter zu betätigen. Pro Probanden werden 54 Fahren durchgeführt (18 CIRC, 18 LIN, 18 PTP). Das Experiment wird mit 28 Probanden durchgeführt. Alle Probanden sind männlich und zwischen 23 und 31 Jahre alt (MW = 25,86, SD = 1,79).

In Bezug auf H1 lassen sich signifikante Unterschiede feststellen. H2 konnte bestätigt werden. Lineare Bewegungsprofile LIN erlauben eine bessere Prognostizierbarkeit als PTP-Bewegungsprofile. H3 wies ebenfalls signifikanten Unterschiede auf. Auch H4 konnte bestätigt werden. Zirkulare Bewegungsprofile CIRC erlauben eine bessere Vorhersagbarkeit als PTP-Bewegungsprofile. Auffallend ist die deutlich erhöhte Anzahl von falschen Prognosen bei PTP Bewegungsprofilen. LIN und CIRC weisen etwa die gleiche Fehlerquote auf, bei PTP werden weit mehr falsche Vorhersagen registriert.

Zusammengefasst lassen sich signifikante Unterschiede in den Bewegungsarten LIN und PTP sowie CIRC und PTP feststellen. LIN und CIRC erlauben eine bessere Prognose als PTP.

5.2 Experiment 2

In diesem Experiment wird ein möglicher Zusammenhang zwischen den Standardbewegungen des Roboters und dem Situationsbewusstsein des Menschen untersucht. Hierzu wird folgende Hypothese aufgestellt:

- H1: „Linear interpolierte Bewegungen und PTP-Bewegungen unterscheiden sich im Grad des Situationsbewusstseins.“

Das Experiment stellt einen MRK-Arbeitsplatz zur Kommissionierung von Kleinteilen nach. Alle Probanden für das Experiment sind Studenten. Von den 40 Probanden sind 32 Männer und 8 Frauen. Die Probanden sind zwischen 19 und 31 Jahre alt (M = 25,15, SD = 4,10) und werden in zwei Versuchsgruppen aufgeteilt, beide Gruppen mit einer ausgewogenen Anzahl von jeweils 16 Männern und 4 Frauen. Für einen Durchlauf benötigt man ca. 22 min. Für die erste Gruppe werden nur PTP-Bewegungen des Roboters verwendet, für die zweite Versuchsgruppe nur lineare Bahnen LIN. Wenn alle Probanden beide Bewegungstypen erhalten würden, entstehen Gewöhnungseffekte, die es zu vermeiden gilt, um das Ergebnis nicht zu verfälschen.

Der Proband im Experiment nimmt die Rolle des Kommissionierers ein, der vom Roboter Kleinteile angereicht bekommt. Diese werden auf einer Ablage im gemeinsamen Arbeitsbereich platziert. Der Kommissionierer entnimmt dann die jeweiligen Teile gemäß einer Packliste und verstaut diese in vorbereiteten Versandkartons. Dabei ist

dem Kommissionierer zu keiner Zeit die Reihenfolge der Platzierung der Kleinteile durch den Roboter noch die Zusammensetzung der Kommissionierung bekannt.

Zur Messung des Situationsbewusstseins wird die SAGAT-Methode des Freezings angewandt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich das Situationsbewusstsein bei der linearen Bewegungsart vor allem in der dritten Ebene (Prognose) stark unterscheidet. Die lineare Bewegungsart erlaubt eine bessere Prognose. Zieht man die anderen beiden Ebenen ebenfalls in Betracht ist der Unterschied nicht so groß. Die Hypothese H1 lässt sich, vor allem in Betracht der Prognose, bestätigen.

5.3 Experiment 3 - in Planung

In einem abschließenden Experiment, das sich zurzeit in der Planungsphase und Versuchsvorbereitung befindet, sollen alle Bewegungsarten nochmals genauer auf Ihren Unterschied in der Antizipation durch den Menschen untersucht werden. Geplant ist ein Versuchsaufbau, der einem Arbeitsplatz in der produzierenden Industrie im Automobilbereich nachempfunden wird. Der Proband und der Roboter arbeiten kollaborativ an einer gemeinsamen Arbeitsaufgabe. Es soll ein Pendel aus verschiedenen Steckverbindungen zusammengebaut werden. Zusätzlich zu dieser Aufgabe erhält der Proband eine Nebenaufgabe, die er bearbeiten soll, während der Roboter neue Teile anreicht. Die Probanden werden in 3 Gruppen unterteilt. Jede Gruppe erhält eine der drei Bewegungsarten.

Während der Interaktion wird ein Störfall des Roboters implementiert. Studien im Kontext zu Situationsbewusstsein und Ablenkung zeigten, dass sich das Level des Situationsbewusstseins signifikant reduziert (Ma & Kaber 2005; Drews et. al 2004) und dadurch das Unfallrisiko steigt. Durch die Nebenaufgabe und den damit erhöhten Workload wird dieser Effekt nochmals verstärkt.

Um das Situationsbewusstsein zu erfassen, kommt in diesem Experiment neben der SAGAT-Methode zusätzlich das Eyetracking zum Einsatz. Geplant ist eine abschließende Validierung der Antworten auf die SAGAT-Befragung durch Auswertung der Ergebnisse des Eyetracking. Es wird dabei insbesondere nach einem signifikanten Unterschied in den Bewegungsarten LIN und CIRC gesucht.

6. Diskussion

Die bereits durchgeführten Experimente zeigen, dass sich die standardisierten Bewegungsarten von kollaborativen Roboterarmen in Bezug auf das Situationsbewusstsein unterscheiden. Auffällig ist, dass PTP-Trajektorien im Vergleich zu den anderen beiden Bewegungsarten eine schlechtere Antizipation erlauben. Durch das abschließend geplante Experiment soll diese Tendenz nochmals untermauert und die beiden anderen Bewegungsarten LIN und CIRC auch im Vergleich untereinander betrachtet werden.

Ziel der Arbeit ist es, Konstrukteuren und Programmierern von MRK Arbeitsplätzen geeignete Optionen der Bahnplanung aufzuzeigen, durch die ein erwartungskonformes Roboterverhalten und ein höheres Level des Situationsbewusstseins erreicht werden kann, um Unfälle und Kollisionen zu vermeiden.

7. Literatur

- Buxbaum HJ (2020) Mensch-Roboter-Kollaboration. Springer Gabler, Wiesbaden.
- Buxbaum HJ, Häusler R (2020) Ladenburger Thesen zur zukünftigen Gestaltung der Mensch- Roboter-Kollaboration. Buxbaum HJ (Hrsg.) Mensch-Roboter-Kollaboration. Springer Gabler, Wiesbaden.
- Buxbaum, HJ, Kleutges, M, Sen, S (2018) Full-scope simulation of human-robot interaction in manufacturing systems. IEEE winter simulation conference, Gothenburg.
- Drews, F A, Pasupathi, M, Strayer, D L (2004) Passenger and cell-phone conversations in simulated driving. 48th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society.
- Endsley, M R (1988) Design and evaluation for situation awareness enhancement. Proceedings of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting, 32.
- Endsley, M R (1995) Measurement of situation awareness in dynamic systems. Human Factors 37.
- Hofinger, G (2005) Menschliche Wahrnehmung. In M. St. Pierre, G. Hofinger & C. Buerschaper. Notfallmanagement Human Factors in der Akutmedizin (S. 48–55). Heidelberg: Springer.
- Kuz, S (2016) Kognitionsergonomische Gestaltung der Bewegungssteuerung industrieller Roboter für die Mensch-Roboter-Interaktion in der Montage. Dissertation RWTH Aachen.
- Ma, R, Kaber, D B (2005) Situation awareness and workload in driving while using adaptive cruise control and a cell phone. International Journal of Industrial Ergonomics 35.
- Nemec, B, Likar, N, Gams, A, Ude, A (2017) Human robot cooperation with compliance adaptation along the motion trajectory. In: Autonomous Robots Vol. 42, S. 1023 - 1035.
- Tausch, A (2018): Aufgabenallokation in der Mensch-Roboter-Interaktion. 4. Workshop Mensch-Roboter-Zusammenarbeit. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Posterpräsentation, Dortmund.
- Weber W (2017) Industrieroboter: Methoden der Steuerung und Regelung, 3. Auflage. Hanser Verlag, München.
- Wischniewski, S, Rosen, P H, Kirchhoff, B (2019) Stand der Technik und zukünftige Entwicklungen der Mensch-Roboter-Interaktion. 65. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Dresden.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeit HUMAINE gestalten

67. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Lehrstuhl Wirtschaftspsychologie (WiPs)
Ruhr-Universität Bochum

Institut für Arbeitswissenschaft (IAW)
Ruhr-Universität Bochum

3. - 5. März 2021

GfA-Press

Bericht zum 67. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 3. - 5. März 2021

**Lehrstuhl Wirtschaftspsychologie, Ruhr-Universität Bochum
Institut für Arbeitswissenschaft, Ruhr-Universität Bochum**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2021
ISBN 978-3-936804-29-4

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**

Schriftleitung: Matthias Jäger

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Screen design und Umsetzung

© 2021 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de