

Objektübergaben in der Mensch-Roboter-Kollaboration

Marco KÄPPLER¹, Barbara DEML¹, Ilshat MAMAEV²

¹ *Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation
Karlsruher Institut für Technologie*

Engler-Bunte-Ring 4, D-76131 Karlsruhe

² *Institut für Anthropomatik und Robotik (IAR) –
Intelligente Prozessautomation und Robotik (IPR)*

Karlsruher Institut für Technologie

Engler-Bunte-Ring 8, D-76131 Karlsruhe

Kurzfassung: Robotersysteme auf aktuellem Stand sind in der Lage, menschliche Bewegungen zu erkennen, diesen zu folgen und Objektübergaben an die menschlichen Bewegungen angepasst zu gestalten. Diese Arbeit untersucht, ob ein hohes Maß an Adaptivität des Roboters in der Transferphase zu besseren Übergaben führt, als ein geringes Maß an Adaptivität in der Transferphase. Ziel dieser Arbeit ist es, den Einfluss der Adaptivität des Roboters auf die subjektive Wahrnehmung des Menschen zu untersuchen. Hierzu werden folgende Variablen verglichen: die Flüssigkeit der Übergabe, das Entgegennehmen des Objekts, das Sicherheitsempfinden, das Vertrauen in den Roboter, die Zufriedenheit mit der Übergabe.

Schlüsselwörter: Mensch-Roboter-Interaktion, adaptives Roboter-verhalten, Objektübergabe, empfundene Sicherheit, Technik-Vertrauen

1. Einleitung

Die Übergabe von Objekten, sowohl von Roboter an Mensch als auch von Mensch an Roboter, stellt ein wichtiges Forschungs- und Anwendungsfeld im Bereich der Mensch-Roboter-Kollaboration dar. Wenn sich Menschen Objekte reichen, wird eine Übergabebewegung in der Regel unbewusst durch eine Vielzahl von subtilen Signalen vermittelt. Die Körperposition, die Hand- und Armpose, der Blick, die Greifkraft und die Verläufe dieser Faktoren über die Zeit werden genutzt, um die Absicht einer Übergabe sowie das Wann und Wo der Übergabe wahrzunehmen (Basili et al., 2009; Chan et al., 2013; Huber et al., 2009; Strabala et al., 2012).

Im Rahmen aktueller Entwicklungsprogramme im Bereich der Robotik wird versucht, mit Hilfe geeigneter Sensorik Übergaben so sicher, zuverlässig und angenehm wie möglich zu gestalten. Robotersysteme auf aktuellem Stand sind in der Lage, menschliche Bewegungen zu erkennen, diesen zu folgen und Objektübergaben an die menschlichen Bewegungen angepasst zu gestalten. Um Übergabeprozesse präzise beurteilen zu können, ist es notwendig diese in Phasen zu unterteilen. In einer vorangegangenen Untersuchung konnte gezeigt werden, dass sich Übergabeprozesse in eine Beschaffungsphase, eine Transferphase und eine Interaktionsphase unterteilen lassen (Käppler et al., 2020).

Diese Arbeit untersucht, ob ein hohes Maß an Adaptivität des Roboters in der Transferphase zu besseren Übergaben führt als ein geringes Maß an Adaptivität in der Transferphase.

Ein hohes Maß an Adaptivität wird dadurch erreicht, dass der Roboter mit Hilfe von intelligenter Bildverarbeitung die Hand des Menschen lokalisiert und dieser gezielt bis zur Übergabe folgt, selbst wenn die Hand im Übergabeprozess noch bewegt wird. Ein geringes Maß an Adaptivität ist dadurch charakterisiert, dass der Roboter zu einer vorab definierten Endposition fährt und auf das Greifen des Objekts durch den Menschen wartet.

Um eine hoch adaptive Übergabe zu realisieren, ist ein hoher technischer Aufwand notwendig. Es gilt herauszufinden, ob dieser zusätzliche Aufwand notwendig ist und sich in der Roboter-Mensch-Übergabe widerspiegelt. Des Weiteren gilt es herauszufinden, ob es dem Menschen leichter fällt sich an die Übergabe mit geringer Adaptivität anzupassen und ob es nicht sogar zu schlechteren Übergaben führt, wenn sich bei hoch adaptiven Übergaben sowohl der Mensch an den Roboter als auch der Roboter an den Menschen versucht anzupassen.

Zur Beurteilung der beiden Transfermethoden werden die Kriterien: die wahrgenommene Flüssigkeit der Übergabe, das einfache Entgegennehmen des Objekts, das Vertrauen in den Roboter, das Sicherheitsempfinden sowie die Zufriedenheit mit der Übergabe der Probanden betrachtet.

2. Methode

2.1 Versuchsaufbau



Abbildung 1: *Technischer Aufbau des Übergabeexperiments mit Panda Roboterarm und Greifer von Franka Emika.*

Abbildung 1 zeigt den technischen Aufbau des Übergabeexperiments. Der Aufbau besteht aus einem Tisch, auf dem ein kollaborativer Panda Roboter von Franka Emika montiert ist. Der Roboter verfügt über sieben Freiheitsgrade und hat eine Nutzlast von 3 kg. Am Endeffektor des Roboters sind sowohl ein 2-Backen-Greifer als auch eine Intel RealSense RGB D Kamera montiert. In die Greiferbacken wurden kapazitive Näherungssensoren integriert.

Als Transferobjekt wird eine Tasse verwendet. Diese wird im roten Behälter auf der linken Seite des Tisches platziert. Die Probanden stehen an der Vorderseite des Tisches, während der Panda Roboter auf der Rückseite des Tisches montiert ist. Die Probanden

befinden sich außerhalb des erreichbaren Raums des Roboters, sie können allerdings durch Ausstrecken des Arms in den kollaborativen Arbeitsraum eintreten. Die Übergabe der Tasse, und damit die Interaktionsphase, findet auf Höhe des rechten Drittels des Tisches im rechten Greifraum der Probanden statt.

2.2 Technischer Ablauf einer Übergabe

Zu Beginn der Übergabeuntersuchung befindet sich der Franka Panda über dem Mittelpunkt des Tisches. Diese Position wird als *Startposition* bezeichnet. Von dieser Startposition aus wird die Tasse, die sich im roten Behälter befindet, angesteuert.

Als nächster Schritt folgt *Tasse Greifen*. Hierzu fährt der Roboter zunächst in eine Position über der Tasse, öffnet den Greifer und fährt nach unten zur Tasse, bis sich die Greiferbacken auf Höhe der Tasse befinden. Wenn diese Position erreicht ist, schließen sich die Greiferbacken und die Tasse wird sicher gegriffen.

Mit gegriffener Tasse bewegt sich der Roboter daraufhin in die *Überblicksposition*. Diese Position ist so gewählt, dass die Hand des Probanden mit Hilfe der Kamera optimal erkannt werden kann (Abbildung 2a).

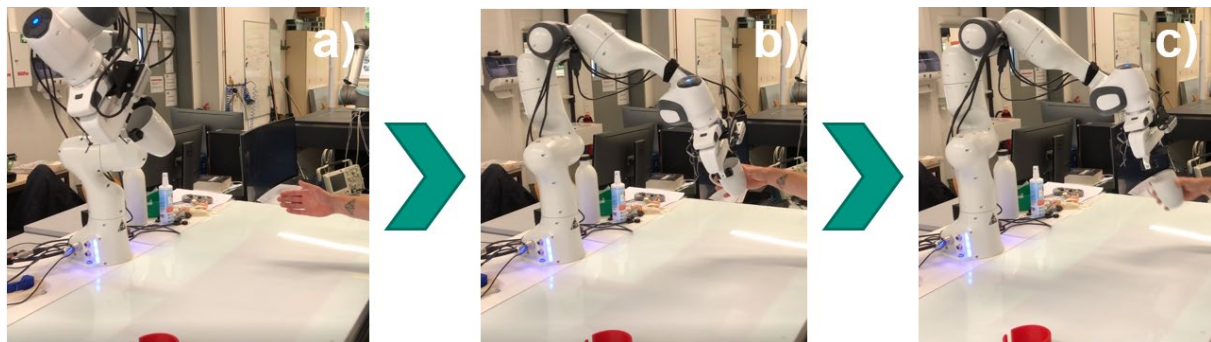


Abbildung 2: Ablauf einer Übergabe: a) Überblicksposition, b) Greifen des Objekts, c) Loslassen der Tasse

Für die Untersuchung werden, wie bereits in der Einleitung angedeutet, *zwei unterschiedliche Transfermethoden* des Objekts miteinander verglichen.

Die Umsetzung erfolgt durch Implementierung eines Ansatzes aus dem MediaPipe-framework von Google Research, der maschinelles Lernen nutzt, um schnelles und robustes Hand- und Fingertracking zu gewährleisten.

Für den *aktiven Transfer* wird zunächst der Übergaberaum nach einer Hand abgesehen. Sobald eine Hand erkannt wird, wird diese gezielt angesteuert. Auf Basis der Kameradaten ist der Roboter in der Lage bis 30 cm vor Erreichen der Hand, seine Position an eine geänderte Handposition anzupassen. Sobald die Distanz zur Hand weniger als 30 cm beträgt, kann die Position nicht mehr angepasst werden. Es wird auf Basis der letzten Bilddaten der Hand eine Endposition berechnet und diese angesteuert.

Beim *passiven Transfer* wird ebenfalls der Übergaberaum nach einer Hand abgesehen. Sobald die Hand detektiert wird, fährt der Roboter zu einem vorher definierten Endpunkt. Der Endpunkt sowie die abgefahrene Bewegungsbahn sind bei jeder Übergabe mit passivem Transfer identisch.

Zur *Detektion des Griffs* werden kapazitive Näherungssensoren (Alagi et al., 2016) eingesetzt. Diese sind in die Greiferbacken des Roboters integriert. Wenn der Greifer nichts gegriffen hat, misst der Sensor eine Grundkapazität. Nachdem der Roboter die Tasse gegriffen hat, erhöht sich diese Kapazität. Die Berührung des Objekts sowie der

darauffolgende Griff des Objekts (Abbildung 2b) führen zu einem signifikanten Anstieg der Kapazität. Die gemessene Kapazität steigt proportional zur berührten Fläche des Objekts an. Um einen Griff zu detektieren, wurde entsprechend ein Schwellenwert definiert, der überschritten werden muss, damit der Greifer die Tasse loslässt.

Sobald der Schwellenwert überschritten wird, öffnen die Greiferbacken des Roboters und lassen die Tasse los (Abbildung 2c). Gleichzeitig bewegt sich der Roboter 10 cm nach oben, um den Probanden mehr Platz zu schaffen, die Tasse zu sich zu nehmen.

Wenn die Übergabe beendet ist, wird die Tasse von den Probanden wieder in den roten Behälter gestellt und die nächste Übergabe beginnt wieder mit der Phase *Tasse Greifen*.

2.3 Stichprobe

Für diese Untersuchung wurden 22 erwachsene Probanden getestet. Die Versuchspersonen waren zwischen 21 und 50 Jahre alt und Rechtshänder (Alter: $27,2 \pm 5,7$ Jahre). Alle Probanden nahmen freiwillig an der Studie teil und wurden vorher ausführlich über den Untersuchungsablauf, ihre Rechte und die Anonymität der Daten aufgeklärt. Hierfür unterschrieben alle Probanden eine Einverständniserklärung.

2.4 Versuchsablauf

Für die Probanden bestand ein Durchgang aus zehn Übergaben in Folge. Anschließend an die zehn Übergaben beantworteten die Probanden fünf Fragen zu ihrem subjektiven Empfinden. Die Fragen des Fragenbogens lauteten wie folgt und konnten auf einer 5-stufigen Likert-Skala beantwortet werden:

- *Empfanden Sie die Übergabe als flüssig?*
- *Konnten Sie das Objekt einfach vom Roboter entgegennehmen?*
- *Vertrauen Sie dem Roboter, das Richtige zu tun?*
- *Haben Sie sich bei der Übergabe sicher gefühlt?*
- *Wie zufrieden sind Sie mit der Übergabe insgesamt?*

Nach diesem Muster wurden insgesamt vier Durchgänge durchgeführt. Entsprechend absolvierte jeder Proband insgesamt 40 Übergaben und beantwortete die fünf Fragen vier Mal.

Vor der Untersuchung wurden die Probanden zufällig Untersuchungsgruppe A oder Untersuchungsgruppe B zugeteilt. Untersuchungsgruppe A führte alle Übergaben mit der passiven Transfermethode durch, während Untersuchungsgruppe B alle Übergaben mit der aktiven Transfermethode durchführte. Allen Probanden wurde vom Versuchsleiter eine Objektübergabe mit dem Roboter gezeigt und dabei die Funktionen des Roboters erklärt. Danach begann der erste Durchgang der Probanden.

2.5 Datenverarbeitung und Statistik

Die Daten des Fragebogens wurden mit Microsoft Excel 2016 verarbeitet. Die statistischen Berechnungen wurden mit der Software JASP (Version 0.14.1) durchgeführt. Zur Quantifizierung der Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Transfermethoden wurden die Daten zunächst deskriptiv aufbereitet und geplottet. Zur statistischen Absicherung der Befunde wurde der Mann-Whitney U Test gerechnet. Das Signifikanzniveau wurde a priori auf 5% festgelegt.

3. Ergebnisse

Für die *Flüssigkeit der Übergabe*, die *Einfachheit des Entgegennehmens* des Objekts und die *Zufriedenheit mit der Übergabe* konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen der aktiven und der passiven Transfermethode festgestellt werden.

Für die Variablen *Vertrauen* sowie *Sicherheitsempfinden* zeigen sich vor allem in den Durchgängen drei und vier Unterschiede zwischen den Transfermethoden aktiv und passiv. Die Bewertung des Sicherheitsempfindens unterscheidet sich in Durchgang drei zwischen aktiv ($3,82 \pm 0,94$) und passiv ($4,73 \pm 0,45$) mit $U = 29.500$, $p = .026$ und in Durchgang vier zwischen aktiv ($3,91 \pm 0,51$) und passiv ($4,73 \pm 0,62$) mit $U = 19.500$, $p = .004$ jeweils signifikant (Abbildung 3).

Ähnliche Unterschiede zeigen sich für die Variable *Vertrauen in den Roboter*. Hier unterscheiden sich ebenfalls die Durchgänge drei (aktiv: $3,73 \pm 0,86$; passiv: $4,45 \pm 0,66$ mit $U = 32.500$, $p = .054$) und vier (aktiv: $4,00 \pm 0,60$; passiv: $4,45 \pm 0,50$ mit $U = 38.000$, $p = .098$), allerdings statistisch nicht signifikant (Abbildung 3).

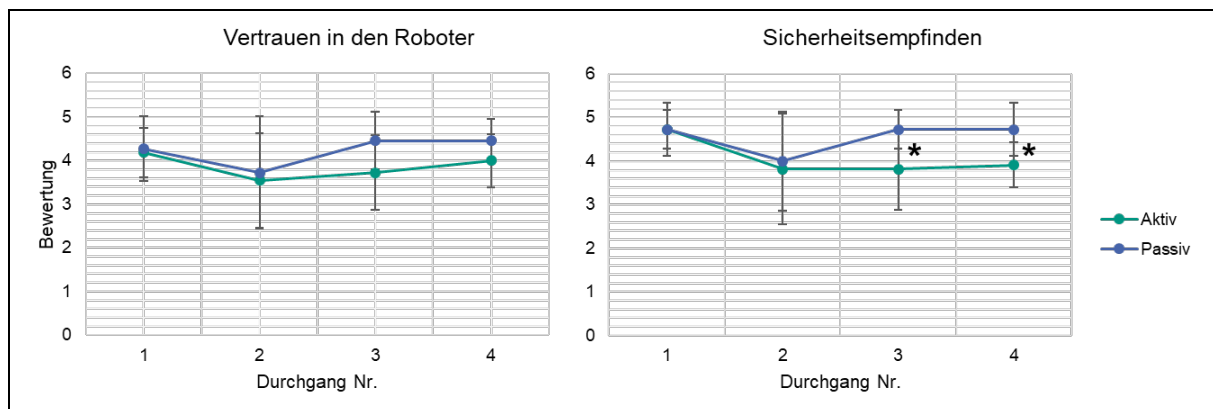


Abbildung 3: Vertrauen in den Roboter und Sicherheitsempfinden

4. Zusammenfassung und Diskussion

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Einfluss verschiedener Transfermethoden auf die subjektive Wahrnehmung der Flüssigkeit der Übergabe, des einfachen Entgegennehmens des Objekts, des Vertrauens in den Roboter, des Sicherheitsempfindens sowie der Zufriedenheit mit der Übergabe insgesamt untersucht. Zu diesem Zweck wurden Objektübergaben mit Hilfe eines Panda Roboters von Franka Emika durchgeführt. Insgesamt führte jeder Proband 40 Übergaben durch. Nach jeweils zehn Übergaben wurde ein Fragebogen mit 5 Fragen zu den oben genannten Variablen beantwortet.

Es konnte gezeigt werden, dass die Transfermethode einen signifikanten Einfluss auf das Sicherheitsempfinden und einen zwar nicht signifikanten, aber dennoch deutlichen Einfluss auf das Vertrauen in den Roboter hat.

Keinen Einfluss dagegen hat die Transfermethode auf die subjektive Wahrnehmung der Flüssigkeit der Übergabe, des einfachen Entgegennehmens des Objekts und die Zufriedenheit mit der Übergabe insgesamt hat.

Durch die adaptive Transfermethode ergibt sich eine deutlich höhere Bewegungsvariabilität des Roboters, da sich dieser immer an die Position des Probanden anpasst. Da sich das Bewegungsverhalten des Roboters je nach Handposition ändert, wird es

für die Probanden schwieriger, das exakte Verhalten des Roboters zu antizipieren und zu lesen. Entsprechend muss die Bewegung des Roboters mit höherem Konzentrationsaufwand verfolgt werden, um darauf reagieren zu können.

Bei der passiven Transfermethode hingegen wird das Objekt immer zum gleichen vorab definierten Endpunkt gefahren. Dabei wird vom Roboter immer dieselbe Bewegungstrajektorie abgefahren. Dies macht die Lesbarkeit des Roboterverhalten einfacher und verhindert auf die Bewegung des Roboters reagieren zu müssen.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse des Fragebogens muss beachtet werden, dass diese sich auf die Übergabehandlung als gesamten Prozess beziehen. Darin eingeschlossen sind sowohl die Transferphase also auch die Interaktionsphase. Es kann also nicht trennscharf beurteilt werden, ob eine Bewertung aufgrund der Transferphase oder des Loslassens zustanden kommt.

Da in beiden Untersuchungsbedingungen dieselbe Sensorik und die dieselbe Funktionsweise beim Loslassen des Objekts zum Einsatz kam, muss davon ausgegangen werden, dass die vorliegenden Unterschiede auf der Transfermethode basieren oder die Transfermethode einen zusätzlichen Einfluss auf das Loslassen des Objekts hat.

Auf Basis der Ergebnisse der Untersuchung kann darauf geschlossen werden, dass die Wahrnehmung der Flüssigkeit der Übergabe, die Einfachheit das Objekt entgegenzunehmen und die Zufriedenheit mit der gesamten Übergabe stärker mit dem Loslassen des Objekts in Verbindung stehen. Das Vertrauen in den Roboter sowie das Sicherheitsempfinden scheinen stärker durch die Transfermethode beeinflusst zu werden.

5. Literatur

- Alagi H, Navarro S E, Mende M, & Hein B (2016) A versatile and modular capacitive tactile proximity sensor, In 2016 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS) (S. 290–296). IEEE.
- Basili P, Huber M, Brandt T, Hirche S & Glasauer S (2009) Investigating Human-Human Approach and Hand-Over. In R Dillmann, D Vernon, Y Nakamura, S Schaal, H Ritter, G Sagerer et al. (Hrsg.), Human Centered Robot Systems (Cognitive Systems Monographs, Bd. 6, S. 151–160). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-10403-9_16
- Chan WP, Parker CAC, van der Loos HM & Croft EA (2013) A human-inspired object handover controller. *The International Journal of Robotics Research*, 32(8), 971–983. <https://doi.org/10.1177/0278364913488806>
- Huber M, Knoll A, Brandt T & Glasauer S (2009) Handing over a cube. Spatial features of physical joint-action. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1164, 380–382. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2008.03743.x>
- Käppler M & Deml B (2020) Bewertung von Mensch-Roboter-Übergaben anhand kinematischer Parameter. In GfA, Dortmund (Hrsg.): Tagungsband 66. GfA-Frühjahrskongress: Digitaler Wandel, digitale Arbeit, digitaler Mensch?, Beitrag B.11.1, Berlin, 16.03 - 18.03.2020
- Strabala K, Lee MK, Dragan A, Forlizzi J & Srinivasa SS (2012) Learning the communication of intent prior to physical collaboration. In 2012 IEEE RO-MAN: The 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (S. 968–973). IEEE.



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