

Nutzung von Tracking-Technologien der virtuellen Realität, in Form eines Datenhandschuhs, zur Transformation menschlicher Bewegungsfolgen auf einen Industrieroboter als neue Form der Mensch-Roboter-Interaktion

Patrick ADLER, Holger DANDER, Gerd WITT

*Arbeitsgruppe Hybrid Process, Lehrstuhl Fertigungstechnik
Institut für Produkt Engineering, Fakultät für Ingenieurwissenschaften
Universität Duisburg-Essen
Lotharstraße 2, D-47057 Duisburg*

Kurzfassung: Die Transformation menschlicher Arbeitsaufgaben auf einen Industrieroboter stellt bis heute eine Herausforderung dar. Verschiedene Ansätze stoßen bisher in individuellen Fertigungssituationen an ihre Grenzen. Ein neuer Ansatz soll dieses Problem mit Hilfe von Trackingtechnologien der virtuellen Realität (VR) und der Kopplung unterschiedlicher Sensorkonzepte unter neuartiger Aufbereitung der kinematischen Rohdaten adressieren. Zunächst werden Bewegungsfolgen der manuellen Tätigkeiten mittels Sensorhandschuhen erfasst und die gewonnenen Daten automatisiert aufbereitet, um diese asynchron einem Robotersystem auf Basis von ROS zur Verfügung zu stellen. Die Aufbereitung der Daten beinhaltet die Transformation menschlicher Bewegungsfolgen in die Bahnplanung für Automatisierungskomponenten.

Schlüsselwörter: Mensch-Roboter-Interaktion, Digitale Assistenz, Cyber-Physisches-System, Industrie 4.0, Sensor-Datenhandschuh

1. Demonstrator zur Transformation von Bewegungsfolgen

Die Transformation menschlicher Arbeitsaufgaben auf einen Industrieroboter stellt bis heute eine Herausforderung dar. Sowohl die Hand-Auge-Koordination des Menschen als auch der intuitive „Griff-in-die-Kiste“ sind bis heute nicht vollumfänglich zu automatisieren. Verschiedene Ansätze, wie beispielsweise optische Marker in Verbindung mit Bildverarbeitung, stoßen in individuellen Fertigungssituationen wie der Montage oder Logistik bisher an ihre Grenzen. (Siciliano & Khatib 2016)

Eine neue Form der Mensch-Roboter-Interaktion wird vorgestellt, indem zunächst Bewegungsfolgen der manuellen Tätigkeiten mittels Sensorhandschuhen erfasst werden. Die daraus gewonnenen Daten werden automatisiert und digital aufbereitet, um diese asynchron einem Robotersystem auf Basis des „Robot Operating System (ROS)“ zur Verfügung zu stellen (Koubaa 2021). Die Aufbereitung der Daten beinhaltet die Transformation menschlicher Bewegungsfolgen in die Bahnplanung für Automatisierungskomponenten, durch eine Simulation der Arbeitsumgebung in ROS können Kollisionen vor der Ausführung einer Roboterbewegung verhindert werden.

Das Tracking menschlicher Bewegungsfolgen, beispielsweise als Grundlage einer arbeitswissenschaftlichen Betrachtung oder zur Ermittlung einer Ausführungszeit nach REFA (REFA 1997) oder MTM (Bokranz & Landau 2006), erfolgt bis jetzt meist durch optische Sensorik in Form von Kameras. Durch den Einsatz eines sensorbehafteten

Datenhandschuhs aus dem Bereich der VR-Spieleindustrie kann die Datenqualität verbessert werden, da Störgrößen wie sie Dander (2018) beschreibt, beispielsweise lokale Beleuchtung oder durch Betriebsmittel bedingte Verschattungen am Arbeitsplatz ihren Einfluss verlieren. Neben den Positionen der beiden Handgelenke werden die Orientierungen der einzelnen Fingerglieder durch integrierte IMU-Sensoren fortlaufend getrackt.

Im Bereich der Spielbranche wird dazu das Zentralmodul (Headmount) der Sensorhandschuhe an der VR-Brille befestigt. Am bestehenden Arbeitsplatz wird dieses zentral über dem Arbeitsbereich angebracht, hierdurch wird die Koordinatentransformation zwischen dem Roboter- und dem Headmount-Koordinatensystem wesentlich vereinfacht, siehe Systemaufbau in Abbildung 1.

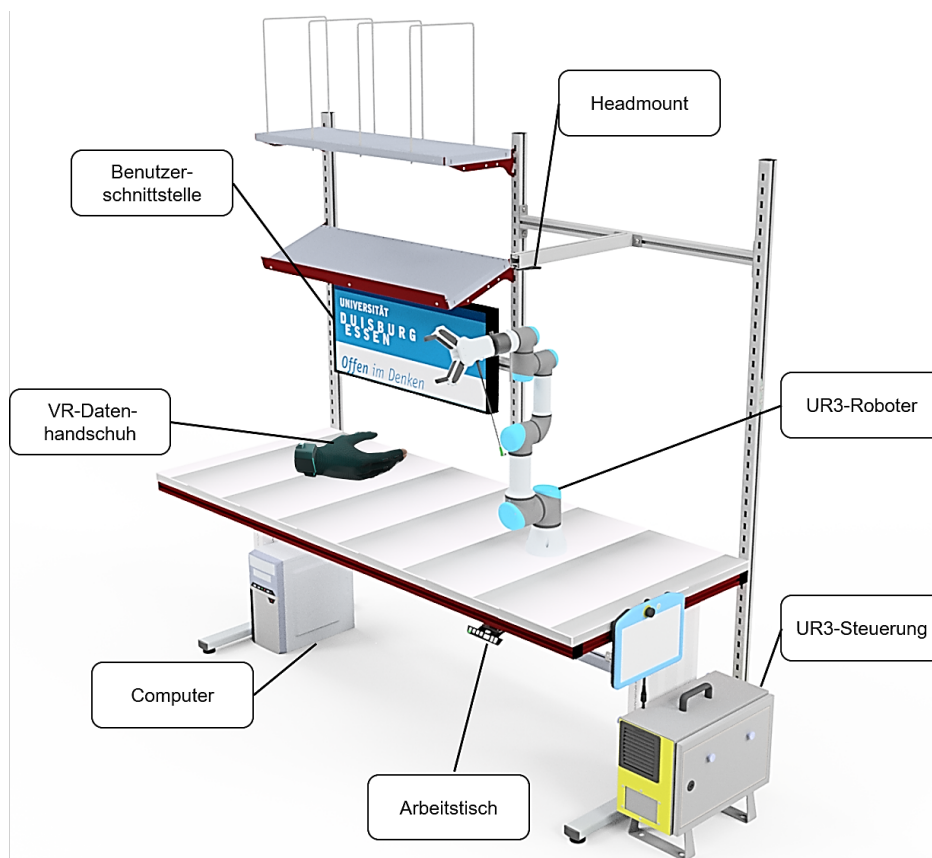


Abbildung 1: Roboter- und Trackingsystem am manuellen Arbeitsplatz (schematische Darstellung)

2. Aufbau der Systeme und Transformation am manuellen Arbeitsplatz

Der Demonstrator setzt sich aus zwei separaten Systemen, dem Roboter- und Trackingsystem, zusammen. Der Industrieroboter, ein Universal Robot UR3, ist mit integrierter und zusätzlicher externer Kraft-Momenten-Sensorik, Robotiq FT 150 und einem Zweibackten-Parallelgreifer OnRobot RG6, konzipiert für den Einsatz in der Mensch-Roboter-Interaktion, auf einem elektrisch höhenverstellbaren Arbeitstisch für manuelle Logistikprozesse montiert. Die Grenzen der Greifräume von Mensch und Roboter werden durch die Positionierung von Vorrichtungen auf dem Arbeitstisch berücksichtigt, sodass sowohl Mensch als auch Roboter dieselben Arbeitsmittel erreichen können. Der Arbeitsbereich wird gemäß VDI 3657 (Gründruck, o. J.) als erweitertes Arbeitszentrum klassifiziert, in dem sich beide Hände im Blickfeld befinden.

Beide Systeme werden durch eine selbstentwickelte Software lokal am Arbeitsplatz miteinander verknüpft; das Trackingsystem wird dabei auf einem Windows-Betriebssystem ausgeführt. Während für die Ausführung von ROS und die Übermittlung an das Robotersystem ein Ubuntu-Betriebssystem Verwendung findet, wird der Datenaustausch hierbei über ein externes Medium vorgenommen.

2.1 Trackingsystem der virtuellen Realität am manuellen Arbeitsplatz

Das Headmount des Trackingsystems VRFree Gloves von Sensoryx wird statt an einer VR-Brille unmittelbar am bestehenden Arbeitsplatz befestigt, wie bereits in Abbildung 1 verdeutlicht. Auf diese Weise kann eine statische Differenz zwischen den Koordinatensystemen des Trackings und des eingesetzten Industrieroboters sichergestellt und dieser in Form von translatorischer Verschiebung und rotatorischer Verdrehung definiert werden. Die so entstehende Rotationsmatrix und der Verschiebungsvektor werden unmittelbar im Programmcode berücksichtigt.

Durch die Aufhängung am Arbeitsplatz kann die Arbeitsaufgabe durch das Tragen von Sensorhandschuhen getrackt werden, die Verwendung einer VR-Brille ist obsolet. Durch eigene Untersuchungen konnte ein Tracking auf einer Fläche von 0,8 x 2 Metern mit einer Wiederholgenauigkeit < 5 mm evaluiert werden, was für den vorgesehenen Einsatzzweck eine hinreichende Genauigkeit des Systems darstellt.

Die Aufbereitung der Sensordaten geschieht insbesondere durch eine Filterung der Bewegungsrichtung. Diese basiert auf der Annahme, dass jeweils beim Entnehmen sowie Fügen ein Richtungswechsel stattfindet, welcher die jeweilige Position mit hinreichender Genauigkeit charakterisiert. Diese Filterung wird in einer zukünftigen Entwicklung durch ein künstliches neuronales Netzwerk erweitert, um die verschiedenen Griffarten der menschlichen Hand abbilden zu können.

2.2 Robotersystem am Arbeitsplatz und digitales Abbild im Robot Operating System

Der Manipulator des Robotersystems ist als Tischinstallation auf einem elektrisch höhenverstellbarem Arbeitstisch ausgeführt. Die Interaktion kann hierdurch an einem integrierten Sitz-/Steharbeitsplatz in der Überschneidung des Greif- und Arbeitsraumes zwischen Mensch und Roboter stattfinden. Alle Komponenten liegen als digitales Abbild der Konstruktion vor, um eine Simulation der Störkonturen in der Bewegungsplanung in ROS vorzunehmen.

ROS beschreibt ein Steuerungssystem für Industrie- und Personal Roboter und findet weite Verbreitung in Industrie, Forschung und Wissenschaft. Für den vorliegenden Anwendungsfall findet insbesondere die Berücksichtigung statischer Elemente des Arbeitsplatzes wie Anbauten, Vorrichtungen oder Stelleinrichtungen für die Simulation der Bahnplanung mit integrierter Kollisionsverhütung Anwendung. So ist sichergestellt, dass auch bei fehlerhaften Trackingdaten eine Beschädigung der eingesetzten Komponenten möglichst vermieden wird. Als Benutzerschnittstelle wird eine graphische Ausgabe der Simulationsergebnisse genutzt, sodass auftretende Singularitäten, beispielsweise am Rande des Arbeitsraumes, auch für den Menschen veranschaulicht werden.

2.3 Anwendungsbeispiel aus dem Bereich der Montage (Fügeoperation)

Als Anwendungsbeispiel des entstehenden Gesamtsystems wird eine Fügeoperation mit Primitiven ausgewählt. Diese Operation zeichnet sich durch ein Hinlangen,

Greifen und Entnehmen aus der Vorrichtung am Aufnahmeort sowie den umgekehrten Ablauf am Ablageort aus. Beide Teilsysteme werden jeweils eigenständig evaluiert und Wiederholgenauigkeiten von < 5 mm festgestellt. Die Primitive werden mit unterschiedlichen Orientierungsgraden entsprechend ihrer Symmetrie konstruiert, so stellt eine Drehung um die Längsachse beim Zylinder kein Hindernis beim Fügen dar (symmetrisch), während der Würfel nur orientierungstreu (spiegelsymmetrisch) abgelegt werden kann. Das dritte Primitiv wird als Bügel ausgeführt, sodass dieses als nicht symmetrisch nach MTM beschrieben wird, eine Darstellung der Primitive findet sich in Abbildung 2. Alle Primitive werden in drei verschiedenen Größen gefertigt, um eine Evaluierung des Systems durch Wiederholung zu verbessern und statistisch abzusichern.

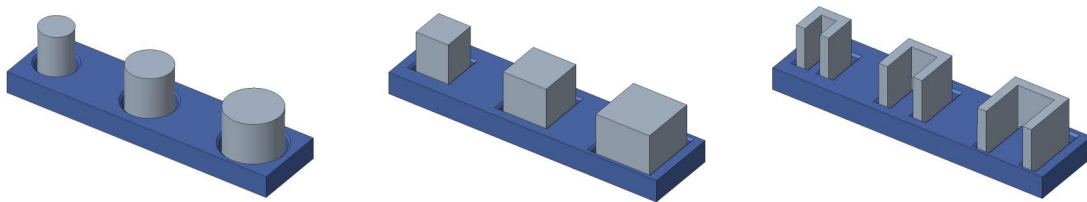


Abbildung 2: Primitive der Fügeoperation für symmetrische, spiegelsymmetrische und nicht symmetrische Bauteile (schematische Darstellung)

3. Versuchsdesign und erste Ergebnisse des Demonstrators

Um das Trackingsystem zu evaluieren wird die hohe Wiederholgenauigkeit des UR3-Roboters genutzt (Herstellerangabe: 0,1 mm). Die Abweichung des Trackingsystems am Handgelenk wird auf < 5 mm bestimmt, indem der UR3-Roboter in verschiedene Raumrichtungen Linearbewegungen ausführt, diese getrackt und anschließend statistisch ausgewertet werden. Für den Demonstrator wird die Wiederholfrequenz auf 30 ms eingestellt, was eine hinreichend genaue Betrachtung der Hand- und Fingerbewegungen ermöglicht.

Von den additiv-gefertigten Primitiven wird eine erste Entnahme- und Fügeoperation mit den Zylindern durchgeführt, um unabhängig vom Orientierungsgrad entlang der Körperlängsachse entnehmen und fügen zu können. Abbildung 3 veranschaulicht graphisch die tatsächlichen Greifpunkte der Primitive im Koordinatensystem des UR3-Roboters in der Draufsicht auf die Tischplatte am Arbeitsplatz.

Die Punkte Eins, Drei und Fünf kennzeichnen die tatsächlichen Entnahmepositionen der drei Zylinder, während die Punkte Zwei, Vier und Sechs die tatsächlichen Fügepositionen der Zylinder repräsentieren. Jeweils in blau sind die vom Tracking erfassten Positionen zu erkennen, welche mit den ermittelten Fehlerbalken aus Voruntersuchungen eingezeichnet sind. Die Fehlerbalken entstehen durch eine statische Verknüpfung zwischen Handgelenk-Sensorik und dem angenommenen Greifpunkt der Fingerspitzen sowie der Filterung der aufgezeichneten Positionsdaten. Eine Einbindung der vorhandenen IMU-Sensorik der Finger sowie eine geeignete, automatisierte Kalibrierung per maschinellem Lernen derselben könnte die hier vorgestellten Ergebnisse eines ersten Demonstrators noch wesentlich verbessern.

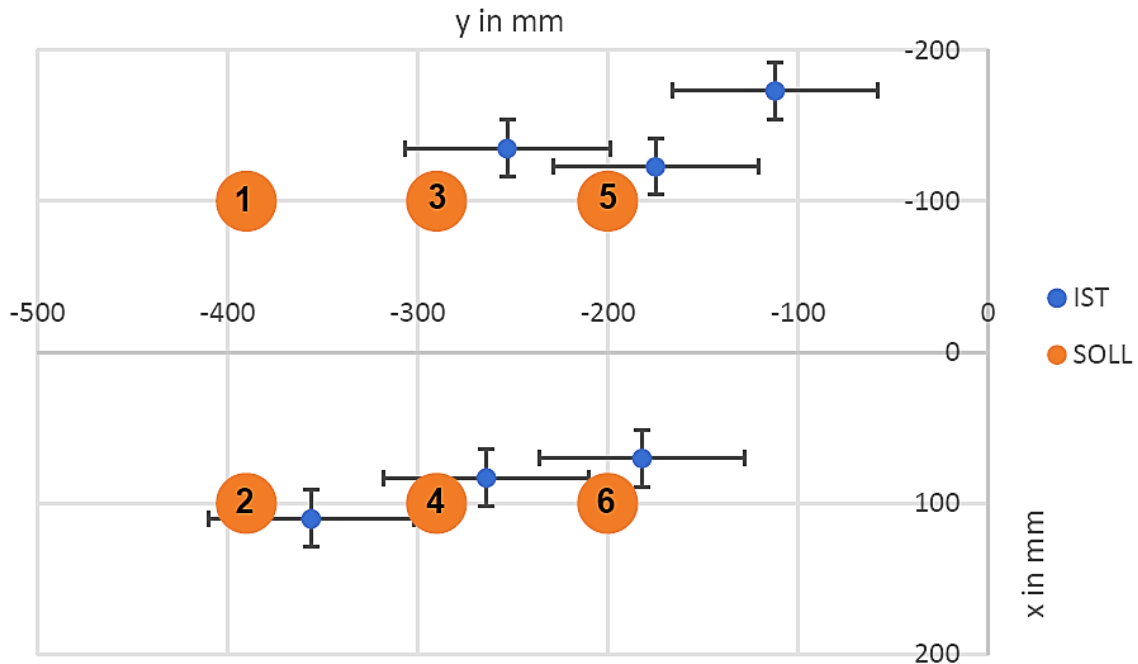


Abbildung 3: Graphische Veranschaulichung der Ergebnisse der Roboterpositionen zu den tatsächlichen Positionen der Greifpunkte von Entnahme- und Ablageposition (Draufsicht auf die Tischebene, Koordinatenursprung entspricht Roboterposition)

4. Fazit und Ausblick

Die Inbetriebnahme von Sensordatenhandschuhen aus dem Bereich VR der Spieleindustrie zum Tracking menschlicher Bewegungsfolgen am Arbeitsplatz und der Übertragung auf einen Industrieroboter konnte erfolgreich durchgeführt werden. Die aktuellen Messgenauigkeiten und die fehlende Einbindung der Fingersensorik lassen einen industriellen Einsatz heute noch nicht zu.

Um die industrielle und weitere wissenschaftliche Anwendung des entwickelten Systems sicherzustellen soll die bisherige Rohdatenverarbeitung verbessert werden. Hierzu ist die Nutzung eines künstlichen neuronalen Netzwerks geplant, um die Extraktion der bereinigten Bewegung auf Grundlage wiederkehrender Messungen desselben Vorgangs zu stützen und auf diese Weise insbesondere die Kollisionsgefahr des eingesetzten Roboters zu eliminieren. Künstliche Intelligenz bildet somit die Basis der Datenaufbereitung. Die aufgenommenen Daten verlangen nach einer Echtzeit-Filterung und Klassifizierung, welche beispielweise durch ein künstliches neuronales Netzwerk umgesetzt werden könnte. Werden die üblichen Genauigkeitsanforderungen erfüllt, so wird es erstmals möglich, automatisierte Zeitstudien durchzuführen und Industrieroboter in unbekanntem Arbeitssituationen ohne spezifische Programmierung einzusetzen.

Eine Nutzung ist für das „Heranführen“ von Menschen an mechatronische Systeme durch einen niederschweligen Zugang ebenso geplant wie der Einsatz als körperteil-eretzende Robotik am Arbeitsplatz. Das Tracking einer beidhändig ausgeführten Arbeitsaufgabe eröffnet Menschen mit Beeinträchtigung durch den Einsatz einer angepassten Mensch-Roboter-Interaktion auf diese Weise ein selbstbestimmtes Arbeiten.

5. Literatur

- Bokranz, R; Landau, K (2006) Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen - MTM-Handbuch. In: Bokranz, R (Hrsg) Handbuch Industrial Engineering. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Dander H (2018) Interaktives und wissensbasiertes Informationssystem für manuelle Tätigkeiten. Aachen: Shaker Verlag.
- Koubaa, A (2021) Robot Operating System (ROS) - The Complete Reference (Volume 5). In: Kacprzyk, J (Hrsg) Studies in Computational Science. Cham (Schweiz): Springer Nature Switzerland
- REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (1997) Datenermittlung. In: REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (Hrsg) Methodenlehre der Betriebsorganisation. München: Hanser.
- Siciliano, B; Khatib, O (2016) Springer Handbook of Robotics. Cham (Schweiz): Springer International Publishing
- VDI 3657 (Gründruck, o. J.) Ergonomische Gestaltung von manuellen Kommissioniersystemen. In: VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik (Hrsg.) VDI-Handbuch Technische Logistik - Band 7: Materialfluss I (Gestaltung). Berlin: Beuth