

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

Sumona SEN

*Hochschule Niederrhein, Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen,
Reinarzstrasse 49, D-47807 Krefeld*

Kurzfassung: Die Interaktion zwischen Mensch und Roboter in industriellen Anwendungen der Mensch-Roboter Kollaboration wird bislang fast ausschließlich von technisch orientierten Maschinenprogrammierern und -einrichtern bestimmt. Dabei werden die Aufgabenallokation und insbesondere die programmierten Bewegungsbahnen des Roboters regelmäßig technischen Gesichtspunkten untergeordnet, mentale oder kognitive Beanspruchungen des Menschen werden dabei üblicherweise nicht beachtet. Ziel der Dissertation ist die Untersuchung und Optimierung von Roboterbewegungen unter Kognitions- und Ergonomieaspekten. Die Belastung des Menschen durch den Arbeitsplatz soll dabei reduziert und die Sicherheit in dem nicht ungefährlichen Kollisionsszenario erhöht werden.

Schlüsselwörter: Mensch-Roboter-Kollaboration, Situationsbewusstsein, Sicherheit

1. Einleitung

Eines der aktuellen Themen der Industrie 4.0 ist die Mensch-Roboter Kollaboration (MRK). Dabei steht die Idee im Vordergrund, Roboter nicht länger ausschließlich hinter Schutzvorrichtungen zu betreiben und stattdessen die Automatisierung auch in Bereichen wie Manufakturen oder Montage voranzutreiben. Hier sollen Kollaborationsroboter den Werker bei seinen Aufgaben unterstützen. Im gemeinsamen Arbeitsraum werden menschliche Fähigkeiten und Fertigkeiten durch Kraft und Präzision von Automaten ergänzt. Ein solches neuartiges Konzept der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine erfordert eine moderne, flexible Ausrichtung der Arbeitsgestaltung (Wischniewski et al. 2019). Hinzu kommt der Wegfall von trennenden Schutzeinrichtungen (Buxbaum & Häußler 2020). In der Dissertation wird die Forschungsfrage untersucht, wie standardisierte Trajektorien in der Bewegung eines Roboterarms aus der Perspektive des kollaborierenden Menschen wahrgenommen und kognitiv verarbeitet werden. Ein Ansatzpunkt ist das Situationsbewusstsein (SA) des Menschen, ein Konstrukt, das Wahrnehmung und Verständnis von Informationen in komplexen Situationen beschreibt. Neben diesen Aspekten, die nach Endsley in drei verschiedene Level unterteilt werden (Level 1: Wahrnehmung, Level 2: Verständnis) ist hier vor allem Level 3 zu beachten, das sich auf die Prognose künftiger Ereignisse in der Situation bezieht (Endsley 1988). Eingesetzte Methoden in mehreren, aufeinander aufbauenden empirischen Untersuchungen mit Probanden sind Eyetracking, SAGAT und Fragebogen.

Ziel ist es, eine Empfehlung für Maschinenprogrammierern und -einrichtern zu entwickeln. Bis zum heutigen Tag wird der menschliche Faktor in diesen Bereichen

wenig berücksichtigt und die Installation erfolgt eher nach technischen Gesichtspunkten (Sen 2020). Eine geeignete Programmierung der Roboterarmtrajektorie sollen ungewollte Kollisionen vermeiden und die Sicherheit während der Kollaboration erhöht werden (Nemec et al. 2017). Hier soll die abschließende Studie der Dissertation vorgestellt werden. Zwei bereits durchgeführte Untersuchungen zeigen klare Tendenzen. Bevor in der zweiten Studie direkt auf das Situationsbewusstsein des kollaborierenden Menschen eingegangen wird (Sen et al. 2020), befasst sich die erste Untersuchung mit der Prognosefähigkeit der Zielposition in Abhängigkeit von der eingesetzten Trajektorie des Roboterarms (Sen et al. 2020). Beide Studien liefern signifikante Ergebnisse. Es wird nachgewiesen, dass LIN-Trajektorien im Vergleich eine bessere Prognose der Bewegung und ein höheres Situationsbewusstsein erlauben. Nun wird abschließend ein Experiment entwickelt, dass durch den kombinierten Einsatz verschiedener Messmethoden den Unterschied zwischen allen drei Standardtrajektorien hinsichtlich des Situationsbewusstseins untersucht. Die gewonnenen Erkenntnisse werden hinsichtlich der Fragestellung diskutiert und abschließend eine Empfehlung für die Einrichtung von MRK-Applikationen hinsichtlich optimierter Bewegungsbahnen formuliert.

2. Bewegungsarten in der MRK

Bewegungssteuerungen von Robotersystemen können nach verschiedenen Trajektorien klassifiziert werden. Die folgenden Standardtrajektorien werden in typischen Robotersteuerungen verwendet (Weber 2017):

- Point-to-Point Trajektorie (PTP)
Die Bewegung des Roboters wird durch die Anfangs- und Endposition der Achsen beschrieben und ist unabhängig von der geometrischen Lage des Endeffektors im Raum während der Bewegung.
- Lineare Trajektorie (LIN)
Wenn bei Roboterprozessen auch die Bahn wichtig ist, muss die Bahn des Endeffektors vom Start- zum Zielpunkt von der Robotersteuerung interpoliert werden.
- Zirkuläre Trajektorie (CIRC)
Bei einer Kreisbahninterpolation interpoliert die Robotersteuerung einen Bogen zwischen Start- und Zielpunkt, ebenfalls regelmäßig mit einer vorgegebenen Bahngeschwindigkeit.

3. Fragestellung

Es soll untersucht werden, inwieweit sich die Trajektorien hinsichtlich ihrer kognitiven Wirkung auf das Situationsbewusstsein von Probanden unterscheiden. Mithilfe verschiedener Messmethoden wird evaluiert, wann eine schnelle und korrekte Prognose der weiteren Bewegung möglich ist. Daraus abgeleitet ist die Forschungsfrage dieser Dissertation:

„Hat die Trajektorie des kollaborierenden Roboters Einfluss auf die Prognosefähigkeit der Bewegung?“

Um dies nun in einem explorativen Rahmen zu untersuchen, werden für das hier vorgestellte Experiment entsprechende Hypothesen aufgestellt und das Untersuchungsdesign entwickelt.

4. Methodik

Das hier vorgestellte, abschließende Experiment umfasst einen komplexen Arbeitsablauf zwischen einem Menschen und einem kollaborativen Roboter. Aufgebaut ist das Szenario in einem Full Scope Simulator, der ein realistisches Abbild eines Montageszenarios beinhaltet. Durch seine Abschottung nach außen sowie einer eingebetteten speicherprogrammierbaren Steuerung ist es möglich, identische Bedingungen für jeden Probanden zu schaffen und das Experiment so reliabel und objektiv ist (Buxbaum et al. 2018).

Der Ablauf des Experiments unterteilt sich in eine Haupt- und Nebenaufgabe. Die Hauptaufgabe besteht aus dem Aufbau eines Montagesatzes. Verwendet wird ein Montagesatz, der am Cranfield Institute of Technology als Benchmark für Montage-roboter entwickelt wurde (Collins et al 1986). Der Roboter und der Proband arbeiten hierbei innerhalb eines geteilten Arbeitsraums sequenziell am Montagesatz. Die Aufgabenallokation wird gemäß den Fähigkeiten der Interaktionspartner gewählt und erlaubt einen optimalen Arbeitsablauf. Abbildung 1 zeigt den Montagebausatz im Experiment.

Die Nebenaufgabe umfasst den Zusammenbau eines Legosatzes zu einer kleinen Box, die mit einer bestimmten Anzahl an Dübeln befüllt werden müssen, bevor sie im kollaborativen Bereich platziert werden und der Roboter diese entnehmen und verlagern kann.

4.1 Messinstrumente

Um nun das Situationsbewusstsein während des Experiments messen zu können, werden drei verschiedene Messmethoden angewendet. Zum einen die Methode des SAGAT (Situation Awareness Global Assessment Technique) und zum anderen das Eyetracking. Beide Methoden erlauben eine objektive Messung des Situationsbewusstseins in einer dynamischen Situation. Da in der vorangehenden Literaturrecherche ein Zusammenhang zwischen Situationsbewusstsein und Erwartungskonformität während einer Tätigkeit festgestellt wird, soll ein Fragebogen als abschließendes Messinstrument das subjektive Empfinden der Erwartungskonformität jedes Probanden im Experiment festhalten. Hierzu wird ein eigens entwickelter Fragebogen, angelehnt an den ISOMetrics (Hamborg et al. 2002) entwickelt.

4.2 Stichprobe

Das Experiment wird mit 51 Probanden durchgeführt. Die Probanden sind zwischen 18 und 33 Jahre alt ($M = 23,98$, $SD = 4,8$). Alle von ihnen sind Studenten. Es wird ein Between-Subject Design angewandt. Somit erhält jeder Proband eine der drei Bewegungsarten. Die getesteten Gruppen sind dadurch unabhängig voneinander und weisen eine geringere Konfundierung der Messung durch externe Faktoren auf.

Da die Auswertung zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Papers nicht abgeschlossen ist, werden für die Ergebnisse ein Auszug von 15 Probanden verwendet.

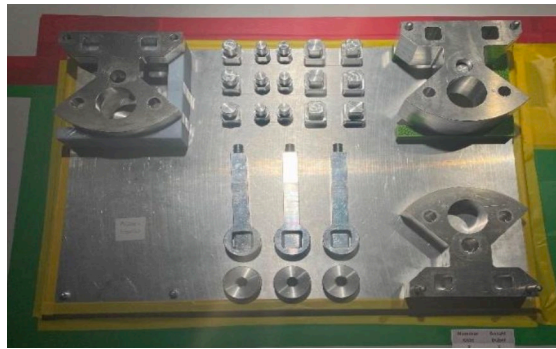


Abbildung 1: Montagebausatz Cranfield-Benchmark

5. Ergebnisse

5.1. Eyetracking

Die Auswertung der Eyetracking-Daten findet mittels Erhebung der Verteilung (prozentual) der Dauer von Fixationen auf drei verschiedene Bereiche (Areas of Interest) des Experiments statt. Betrachtet werden der Greifer des Roboters, der gesamte Roboterarm und die Nebenaufgabe. Da angenommen werden kann, dass bei einem geringeren Situationsbewusstsein und aufgrund von Unsicherheit in der Interaktion mit dem Roboter vornehmlich der Greifer und der Roboter selbst stärker in den Fokus der Aufmerksamkeit der Probanden rücken, werden diese Bereiche ausgewählt. Die Nebenaufgabe wiederum erfordert ebenfalls Aufmerksamkeit und wird als dritter Bereich betrachtet.

Die Verteilung zeigt große Unterschiede, die Aufmerksamkeit der Probanden aller drei Gruppen liegt vornehmlich auf der Nebenaufgabe. Der Boxplot (Abb. 2) veranschaulicht die prozentuale Verteilung der Fixationsdauer auf die drei unterschiedlichen Bereiche.

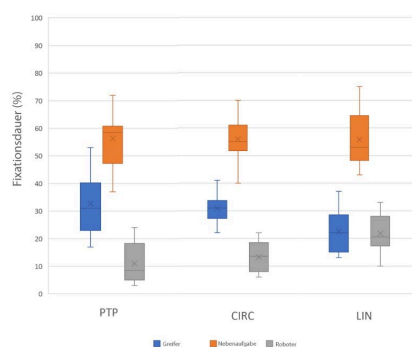


Abbildung 2: Box-Whisker-Plot Eyetracking-Daten

Es ist ersichtlich, dass die Fixationsdauer bezogen auf den Greifer sich zwischen den drei Trajektorien deutlich unterscheiden. Der Greifer ist das Werkzeug, das dem Probanden am nächsten kommt und stellt somit eine potenzielle Gefahr dar durch vermeidliche Kollisionen. Die Nebenaufgabe hingegen erzielt bei der LIN-Trajektorie einen höheren prozentualen Anteil im Vergleich zu den anderen Trajektorien.

5.2. SAGAT

Für jede der 3 Stufen des Situationsbewusstseins wird eine eigene Punktzahl gebildet. Es ist zu erkennen, dass es keinen großen Unterschied zwischen Stufe 1 und Stufe 2 des Situationsbewusstseins in allen drei Trajektorien gibt. In Stufe 1 beträgt der SA-Wert für die PTP-Trajektorie 58 %, für die LIN-Trajektorie 62 % und für die CIRC-Trajektorie 63 %. Die PTP-Trajektorie in Stufe 2 hat einen SA-Wert von 54 % und die LIN-Trajektorie von 61 % und in CIRC-Trajektorie 60 %.

Auffallend ist jedoch der größere Unterschied in Stufe 3. Hier weichen die drei Werte stärker voneinander ab, vornehmlich ist die PTP-Trajektorie anders zu bewerten. Der SA-Wert für die PTP-Trajektorie liegt bei 43 % und der SA-Wert für die LIN-Trajektorie bei 55 %, die CIRC-Trajektorie bei 51 %. Das Delta ist hier größer als auf den anderen Stufen. Der Gesamt-SA-Wert für die PTP-Trajektorie beträgt 51,6 %, LIN-Trajektorie hat einen Wert von 55,3 % und die CIRC-Trajektorie von 58 %.

5.3. Fragebogen

Der Fragebogen wird eigens für das Experiment erstellt. Er basiert auf der Grundlage des ISOMetrics, ein bereits etablierter Fragebogen, der die Dialogkriterien der DIN EN ISO 9241 operationalisiert. Da für die hier genannte Fragestellung nur das Dialogkriterium der Erwartungskonformität betrachtet wird, werden die 7 Items der Kurzform des ISOMetrics angepasst an die vorliegende Situation mit einem kollaborativen Roboter. Ergänzend dazu werden die Bedenken einer möglichen Kollision und der allgemeinen Nutzung erfragt.

Die Probanden schätzen im Mittel ihr technisches Verständnis als sehr gut ein (\bar{x} 5,2/6) und haben noch nie mit einem kollaborativen Roboter gearbeitet.

Die Probandengruppe mit den linearen Trajektorien geben im Durchschnitt an, dass die Interaktion mit dem Roboter klar und verständlich ist (\bar{x} 4,9/6). Ebenso wird angegeben, dass die Bewegungen des Roboters nicht von der Aufgabe ablenken (\bar{x} 5,1/6). Die CIRC-Trajektorie weist ähnliche Angaben auf. Abweichungen finden sich bei der PTP-Trajektorie. Im Durchschnitt geben hier die Probanden an, dass die Interaktion mit dem Roboter nicht ganz klar und verständlich ist (\bar{x} 2,9/6). Hinzu kommt, dass die Probanden durchschnittlich eine erhöhte Angst angeben, dass es zu einer Kollision kommen könnte (\bar{x} 4,6/6).

6. Diskussion

Die vorgestellten Ergebnisse lassen einige Rückschlüsse auf die unterschiedliche Wahrnehmung der Probanden bezüglich der angewandten Trajektorien zu. Die Ergebnisse des Eyetracking zeigen, dass die PTP-Trajektorie dazu führt, dass die Probanden dieser Versuchsgruppe sich mehr auf den Greifer fokussieren. Die Unsicherheit bezüglich der Roboterbewegung und möglicher Kollisionen wird durch die Ergebnisse des Fragebogens sowie des SAGATs bestärkt. Die PTP-Trajektorie erlaubt eine schlechter Prognostizierbarkeit der Roboterbewegung. Die LIN- und CIRC-Trajektorien hingegen werden als klarer und verständlicher wahrgenommen. Der höhere SA-Wert sowie die Verteilung der Fixationsdauer spiegeln dies wider. Die Unterschiede dieser beiden Trajektorien sind jedoch marginal. Der SA-Wert der CIRC-Tra-

jektorie ist etwas höher, jedoch fixieren die Probanden den Greifer bei der LIN-Trajektorie etwas mehr. Die Fragestellung kann somit beantwortet werden. PTP-Trajektorien unterscheiden sich im Vergleich zu den beiden anderen Standardtrajektorien in ihrer Prognosefähigkeit. Maschinenprogrammierern und -einrichtern kann für eine sichere und kognitionsgerechte Gestaltung von MRK-Applikationen empfohlen werden, Bewegungsbahnen des Roboters als Linearbahnen oder Zirkularbahnen auszulegen.

7. Literatur

- Buxbaum HJ, Kleutges M, Sen S (2018) Full-scope simulation of human-robot interaction in manufacturing systems. IEEE winter simulation conference, Gothenburg.
- Buxbaum HJ, Häusler R (2020) Ladenburger Thesen zur zukünftigen Gestaltung der Mensch-Roboter-Kollaboration. Buxbaum HJ (Hrsg.) Mensch-Roboter-Kollaboration. Springer Gabler, Wiesbaden.
- Collins K, Palmer AJ, Rathmill K (1985). The Development of a European Benchmark for the Comparison of Assembly Robot Programming Systems. In: Rathmill K, MacConaill P, O'Leary P, Browne J In: Robot Technology and Applications. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Endsley MR (1988) Design and evaluation for situation awareness enhancement. In: Proceedings of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting.
- Hamborg K-C, Willumeit H et al. (1996). Untersuchungen zu Itemformulierungen des IsoMetrics-Verfahrens. Osnabrücker Schriftenreihe Software-Ergonomie – 1. Osnabrück, Universität Osnabrück *ISONORM 9241/10 und Isometrics: Usability-Fragebögen im Vergleich*.
- Nemec B, Likar N, Gams A, Ude A (2017) Human robot cooperation with compliance adaptation along the motion trajectory. In: Autonomous Robots Vol. 42.
- Sen S (2020) Erwartungskonformität von Roboterbewegungen und Situationsbewusstsein in der Mensch-Roboter-Kollaboration. In: Buxbaum HJ (Hrsg.), Mensch-Roboter-Kollaboration, Kapitel 12. Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Sen S, Buxbaum H, Kremer L (2020) The Effects of Different Robot Trajectories on Situational Awareness in Human-Robot Collaboration. In Human-Computer Interaction. Multimodal and Natural Interaction.
- Sen S, Buxbaum H, Kremer L (2020) Vorhersagbarkeit der Zielposition einer Roboterbewegung in der Mensch-Roboter Kollaboration. 66. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaften Berlin.
- Weber W: Industrieroboter. 3. Aufl., Carl Hanser Verlag, Leipzig (2017).
- Wischniewski S, Rosen PH, 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.

Nachhaltig Arbeiten und Lernen

**Analyse und Gestaltung lernförderlicher
und nachhaltiger Arbeitssysteme
und Arbeits- und Lernprozesse**

69. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

01. – 03. März 2023

GfA-Press

Bericht zum 69. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 01. – 03. März 2023

**Fakultät Maschinenbau, Institut für Berufswissenschaften der Metalltechnik (IBM) und
Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA), Leibniz Universität Hannover**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Sankt Augustin: GfA-Press, 2023
ISBN 978-3-936804-32-4

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© GfA-Press, Sankt Augustin

Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast

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.

Geschäftsstelle der GfA

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003

Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de · www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de

Screen design und Umsetzung

© 2023 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de