

Überlegungen zur Begrenzung der Manipulationsmöglichkeiten von kognitiv basierten humanoiden Robotern für medizinische Assistenzanwendungen

Subashkumar RAJANAYAGAM, Stefan TWIEG

*FB Elektrotechnik, Maschinenbau und Wirtschaftsingenieurwesen
Hochschule Anhalt
Bernburger Straße 57, D-06366 Köthen.*

Kurzfassung: Aufgrund des Bevölkerungswachstums und der zu erwartenden Lebenserwartung besteht bei vielen medizinischen Fachkräften ein hoher Bedarf an Unterstützung. Um ihre Arbeitsbelastung zu verringern und sie bei Büroarbeiten zu unterstützen, wird ein humanoider medizinischer Assistenzroboter vorgeschlagen. Kognitiv arbeitende humanoide Roboter haben in den letzten Jahren viel Akzeptanz bei den Menschen gefunden, aber es mangelt ihnen an Manipulationsfähigkeiten. In diesem Beitrag wird daher die Entwicklung und Integration von inverser Kinematik und kundenspezifischen Ziffernerkennungsmodellen erörtert. Der Roboter ist dadurch in der Lage, die menschliche Körpertemperatur mit einem Handthermometer automatisch zu messen. Darüber hinaus werden verschiedene Bewegungs- und Sichtparameter ausgewertet.

Schlüsselwörter: Manipulation, inverse Kinematik, Ziffernerkennung

1. Einführung

Nach den Bevölkerungsstatistiken der Vereinten Nationen wird der Anteil der älteren Menschen an der Weltbevölkerung bis zum Jahr 2050 voraussichtlich von 9 % auf 16 % steigen. Die durchschnittliche Lebenserwartung der Menschen weltweit wird für das Jahr 2019 auf etwa 72 Jahre geschätzt (Statistic 2020). Die Nachfrage und der Mangel an medizinischen Assistenten wird bis zum Jahr 2029 schätzungsweise um 19 % steigen und ist damit der am stärksten nachgefragte Beruf im Vergleich zu allen anderen. [3] Der physiologische und psychologische Druck und die Verantwortung, die mit diesem Beruf einhergehen, erklären die Situation von selbst. Um der hohen Nachfrage in der Medizin mit klerikalen Aufgaben gerecht zu werden, ist ein humanoider Roboter mit kognitiven und manipulativen Fähigkeiten für mobile Mensch-Roboter-Interaktionen gut geeignet.

Die gewählte Plattform pepper von Softbank robotics bietet nativ (NAOqi) viele Möglichkeiten der Programmiersprache, einschließlich einer Schnittstelle mit dem Robot Operating System (ROS). Während viele Application Protocol Interfaces (APIs) für Bewegung und die Wahrnehmungskanäle Sehen, Sprache, Navigation und menschliche Interaktion existieren, gibt es keine für Inverse Kinematik (IK) und Digit Recognition (DR). Daher werden Bibliotheken von Drittanbietern und eigene Algorithmen implementiert und in das System integriert. Dabei werden die von ROS bereitgestellten IK-Modelle einfach integriert und ausgewertet. Der Ziffernerkennungsalgorithmus wurde mit Hilfe von Computer Vision Bibliotheken entwickelt.

Da der humanoide Roboter Pepper für kognitionsbasierte Aufgaben entwickelt und gebaut wurde, sind die Fähigkeiten des Roboter-Endeffektors (Hand) auf nur 2 Freiheitsgrade (DOF) und ein maximales Tragegewicht von nur 400 g begrenzt. Daher wird das interessierende Objekt (Infrarot-Thermometer) am Endeffektor befestigt, um es in eine unstrukturierte Umgebung integrieren zu können und zusätzliche externe Einrichtungen zu vermeiden. Der Grund für den Verzicht auf Temperatursensoren war, die Forschungsrichtung der Integration von humanoiden Robotern in eine unstrukturierte menschliche Umgebung durch die Verwendung von stirnbasierten Infrarot-Thermometern zu unterstützen. Diese Richtung wird auch die mögliche Integration anderer medizinischer Geräte wie Stethoskop, Druckmesser, Doppler-Ultraschall und Pulsoximetrie in der Zukunft ermöglichen.

2. Methodik und Durchführung

Die Entwicklung des medizinischen Assistenzroboters erfolgte unter Verwendung der nativen NAOqi-Plattform und der ROS-Schnittstelle unter Verwendung von Python, zusammen mit Bibliotheken von Drittanbietern für Bildverarbeitung, Computer Vision, Bewegungs kinematik, IK und Künstliche Neuronale Netze (ANN). Die Systemübersicht und das Flussdiagramm sind in Abbildung 1 dargestellt. Die Einschränkungen der nativen Plattform wurden dann durch die Verwendung der IK-Modelle in der ROS-Schnittstelle und die Implementierung benutzerdefinierter Algorithmen für die automatische Ziffernerkennung ergänzt.



Abbildung 1: System-Übersicht.

Da der humanoide Roboter nicht für manipulationsbezogene Bewegungsaufgaben konzipiert wurde, wurden zunächst Bewegungsparameter wie Genauigkeit, Wiederholbarkeit und Synchronisierungsfähigkeiten anhand von Gelenkfehlerberechnungen, Dauer und Bewegungsfluss analysiert.

Die ROS-Plattform "MoveIt" stellte das IK-Modell der Open Motion Planning Library (OMPL) zur Berechnung der erforderlichen Gelenkwinkel auf der Grundlage der von der Stereokamera erfassten Tiefendaten der menschlichen Stirn zur Verfügung. Ein weiteres einfaches IK-Modell von "Playful Kinematics", das auf der Kinematic and Dynamics Library (KDL) basiert, wurde ebenfalls integriert und evaluiert. Für die Sehaufgabe wurden ein Schwellenwert- und Vergleichsverfahren "7-Segment" und ein ANN-Verfahren auf Basis von "Tensor Flow" entwickelt und integriert. Die Daten für das Training der ANN wurden mit Hilfe der MNIST-Datenbank gewonnen.

3. Ergebnisse und Bewertung

In diesem Kapitel werden die für die Tabellierung der Ergebnisse verwendeten Methoden zusammengefasst und die mathematischen Gleichungen und Methoden für eine sinnvolle Analyse erörtert. Zunächst wird die Bewegung in Bezug auf die Genauigkeit des Gelenkwinkels, die Wiederholbarkeit, die Synchronisation und die IK-Fähigkeiten tabellarisch dargestellt. Anschließend wird die Vision in Bezug auf die Integrität der menschlichen Daten und die Ziffernerkennung tabellarisch dargestellt.

Ein Ergebnis des automatischen Ziffernerkennungsmoduls ist in Abbildung 2 dargestellt. Es handelt sich dabei um Schritt Nummer 6, wie im Systemübersichtsdiagramm (Abbildung 1) gezeigt. Zunächst wird das Thermometer anhand der Farbe und seiner größten Kontur segmentiert. Danach wird die Ziffernerkennung wie im vorherigen Abschnitt beschrieben durchgeführt.

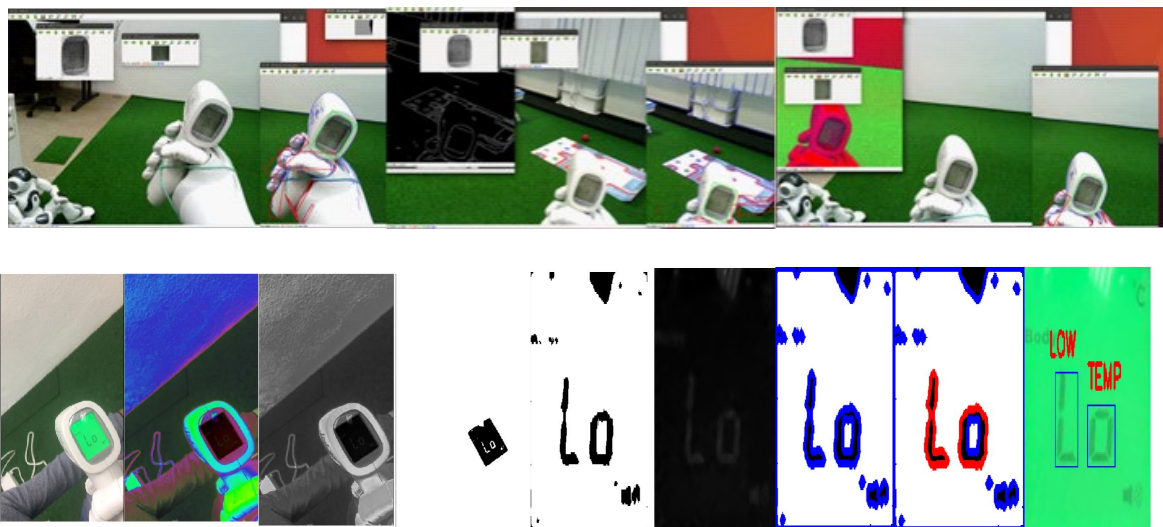


Abbildung 2: Ergebnisse der Segmentierung von IR-Thermometern [oben] und der Ziffernerkennung [unten].

In Tabelle 1 stellen die Bewegungszyklen jeden Schleifenzyklus vom Beginn bis zum Ende des Algorithmus dar. Für die Berechnung des Fehlerprozentsatzes in den Tabellen I und IV wird die mathematische Gleichung 1 bzw. 2 verwendet (Britannica 2015). Der Grund für die Verwendung von Gleichung 1 für Tabelle I liegt darin, dass Berechnungen vermieden werden sollen, bei denen der Nenner gleich Null und damit undefinierbar ist.

$$d1(x,y) = [(x-y)/(|x|+|y|)/2] \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Prozentualer Fehler} = (|E-T|/|T|) \times 100 \quad (2)$$

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (3)$$

Tabelle 1: Gelenkfehleranalyse, bei der den Gelenken ein bestimmter Winkel zugewiesen wird und die jeweilige Messung auf der Grundlage des Roboter-Encoders verglichen wird.

Messungen	Roboter-gelenk	Bewegungszyklen	Durchschnittlicher Fehler Prozentsatz
Insgesamt	HeadYaw - RHand	100 mal	3.4 %
Vergleich Fuge	RWristYaw	100 mal	9.16 %

Abbildung 3 zeigt die visuelle Darstellung von Tabelle 1, aus der deutlich hervorgeht, wie der prozentuale Fehler (Y-Achse) für jedes der Gelenke bei 100 wiederholten Messungen aussieht. Auf der Grundlage dieser Analyse wird festgestellt, dass der durchschnittliche Fehlerprozentsatz des Gelenkwinkels zwar nur 3,14 % beträgt, das wichtige Gelenk "RWristYaw" (Endbewegung vor der Ziffernerkennung) jedoch durchschnittlich 9,16 % beträgt, was die Messaufgabe kritisch macht und dazu führt, dass einige Messungen nicht durchgeführt werden können.

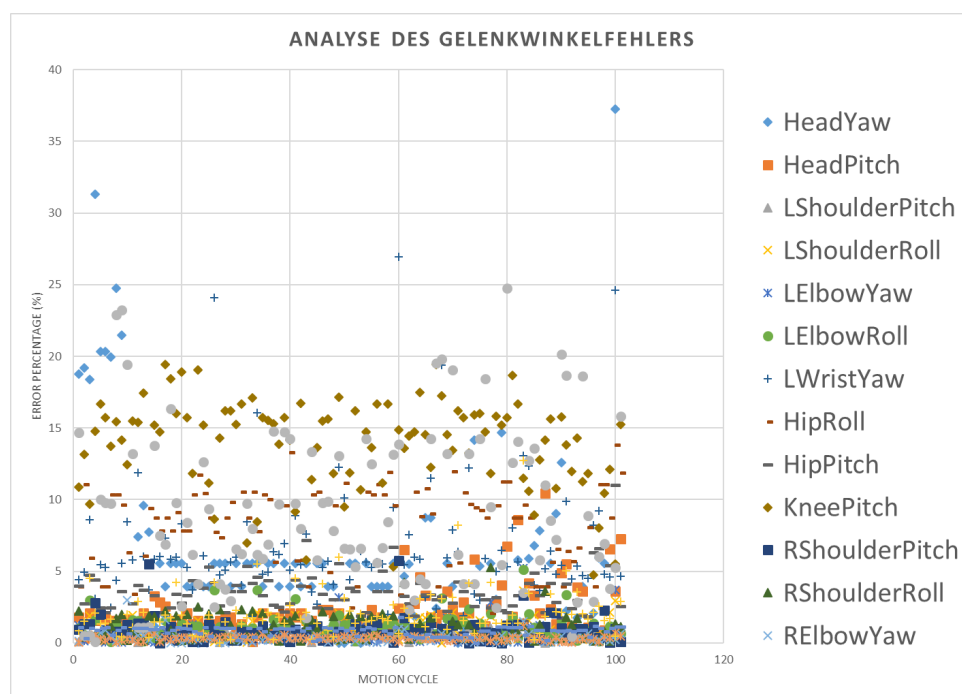


Abbildung 3: Die Analyse der Gelenkwinkelgenauigkeit wird hier für die rechte Hand des Roboters aufgezeichnet. Auf der Y-Achse ist der prozentuale Fehler und auf der X-Achse der Bewegungszyklus dargestellt.

Ein ähnliches Verfahren wird dann zur Analyse und Bewertung der menschlichen Tiefenintegrität und der Erfolgsquote bei der Ziffernerkennung verwendet. Für die menschliche Tiefenintegrität wird eine Referenzdistanz (1,5 m) zwischen einem Menschen und dem Roboter gemessen und hergestellt, mit der dann die auf der Tiefenkamera basierenden Messungen des Roboters verglichen werden (siehe Abbildung 4). Gleichung (3) wird verwendet, um die kartesischen Werte in Tiefeninformationen umzuwandeln. Insgesamt wurden 60 Messungen auf diese Weise durchgeführt und es wurde ein durchschnittlicher Fehlerprozentsatz von 9 % errechnet.

Für die Analyse und Auswertung der Ziffernerkennung werden drei verschiedene

Messbilder aufgenommen und mit der 7-Segment-Technik und der ANN-Technik durchlaufen. Die Erfolgsquote für die 7-Segment-Technik und ANN lag bei 40% bzw. 60%. Beim Vergleich dieser Werte wurde deutlich, dass die Methode der Segmentierung und die Integrität des aufgenommenen Bildes die Genauigkeit beider Modelle abbildet. Es wurde jedoch festgestellt, dass das ANN-Modell im Vergleich zur Sieben-Segment-Technik robuster ist.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Roboter in der Lage war, die menschliche Körpertemperatur mithilfe eines IR-Thermometers automatisch im festen Modus zu messen. Insgesamt hat die Integration von maschinellen Lernfähigkeiten und mathematischen Modellen das Potenzial gezeigt, interaktive Umgebungen mit Mobilität und Flexibilität anzugehen. Die ROS-Plattform bietet weitere Alternativen für bewegungs- und visionsbezogene Aufgaben, die für weitere Verbesserungen genauer untersucht werden müssen.

6. Literatur

- Britannica (2015) The Editors of Encyclopaedia. "Distance formula". Encyclopedia Britannica, 29 Jan. 2015. Accessed May 2, 2021. <https://www.britannica.com/science/distance-formula>.
- Javanbakht S (2015) Error calculation for beginners an example-oriented introduction for students of the TUHH.
- United Nations (2019) <https://www.un.org/en/sections/issues-depth/ageing/#:~:text=According%20to%20data%20from%20World,be%20aged%2065%20or%20over>.
- Mahajan, Sachit & Vidhyapathi (2017) "Design of a medical assistant robot." 877-881.
- Marcin Zukowski, Krzysztof Matus, Dawid Kamiński, Krzysztof Kamil Sadowski, Kamil Guz, Mirosław Kondratiuk, and Leszek Ambroziak (2018) "Humanoid medical assistant and companion robot for patients." AIP. <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.5066548>.
- Martinez-Martin E, del Pobil AP (2019) Vision for Robust Robot Manipulation. Sensors 2019, 19, 1648. <https://doi.org/10.3390/s19071648>.
- Max Roser, Esteban Ortiz-Ospina, Hannah Ritchie. Life Expectancy. 30 January 2013. Article. 2019 October 2019. <<https://ourworldindata.org/life-expectancy#:~:text=Today%20most%20people%20in%20the,any%20country%20back%20in%201950.>>>.
- Murai Katsu Yamane and Akihiko (2018) A Comparative Study Between Humans and Humanoid Robots.
- Statistic, Bureau of Labor. Bureau of Labor Statistic. 1 September 2020. <https://www.bls.gov/ooh/healthcare/medical-assistants.htm>.

Danksagung: Ich danke meinem Hauptbetreuer Prof. Dr. Stefan Twieg für seinen Rat, seine Motivation, sein Wissen und seine Weisheit. Dieses Projekt wäre ohne Prof. Dr. Stefan Twieg nicht möglich gewesen.



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