

Mensch-Roboter-Kollaboration mit Hilfe von maschinellem Lernen unter Einbezug von Blick und Bewegungsdaten

Mehrach SAKI, Oliver STRÄTER

*Institut für Arbeitswissenschaft und Prozessmanagement
Arbeits- und Organisationspsychologie Universität Kassel
Heinrich-Plett-Straße 40, D-34132 Kassel*

Die Lösung der Flexibilisierung von Montagesystemen wird immer mehr in einer Kollaboration von Mensch und Roboter gesehen. Kollaborierende Robotik-Systeme sollen dabei den Menschen in der Durchführung seiner Tätigkeiten unterstützen. Inwieweit solche Systeme tatsächlich den Menschen unterstützen und so sowohl physische als auch psychische Belastungen reduzieren hängt davon ab, inwieweit der Roboter die individuellen Leistungsfähigkeiten des Menschen berücksichtigt. Oft wird hier eine vom Roboter ausgehende Gestaltungslösung entwickelt. Das Vorhaben hat zum Ziel aufzuzeigen, dass ein menschenzentrierter Ansatz für die Gestaltung der Mensch-Roboter-Kollaboration möglich ist und eine Anpassung des Roboters an die spezifischen Fähigkeiten und Ressourcen des Menschen belastungsreduzierend wirkt. In einer empirischen Laborstudie untersucht das Vorhaben, ob eine Programmierung des Roboters auf die individuelle Bahnplanung und die Bewegungsgeschwindigkeit eines Nutzers belastungsreduzierend wirkt. Es wird angenommen, dass der Mensch durch die Berücksichtigung seiner individuellen Bahnplanung und Bewegungsgeschwindigkeit Bewegungen des Roboters besser antizipieren kann und damit die Mensch-Roboter-Kollaboration verbessert wird.

Schlüsselwörter: Mensch-Roboter-Kollaboration, Bahnplanung, Motion-Capturing, Eye-Tracking

1. Einleitung

Im Zuge der digitalen Transformation ist die Flexibilität eine der größten Herausforderungen in der Industrie. Klassische Automatisierung führt zu einer schnellen und genauen Ausführung von Montagetätigkeiten - jedoch häufig auf Kosten der Flexibilität (Matthias & Ding 2013). Zudem können physische und psychische Belastungen durch eine fehlerhafte Gestaltung der Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) entstehen. Durch die Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) können die Stärken der Mitarbeitenden und des Roboters kombiniert werden und der Mensch in das Zentrum der Gestaltung des Systems rücken. Die offene Frage in dieser Kombination von Mitarbeitenden und Robotern ist, wie die wechselseitige Adaption zwischen Tätigkeiten des Roboters und Tätigkeiten des Menschen so gestaltet werden kann, dass das Belastungspotenzial des Menschen minimiert wird. Oft wird hier der Weg gegangen, den Menschen an die Eigenschaften des Roboters anzupassen (Buxbaum 2020). Weitaus höheres Potenzial hätte jedoch ein menschenorientierter Gestaltungsansatz, also die Anpassung des Roboters an die Eigenschaften des Menschen (Sträter & Bengler 2019).

Die Untersuchung hat zum Ziel, zu überprüfen, inwieweit eine vom Menschen vorgegebene Bahnplanung und Bewegungsgeschwindigkeit dazu führt, dass ein MRK-System vom Menschen als effizienzsteigernd und gleichsam belastungsreduzierend angesehen wird. In diesem Artikel werden die nötigen Methoden und das entwickelte MRK-System dargestellt. Durch eine Kombination aus Blick- und Bewegungserfassung sowie Algorithmen des maschinellen Lernens werden die Verhaltensmuster des Menschen erfasst, um damit das Roboter-System an die spezifischen Eigenschaften des Menschen anzupassen. Fokus ist dabei die Anpassung der Bewegungsbahn und Bewegungsgeschwindigkeit des Roboters.

2. Stand der Forschung

Recherchen zeigen, dass bei der Einführung eines MRK-Systems neben vielen anderen Faktoren die Bahnplanung ein zentrales Maß ist, damit das System nicht als beanspruchend empfunden wird. So zeigt die Untersuchung von Koppenborg, Lungfiel, Naber und Nickel (2013) die Auswirkung der Bewegungsgeschwindigkeit und der Vorhersehbarkeit von Trajektorien eines MRK-Systems im industriellen Kontext auf den Menschen. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass aufgrund von Vorhersehbarkeit der Bewegungen Aufgaben schneller bearbeitet werden können. Die Bewegungsgeschwindigkeit verursachte einen signifikanten Unterschied in der erlebten Anstrengung. Die Autoren legen nahe, dass unvorhersehbare Bahnplanungen des MRK zu einer erhöhten Beanspruchung führen, die sich wiederum in längeren Antwortzeiten bei der Bearbeitung der Aufgabe widerspiegeln. Ebenso rückt die Bedeutung der Bahnplanung in Studien zum Komfort- und Sicherheitsempfinden als auch zu den emotionalen Reaktionen von Anwendern in den Fokus. Die Studie von Dehais, Sisbot, Alami und Causse (2011) zeigt, dass eine vorhersehbare Bahnplanung das Komfort- und Sicherheitsempfinden steigert. Ikeura, Hagiwara, Kosha und Mizutani (2003) konnten darlegen, dass positive emotionale Reaktionen des Nutzers mit Signalen der Roboterbewegung zusammenhängen. Der Geschwindigkeit wird in Zusammenhang mit der Mensch-Roboter-Kollaboration auch in weiteren Quellen ein hoher Einfluss zugeschrieben. Neben der erwartungsgemäß steigenden Beunruhigung durch das Gefährdungsempfinden eines Menschen in Interaktion mit einem sich schnell bewegendem Roboter (Thiemermann 2005) veranschaulichen Forschungen in der virtuellen Realität auch eine verminderte Arbeitsleistung bei sich langsam bewegendem Roboter (Naber, Lungfiel, Nickel & Huelke 2013).

Als Ansatz für ein adaptiveres Verfahren untersuchten Chatterjee, Xiao und Harrison (2015) in einem anderen Anwendungskontext (PC-Bedienung) die Eingabe per Blick oder Geste sowie deren Kombination innerhalb verschiedener Szenarien. Die Verbindung von Blick- und Gestensteuerung übertraf dabei andere Interaktionsformen und konnte hinsichtlich der Leistung anderen Eingabesystemen wie Maus und Trackpad gleichkommen. Auch Y. Zhang, Stellmach, Sellen und Blake (2015) stellen heraus, dass eine Kombination aus Blick- und Gesteneingabe, verglichen mit der alleinigen Verwendung der Handeingabe, zu schnellerer Auswahl, reduzierter Ermüdung und erhöhter Benutzerfreundlichkeit führt. Auch wenn diese Studien nicht im Rahmen von MRK-Systemen durchgeführt wurden, erscheinen sie vielversprechend und werden im Rahmen dieses Vorhabens auf ihre Anwendbarkeit bei der Steuerung eines Roboterarms genutzt damit jeder Proband seine individuelle Bahnplanung programmieren bzw. erstellen kann.

Die sich daraus resultierende Forschungsfrage ist, ob sich eine individuelle, selbstprogrammierte Bewegungsbahn des Roboters von einer vorprogrammierten, funktionalen Bewegungsbahn unterscheidet. Die Geschwindigkeit und die Winkel des Roboterarms werden vom Probanden vorgegeben und es wird davon ausgegangen, dass dadurch die Antizipation der Bewegungsbahn höher, die Belastung geringer und das Vertrauen zum Roboter größer sind.

3. Methoden

3.1 MRK-System

Um das Kollaborations-Verfahren zu entwickeln, wurde ein Roboterarm mit sieben Freiheitsgraden entwickelt und eingesetzt (siehe *Abbildung 1*). Nachempfunden sind alle Gelenke eines menschlichen Oberarms. Mit Hilfe des CeybermanS ein Anzug zur digitalen Bewegung- und Blickerfassung wird die menschliche Bewegung des rechten Oberarms vom Roboter "zeitsynchron" kopiert. Angesteuert werden die Servomotoren des Roboterarms über ein Arduino Due. Die Bewegungsdaten werden in Echtzeit erfasst und in einem hierarchischen Format (bvh) an einen Rechner geschickt. Aus den Daten der einzelnen Gelenke des Oberarms werden die Winkel zwischen den Gelenken (siehe *Abbildung 2*) berechnet und über den Arduino an die Servomotoren geschickt.



Abbildung 1: Am FG A&O entwickelter Roboterarm mit sieben Freiheitsgraden

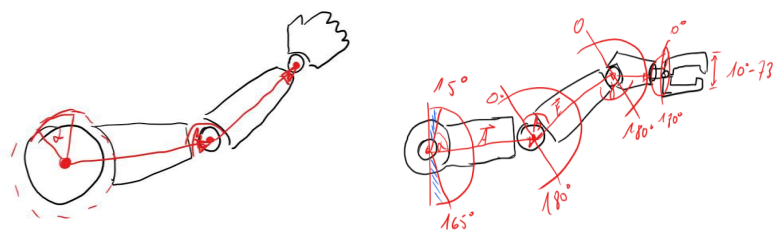


Abbildung 2: Winkelübertragung über bvh-Daten des MoCap-Anzugs

Mit Hilfe dieser Umsetzung der Roboterarmsteuerung kann innerhalb einer geringen Zeit der Roboter auf einfache Tätigkeiten programmiert werden. Hierzu wird eine bvh-Datei mittels Bewegungserfassung aufgenommen und immer wieder abgespielt. Mit diesem System können die Probanden eine auf sich angepasste Bahn des Roboterarms planen, welche der Bewegung des eigenen Arms entspricht. Außerdem wird das System zur Bewegungserfassung genutzt, um die Beschleunigungen des Körpers und die Distanz zum Roboter während der Bewegungsbahn des Roboterarms zu messen. Des Weiteren wird die Blickerfassung des CeyebemanS genutzt, um eine Analyse des Blickverhaltens während der Interaktion mit dem Roboter durchführen zu können. Der Parameter der Blickverteilung während der Fahrt des Roboters kann Aufschlüsse über die Aufmerksamkeitsverteilung geben (Müller et al. 2015). Die Blickdispersion (Di Nocera Camili, Terenzi 2007) bzw. der „average nearest neighbor Index“ dient ebenfalls als Bewertungskriterium für die Ablenkungswirkung des MRK-Systems.

Als subjektive Messmethoden kommt der Negative Attitude Towards Robots (NARS) zur Messung der Einstellung allgemein zu Roboter (Nomura, Suzuki, Kanda, Kato 2006), Trust Scale Questionnaire zur Messung des Vertrauens zum eingesetzten Roboter (Charalambous, Fletcher, Webb 2016) und der NASA-TLX zur Beanspruchungsmessung zum Einsatz (Hart & Staveland 1988).

3.2 Versuchsdesign

Der Versuch findet unter Laborbedingungen statt. Hierzu wird der Montagesimulator des Fachgebiets A&O an der Universität Kassel genutzt. Das zu montierende Produkt ist ein Modellauto, welches in sechs Stationen montiert wird. Zu Beginn wird eine Baselinemessung ohne Unterstützung des Roboters durchgeführt. Bei jedem Durchgang werden drei Autos gefertigt. Im zweiten und dritten Durchgang wird ein Arbeitsschritt durch den Roboter unterstützt. Einmal mit vorprogrammierter Bahn und einmal eine individuelle vom Teilnehmenden selbst programmierte Bahn. Um Lerneffekte auszuschließen, werden die Durchgänge mit individueller und vorprogrammierter Bahn nach jedem Probanden getauscht. Die Programmierung der individuellen Bewegungsbahn des Roboters wird immer zu Beginn des Durchlaufs mit individueller Bahn durchgeführt. Die vorprogrammierte Bahn ist so konzipiert, dass diese die Aufgabe schnell und ohne das Werkstück zu verlieren abschließt.

3.3 Versuchsablauf

Die Teilnehmenden werden über die Wahrung der Anonymität und des möglichen Abbruchs des Versuchs schriftlich informiert und können schriftlich einwilligen am Versuch teilzunehmen. Im ersten Teil des Versuchs wird der NARS ausgefüllt und die demografischen Daten erhoben. Im Anschluss erfolgt eine Einweisung an Montagelinie. Nach der Ausstattung mit dem Messequipment folgt die Baselinemessung. Anschließend wird der NASA-TLX ausgefüllt. Daraufhin wird der Teilnehmende an den Roboterarm angeschlossen und kann nach einem kurzen Training die Bewegungsbahn des Roboters für die Unterstützungstätigkeit selbst einprogrammieren. Nach der erfolgreichen Aufnahme wird wieder das Modellauto wie zuvor in der Baselinemessung montiert mit dem Unterschied, dass der Roboterarm bei einer Tätigkeit unterstützt (siehe *Abbildung 3*). Nach dem Durchgang wird der Fragebogen Trust Scale Questionnaire und der NASA-TLX ausgefüllt. Abschließend

wird Durchgang drei mit vorprogrammierter Bewegungsbahn des Roboters durchgeführt und im direkten Anschluss ebenfalls der Trust Scale Fragebogen und der NASA-TLX ausgefüllt. Am Ende der Messungen konnten die Teilnehmenden noch Bemerkungen äußern.

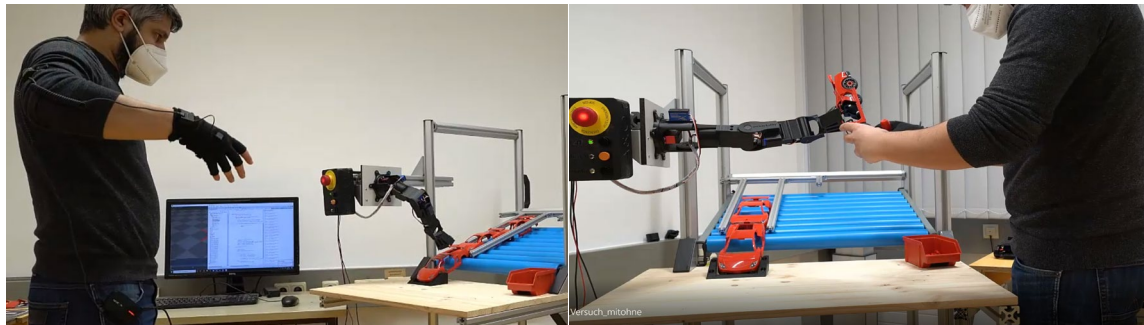


Abbildung 3: Links individuelle Programmierung, rechts Unterstützung durch MRK-System

4. Diskussion und Ausblick

Die Erstellung eines neuronalen Netzes zur eigenständigen Erkennung des MRK-Systems für die Unterstützung muss aufgrund der aktuellen pandemischen Lage im Anschluss der Untersuchung erfolgen. Die Versuchsteilnehmenden hätten dafür zu zwei verschiedenen Zeitpunkten zur Untersuchung erscheinen müssen. Um das Risiko einer Ansteckung zu verringern, wird nur ein Versuchstag geplant, das Auslösen des MRK-Systems simuliert und durch die Versuchsleiter ausgeführt. Das Netz wird anschließend mit den erhobenen Daten trainiert und getestet.

Die Befestigung des Roboterarms und die Platzierung stellten bei Vorversuchen der individuellen Programmierung für manche Teilnehmenden eine Herausforderung dar. Aufgrund des festen Sitzes der Schulter ist eine Eingewöhnungszeit notwendig. In den ersten 30 Messungen konnten jedoch alle Teilnehmenden eine erfolgreiche Programmierung durchführen. Außerdem zeigte sich bei den ersten Versuchen, dass auch ein Linkshänder eine erfolgreiche Programmierung durchführen konnte, obwohl das System nur für den rechten Arm ausgelegt ist. Bei den Bemerkungen nach den Versuchen schätzten 28 von 30 Teilnehmenden ihre eigene programmierte Bahn als angenehmer ein. Die Hauptgründe, die genannt wurden, waren einmal die Geschwindigkeit der vorprogrammierten Bahn und der Zeitdruck, der durch die schnelle und nicht bekannte Bewegung entstand. Ob die qualitativen Aussagen mit den subjektiven Daten des Trust Scale Questionnaire und dem NASA-TLX übereinstimmen, lässt sich nach Abschluss der Versuche bestimmen. Die Auswertungen der Bewegungserfassung im Anschluss werden sich auf Beschleunigungspeaks beim Losfahren des Roboters konzentrieren. Beobachtungen während der ersten Versuche zeigten bereits eine ruckartige Änderung der Körperhaltung durch die Teilnehmenden beim Losfahren des vorprogrammierten Roboters. Die Auswertungen zur Blickbewegung beinhalten den Vergleich der Fixationen auf den Roboter, um eine höhere bzw. niedrigere Aufmerksamkeitsverschiebung zu identifizieren.

5. Literatur

- Buxbaum H-J (Hrsg) (2020) *Mensch-Roboter-Kollaboration*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-28307-0>.
- Charalambous G, Fletcher S, Webb P (2016) The Development of a Scale to Evaluate Trust in Industrial Human-robot Collaboration. *International Journal of Social Robotics*, 8(2), 193–209. <https://doi.org/10.1007/s12369-015-0333-8>.
- Chatterjee I, Xiao R, Harrison C (2015) Gaze+Gesture. In: Zhang Z, Cohen P, Bohus D, Horaud R, Meng H (Eds) *ICMI'15. Proceedings of the 2015 ACM International Conference on Multimodal Interaction : November 9-13, 2015, Seattle, Washington, USA* (S. 131–138). New York, NY, USA: ACM Association for Computing Machinery.
- Dehais F, Sisbot E A, Alami R, Causse M (2011) Physiological and subjective evaluation of a human-robot object hand-over task. *Applied Ergonomics*, 42(6), 785–791. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2010.12.005>.
- Hart S G, Staveland L E (1988) Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In *Advances in psychology* (Bd. 52, S. 139–183). Elsevier.
- Ikeura R, Hagiwara A, Kosha T, Mizutani K (2003) Previous notice method of three dimensional robotic arm motion for suppressing threat to humans. In *RO-MAN 2003. The 12th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication : proceedings : October 31-November 2, 2003, Millbrae, California, USA* (S. 353–357). Piscataway, N.J.: IEEE.
- Koppenborg M, Lungfiel A, Naber B, Nickel P (2013). Auswirkung von Autonomie und Geschwindigkeit in der virtuellen Mensch-Roboter-Kollaboration. In *Chancen durch Arbeits-, Produkt- und Systemgestaltung-Zukunftsfähigkeit für Produktions- und Dienstleistungsunternehmen. Bericht zum 59. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft* (S. 417–420).
- Matthias B, Ding H (2013) Die Zukunft der Mensch-Roboter Kollaboration in der industriellen Montage. In *Internationales Forum Mechatronik* (S. 1–13).
- Naber B, Lungfiel A, Nickel P, Huelke M (2013). Human Factors zu Robotergeschwindigkeit und- distanz in der virtuellen Mensch-Roboter-Kollaboration. *GfA (ed.) Chancen durch Arbeits-, Produkt- und Systemgestaltung-Zukunftsfähigkeit für Produktions- und Dienstleistungsunternehmen*, 421–424.
- Nomura T, Suzuki T, Kanda T, Kato K (2006) Measurement of negative attitudes toward robots. *Interaction Studies*, 7(3), 437–454. <https://doi.org/10.1075/is.7.3.14nom>.
- Sträter O, Bengler K (2019) Positionspapier Digitalisierung der Arbeitswelt. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 73(3), 243–245. <https://doi.org/10.1007/s41449-019-00161-2>.
- Thiemermann S (2005) *Direkte Mensch-Roboter-Kooperation in der Kleinteilemontage mit einem SCARA-Roboter* (IPA-IAO-Forschung und -Praxis, Bd. 411). Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2005. Heimsheim: Jost-Jetter. Verfügbar unter: http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2005/2244/pdf/Thiemermann_hs.pdf.
- Zhang Y, Stellmach S, Sellen A, Blake A (2015) The Costs and Benefits of Combining Gaze and Hand Gestures for Remote Interaction. In: Abascal J, Barbosa S, Fetter M, Gross T, Palanque P, Winckler M (Hrsg) *Human-Computer Interaction – INTERACT 2015* (Lecture Notes in Computer Science, Bd. 9298, S. 570–577). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22698-9_39.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Technologie und Bildung in hybriden Arbeitswelten

68. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und
Fabrikautomatisierung IFF, Magdeburg

02. – 04. März 2022

GfA-Press

Bericht zum 68. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 02. – 04. März 2022

**Otto-von Guericke-Universität Magdeburg;
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Sankt Augustin: GfA-Press, 2022
ISBN 978-3-936804-31-7

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

© 2022 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de