

Teleoperation eines Industrieroboters durch KI Gesten-Erkennung

Algan, Mustafa, BSc., MSc., Fachhochschule Wiener Neustadt, Österreich
DI Dr. Nemecek, Alexander, Fachhochschule Wiener Neustadt, Österreich

Abstract: Im Rahmen des Projektes wurde die Teleoperation eines Industrieroboters durch Gesten-Erkennung mittels Künstlicher Intelligenz in Echtzeit anhand einer Pick- & Place-Aufgabe erfolgreich umgesetzt. Dazu wird die Handbewegung von Testpersonen mittels KI erfasst und dient der direkten und intuitiven Echtzeit-Steuerung einer Demo-Roboteranwendung. Zusätzlich wurde die User-Experience der Testpersonen zur Bedienung des Systems im Anschluss daran mittels Befragung erhoben und ausgewertet. Daraus wurde eine fundierte Einschätzung der Usability der vorgestellten Methode für mögliche Anwendungsfelder abgeleitet. Als Fazit der Untersuchung zeigt sich, dass die Durchführung der Aufgabe via Teleoperation von den Testpersonen insgesamt gut bewältigt werden konnte. Die Echtzeitfähigkeit, Genauigkeit der Positionierung, räumliche Kontrolle als auch Steuern des Greifers durch die Handgeste wurden als gut eingestuft und zeigen gute Eignung für künftige kommerzielle Anwendungen.

Keywords: Teleoperation, Industrieroboter, Künstliche Intelligenz, Mensch-Roboter-Kooperation, Usability

1. EINLEITUNG

Im Rahmen des Projektes wird die Teleoperation eines Industrieroboters durch Gesten-Erkennung mittels Künstlicher Intelligenz (KI) in Echtzeit anhand einer Pick- & Place-Aufgabe umgesetzt. Zusätzlich wurde die User Experience der Testpersonen zur Bedienung des Systems im Anschluss daran mittels Befragung erhoben und ausgewertet. Daraus kann eine fundierte Einschätzung der Usability der vorgestellten Methode für mögliche Anwendungsfelder abgeleitet werden.

2. VERSUCHSANORDNUNG

Der Aufbau enthält eine komplette Roboterzelle bestehend aus einem modernen 6-Achs Industrieroboter Typ IRB 1200 mit Robotersteuerung Typ IRC5 und Handbediengerät Typ FlexPendant [ABB], einem pneumatischen 3-Finger Silikon Soft-Greifer Typ SGF60 [Soft] und der Roboter-Zelle mit Lichtvorhang Typ deTec4 Core [Sick] sowie einer Sicherheitssteuerung Typ AC500-S [ABB].

Die Aufgabe besteht für die Testpersonen darin den Industrieroboter durch geeignete Teleoperation mittels Bewegungen der rechten Hand und entsprechenden Handgesten zu steuern. In insgesamt drei hintereinander durchgeführten Versuchen sind von jeder Testperson jeweils drei Badeenten (Werkstücke) von den Aufnahmepunkten (Pick) aufzunehmen und in einem Ablagefeld (Place) abzulegen, siehe Abb. 1 und [Video].

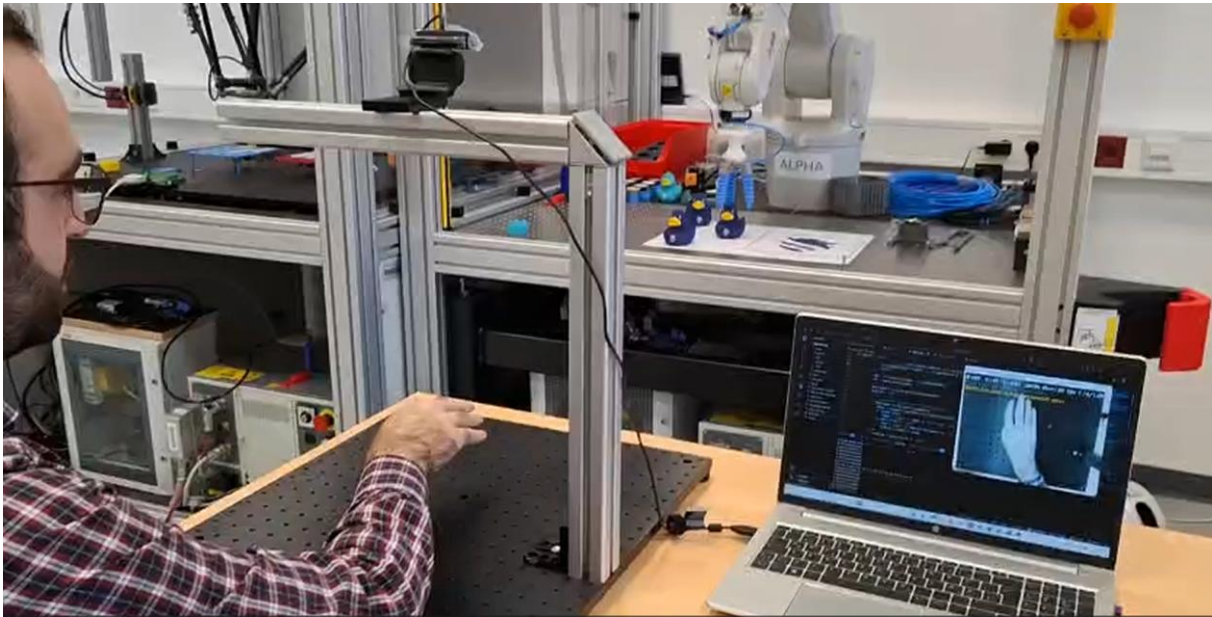


Abbildung 1: Darstellung der Teleoperation mit Industrieroboter.

Die Bewegungen der Hand der Testpersonen wurden dabei vor der Roboterzelle an einem Tisch sitzend ausgeführt. Zur Teleoperation wurde die rechte Hand der Testpersonen über einer schwarzen Platte als Bewegungsbereich mittels Webcam Typ C925e [Logi] erfasst. Die aufgenommenen Kamerabilder wurden in Echtzeit mit der frei verfügbaren künstlichen Intelligenz Typ Mediapipe [Media] bezüglich der aktuellen Handgesten eingelesen. Mit Hilfe eines Programm-Codes der in Python [Python] erstellt wurde, erfolgte die Auswertung der erkannten Handgesten ebenfalls in Echtzeit. Um eine möglichst glatte, ruckfreie Umsetzung der Roboterbewegungen sicherzustellen, wurden mehrere Handpositionen mit Hilfe eines Gleitenden-Mittelwert-Filters geglättet, ohne dass es dadurch zu Einbußen der Echtzeitfähigkeit kommt. Damit wurden nun entsprechende Bewegungsdirektiven erstellt und als Mitteilung via UDP (User Datagram Protocol) an die Robotersteuerung übermittelt.

Die mit der Kamera aufgenommene ebene Handbewegung in x- und y-Richtung wurde dabei direkt in eine Roboterbewegung umgesetzt. Durch die Auswertung des relativen Abstands der Handknöchel im Bild (Hand näher an der Kamera bedeutet größerer Abstand der Handknöchel und somit größerer z-Parameter) konnte nach einer Kalibration auch die Information für die z-Achse der Teleoperation gewonnen werden, siehe [Virtual]. Entsprechend dem natürlichen Greifen wurde die offene, flache Hand als Greifer offen und die geschlossene Faust als Greifer geschlossen interpretiert. Zusätzlich wurde über die angelegte bzw. abgespreizte Position des Daumens eine Aktivierung bzw. Deaktivierung der Teleoperation implementiert.

Die Robotersteuerung unterstützt mittels Externally Guided Motion (EGM) [ABB] via Protobuf-Protokoll (Protocol Buffers) [Proto] die nahezu latenzfreie externe Steuerung des Roboters. Die EGM-Technologie ist dabei als externe Echtzeit-Steuerung für hoch reaktive Roboterbewegungen konzipiert bei der die interne Bahnplanung der Robotersteuerung umgangen wird. Vielmehr wird im Modus Positionsführung von einem festgelegten Referenzpunkt ausgegangen und der Roboter laufend durch einen Richtungsvektor mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit in die jeweilige Richtung dirigiert. In diesem Betriebsmodus werden einige Sicherheits-Features der

Robotersteuerung, die in der normalen Bahnsteuerung enthalten sind, umgangen. Daher wurde für diese Anwendung ein vordefinierter Quader-förmiger kollisionsfreier Arbeitsraum erstellt, innerhalb dessen die Roboterbewegung im EGM-Modus zulässig ist. Durch die weichen Finger des Soft-Greifers sind ungewollte Kollisionen mit den weichen Werkstücken innerhalb des Arbeitsraumes unproblematisch.

3. AUSWERTUNG

In ersten Tests zeigte sich, dass die Kontrolle der Bewegung und das Greifen für Testpersonen deutlich vereinfacht werden kann, indem während der gesamten Teleoperation ein kleiner Ball in der Hand durch den Daumen gehalten wird. Zum einen ist dadurch sichergestellt, dass die Aktivierung mittels Daumenposition gewährleistet ist. Außerdem führt die Anordnung beim gewünschten Greifen ohne Ball dazu, dass die zunächst geöffnete und auf der Platte ganz unten liegende flache Hand durch das Anwinkeln der Finger naturgemäß auch eine Aufwärtsbewegung in z-Richtung vollführt. Die empfindliche Auswertung der Position der Handknöchel hat dies richtigerweise als geringe Aufwärtsbewegung des Roboterarms bei jedem Greifvorgang interpretiert und dadurch konnten die Werkstücke nicht mehr zuverlässig gegriffen werden. Durch den hinzugefügten Ball ist bei abgesenkter Hand bis auf die Platte jedoch immer noch genug Freiraum zum Abwinkeln der Finger zum Greifen vorhanden, ohne dass der Handrücken und die Handknöchel eine z-Bewegung ausführen müssen. Somit konnte eine sehr exakte Umsetzung des Greifvorganges erzielt werden.

Dementsprechend kann mit dieser Anordnung die Roboterbewegung und die Betätigung des Greifers mittels Webcam, KI, Python-Code und EGM remote als Teleoperation rasch, intuitiv und präzise gesteuert werden. Um die Eignung der Anordnung zur Teleoperation zu verifizieren, wurden im nächsten Schritt insgesamt n=25 Testpersonen gebeten die vordefinierte

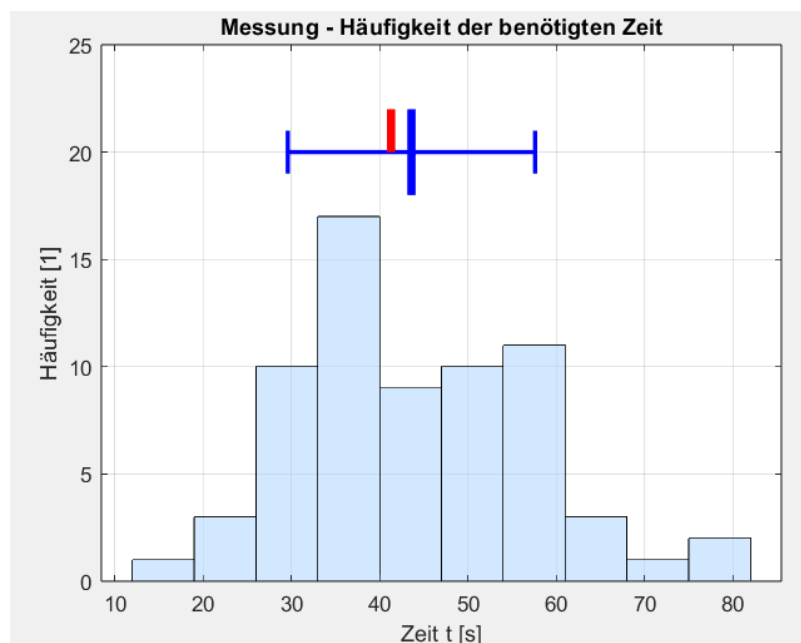


Abbildung 2: Messung der Häufigkeit der benötigten Zeit.

Aufgabenstellung auszuführen und danach ihre Eindrücke dazu in einem Fragebogen als Feedback festzuhalten. Von den Testpersonen waren 76% männlich und 24% weiblich mit einer Altersverteilung von unter 30/40/50/60 Jahren mit einem Anteil von 56%/20%/0%/24% an den Testpersonen.

Die Durchführung der Aufgabe sah für jede Testperson zunächst eine kurze Erklärung sowie einen unbewerteten Trainingsversuch vor. Danach folgten drei Durchgänge bei denen jeweils drei Badeenten von vordefinierten Positionen (Pick) hintereinander möglichst rasch aufgenommen und innerhalb einer markierten rechteckigen Ablagefläche (Place) abgelegt werden sollten. Dabei wurde die Zeit von Beginn der Freigabe des Roboters bis zum Erreichen der Ablagefläche durch die dritte Ente gestoppt. Für einen gültigen Versuch war es erforderlich das alle drei Enten unabhängig von ihrer Orientierung mit ihrem Schwerpunkt innerhalb der Markierung der Ablagefläche platziert wurden. Konnte dies nicht erzielt werden, etwa weil eine Ente den definierten Arbeitsraum verlassen hat und dadurch nicht mehr erreichbar war, so wurde der Durchgang als ungültig gewertet und wurde nicht wiederholt. Für die Testpersonen ergab sich durch die Aufgabenstellung und die Zeitnehmung eine kompetitive Situation bei der jede Person versuchte, die Aufgabe in möglichst kurzer Zeit zu bewältigen.

Die Auswertung erfolgte zunächst über die Messung der benötigten Zeit zur Durchführung der Aufgabe wobei jede Testperson die Aufgabe dreimal hintereinander absolviert hat. In Abb. 2. Ist die Häufigkeit der benötigten Zeit aller gültigen Versuche dargestellt. Die statistische Auswertung der Messungen ergab Minimum $t_{\min}=16.7s$, Mittelwert $t_{\text{mean}}=43.6s$, Maximum $t_{\max}=81.3s$, Standardabweichung $\sigma=14.0s$, Median $t_{\text{median}}=41.3s$.

Die Erhebung des Feedbacks der Testpersonen erfolgte direkt nach der Durchführung der Aufgabe und umfasste acht Aussagen A) bis H) die auf einer fünfteiligen Skala von 1 (trifft völlig zu) bis 5 (trifft nicht zu) zu bewerten waren:

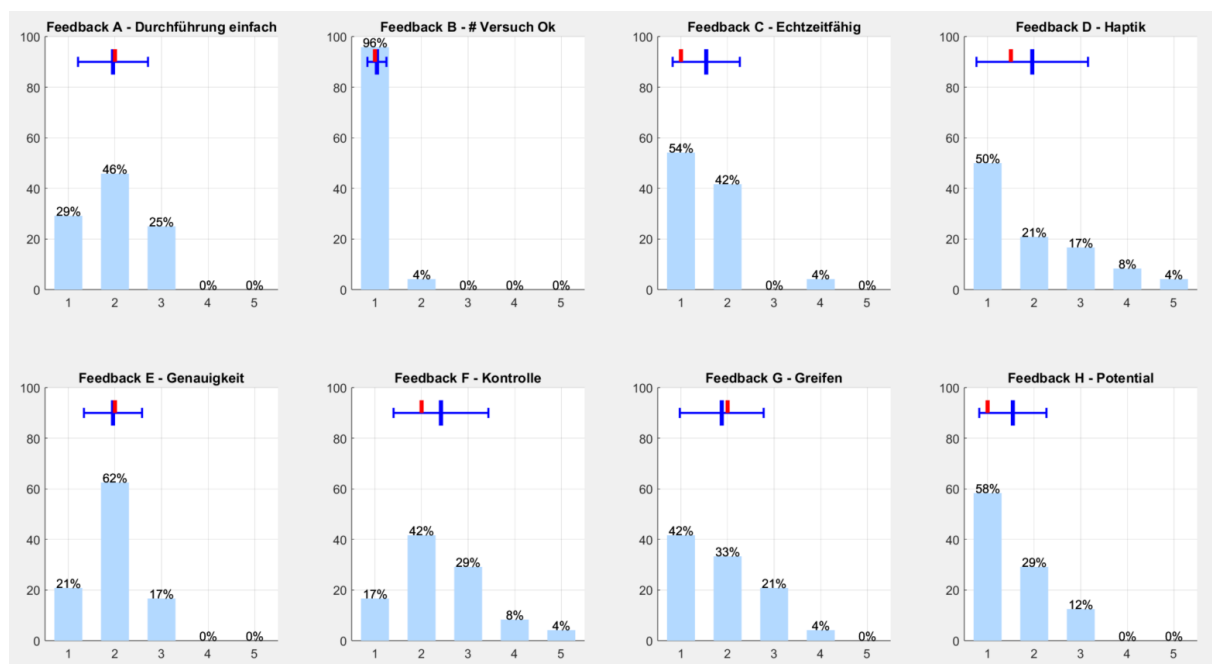


Abbildung 3: Auswertung Feedback zu Statement A) bis H) mit Bewertung von 1 bis 5.

- A) Die Durchführung der Aufgabe via Teleoperation war insgesamt einfach für mich.
- B) Beim wievielten Versuch konnte die Aufgabe fehlerfrei bewältigt werden?
- C) Die Echtzeitfähigkeit des Demonstrators ist für die Aufgabenstellung zufriedenstellend.
- D) Das fehlende haptische Feedback hat meine Bewegungen nicht negativ beeinflusst.
- E) Die Genauigkeit der Positionierung durch die Teleoperation ist hoch.
- F) Die räumliche Kontrolle der Bewegung in allen drei Dimensionen ist mir leicht gefallen.
- G) Das Steuern des Greifers durch die Handgeste gelingt mir gut.
- H) Das Potential der Methode für kommerzielle Anwendungen schätze ich als hoch ein.

Die Auswertung des Feedbacks zu den Statements A) bis H) mit Bewertung von 1 bis 5 mit Mittelwert und Standardabweichung (blau) und Median (rot) ist in Abb. 3 dargestellt.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Als Fazit der Untersuchung zeigt sich, dass die Durchführung der Teleoperation von den Testpersonen insgesamt gut bewältigt wurde und dies auch bei fast allen Personen bereits im ersten Versuch gelang. Die Echtzeitfähigkeit wurde dabei ebenfalls mit sehr gut bis gut bestätigt. Wohl auch durch den bei der Teleoperation hinzugefügten Ball wurde die fehlende Haptik nicht negativ bewertet. Sowohl Genauigkeit der Positionierung, räumliche Kontrolle als auch Steuern des Greifers durch die Handgeste wurden als gut eingestuft. Zudem denken die Testpersonen, dass diese Anordnung für künftige kommerzielle Anwendungen sehr gut bis gut geeignet ist. Es ist in einer Erweiterung des Projektes geplant weitere Versuchsreihen durchzuführen bei denen sich die Testpersonen disloziert zum Roboter befinden und die Teleoperation nur via Bildschirm remote verfolgen und steuern können.

Literaturverzeichnis

- [ABB] Industrierobotik Fa. ABB, <https://new.abb.com/products/robotics/de>
- [Logi] Webcams Fa. Logitech, <https://www.logitech.com/de-at/shop/c/webcams>
- [Media] Google AI Mediapipe, <https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/guide>
- [Proto] Protocol Buffer, <https://github.com/protocolbuffers/protobuf>
- [Python] Python Programmiersprache, <https://www.python.org/>
- [Sick] Sicherheitslichtvorhang, Fa. Sick, <https://www.sick.com/at/de/>
- [Soft] Softgrripper, Fa. SoftGripping, <https://www.soft-gripping.shop/de/>
- [Video] Video Demonstration, YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=pJtcHDovv14>
- [Virtual] A. Nemecek, J. Sinnabell, M. Hochrainer, "Gesten-gesteuerte Virtualisierung eines 6-Achs Roboters in Echtzeit," FFH-Forum 2019.