



**Entwicklung und Umsetzung einer intuitiven
Steuerung für eine Roboterhand durch Erfassen der
Geste einer menschlichen Hand**

Kinematik Labor

des Studienganges Mechatronik und Robotik
an der Frankfurt University of Applied Sciences

von

Peter Abt 1400337
Felix Girke 1386888

1. Juli 2022

Bearbeitungszeitraum: 9 Wochen
Betreuer Prof. Dr. Enno Wagner

Selbstständigkeitserklärung

Wir versichern hiermit, dass wir die Projektarbeit mit dem Thema: „Entwicklung und Umsetzung einer intuitiven Steuerung für eine Roboterhand durch Erfassen der Geste einer menschlichen Hand“ , selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt haben.

Frankfurt a. M., 1. Juli 2022

Ort, Datum

Unterschrift (Abt)

Frankfurt a. M., 1. Juli 2022

Ort, Datum

Unterschrift (Girke)

Inhaltsverzeichnis

Selbstständigkeitserklärung	I
Abbildungsverzeichnis und Tabellenverzeichnis	III
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	2
3 Mögliche Konzepte	3
3.1 Bowdenzug über Finger	3
3.2 Biegesensoren DMS	4
3.3 Image Processing	5
3.4 Entscheidung	5
4 Umsetzung des Konzepts	6
4.1 HTTP code	6
4.2 LabVIEW	6
4.3 Demonstration	9
5 Fazit	11
6 Ausblick	12
Literaturverzeichnis	A
Anhang	B

Abbildungsverzeichnis

1.1	Die zu steuernde „Frankfurter“ Roboter Hand	1
3.1	Bautenzug über die Hand für die Finger	3
3.2	Bautenzug über die Hand für den Daumen	4
4.1	Übersicht der Dateien des LabVIEW Projektes	6
4.2	Aufbau des User Panels in der GET-Methode des LabVIEW Servers . . .	7
4.3	Aufbau des Block Diagrams in der GET-Methode des LabVIEW Servers	7
4.4	Aufbau des Connector Panes in der GET-Methode des LabVIEW Servers	8
4.5	Nötige Einstellungen in der NI-Webserver-Konfiguration	8
4.6	URL des HTTP-GET Servers	9
4.7	Screenshot aus dem Demovideo im Anhang	9
6.1	VIVE-Tracker für VR der Firma HTC [9]	12

Tabellenverzeichnis

1 Einleitung

Endeffektoren sind „gewöhnlich das letzte Glied der kinematischen Kette einer Handhabungseinrichtung“ [1, S.302]. Schon früh wurde versucht mit Endeffektoren die menschlichen Hand nachzubilden. Lange Zeit war diese Aufgabe zu komplex und es wurden Endeffektoren auf eine Aufgabe spezialisiert [2, S.9]. Aber aufgrund der technischen Fortschritte der letzten Jahrzehnte gelingt es immer besser diese Komplexität zu beherrschen. So wurde 2013 mit der „SVH 5-Finger-Hand“ die erste serienreife 5-Finger-Hand mit 9 Motoren von der Schunk GmbH & Co. KG vorgestellt [3, S.57]. Durch die Arbeit vorheriger Gruppen, ist auch an der University of Applied Sciences in Frankfurt eine Roboterhand entwickelt und gebaut worden (Abbildung 1.1), welche sich über einen Mikrocontroller steuern lässt.

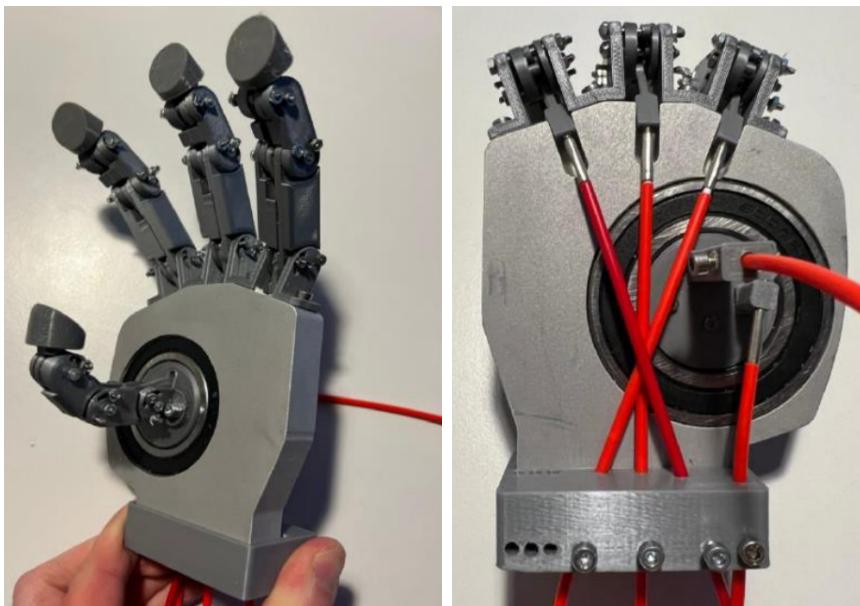


Abbildung 1.1: Die zu steuernde „Frankfurter“ Roboter Hand

Diese Roboterhand besteht aus drei Fingern und einem Daumen. Die einzelnen Finger werden über Bowdenzüge und Linearmotoren bewegt. Der Daumen kann rotieren, so dass ein Pinzettengriff mit jedem einzelnen der Finger möglich ist. Die Ansteuerung geschieht über einen Arduino Mikrocontroller und vier verschiedene Knöpfe. Dies erfordert ein hohes Maß an Einarbeitung und Konzentration der bedienenden Person. Deshalb wird versucht mit dieser Arbeit eine Ansteuerung zu schaffen welche intuitiver und einfacher ist. Hierzu soll versucht werden die Bewegung der Hand der bedienenden Person aufzuzeichnen und als Eingangssignal zu verwenden. Besonderen Wert soll hierbei darauf gelegt werden die Vorteile der Hand, den Pinzettengriff, möglichst genau zu erreichen.

2 Stand der Technik

Stand der Technik (Literatur/Patent-Recherche)

Die Echtzeit-Erkennung von Handbewegungen ist für Steuerung von humanoiden Händen ist von Essenz. Die komplexen Bewegungsabläufe der menschlichen Hand lassen sich aufgrund der großen Anzahl an Fingersegmenten und Freiheitsgraden nur mit hohem Aufwand erfassen. Und eine Steuerung mittels Joysticks o.ä. ist ungeeignet. Erste Versuche die Bewegungsabläufe der Hand aufzunehmen wurden mithilfe von in Handschuhen eingebauten Biegesensoren [4] und Lagesensoren durchgeführt. Die zu dieser Zeit boomende Computerspielindustrie griff die Idee schnell auf und brachte den, technisch vereinfachten, PowerGlove [5] auf den Markt. Heute sind verschiedene Firmen im Markt die professionelle Systeme vertreiben wie CyberGlove Systems [6] oder Cobra Glove [7]. Diese bedienen sich meist der Erfassung der Fingerpositionen durch eine Kombination von mehreren an den Fingern angebrachten Inertial Measurement Units (IMUs) und Biegesensoren.

Handschuhe haben im allgemeinen einige Nachteile die sie mit sich bringen. Der an und Abziehvorgan ist umständlich, die Größe des Handschuhs muss stimmen, Desinfektionsmaßnahmen sind kompliziert.

Alternativ werden Handbewegungen auch mit Bewegungserkennungssystemen durch Marker und IR-Kamerasystemen aufgezeichnet. Über Triangulation die Position der einzelnen Markerpunkte berechnet. Hier ist die Firma VICON ein Vorreiter auf dem Markt.

Auch markerlose Kamerasysteme zur Bewegungserkennung existieren wie durch z.B. die Kinect Kamera ermöglicht.

3 Mögliche Konzepte

Experimental (Vorgehen/Methoden zur Konstruktion, Berechnung, Simulation) Ziel ist es die Bewegungen der aufzunehmen. Um eine ideale Lösung zu finden, werden verschiedene Lösungsmöglichkeiten skizziert und anschließend bewertet. Wichtig für die Bewertung sind die Genauigkeit des Systems, die Flexibilität zwischen verschiedenen Anwendern und die entstehenden Kosten.

3.1 Bowdenzug über Finger

Die komplexe, mehrdimensionale Bewegung der Finger kann über einen Bowdenzug abgegriffen werden und in eine lineare Bewegung verwandelt werden. Inspiration hierzu ist die bestehende Roboter Hand (Abbildung 1.1), welche die einzelnen Finger durch solche Bowdenzüge steuert. Wird diese lineare Bewegung gemessen, so kann bestimmt werden wie stark ein Finger gekrümmmt wird.

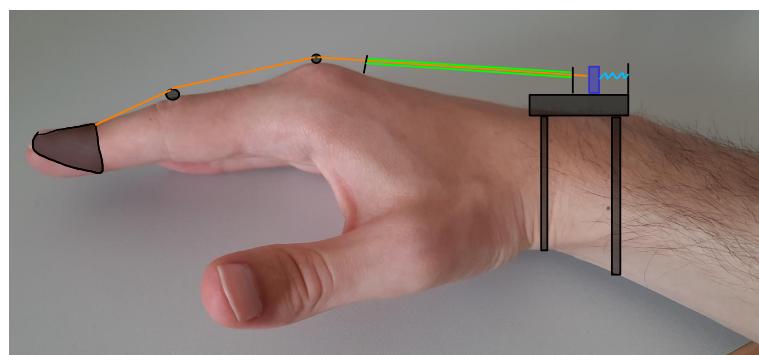


Abbildung 3.1: Bautenzug über die Hand für die Finger

In Abbildung 3.1 ist zu erkennen wie ein solcher Bowdenzug (orange) für die Finger angebracht werden könnte. Das schwarze Objekt an der Fingerspitze ist der Befestigungspunkt des Bowdenzugs, die schwarzen Kreise auf den Gelenken sind Führungen, damit der Bowdenzug nicht von den Fingern rutscht. Hellgrün ist die Druckfeste Hülle des Bowdenzugs welche verhindert, dass die Bewegungen des Handgelenks in die Messung des Bowdenzugs eingeht. Am rechten Ende des Bowdenzugs befindet sich für jeden Finger ein lineares Potentiometer (dunkel Blau), welches von einer Feder in die Nullstellung zurückgezogen wird. Es muss für jeden zu messenden Finger ein Potentiometer angebracht werden. Durch messen des Widerstandes des Potentiometers kann die Krümmung des Fingers in ein elektrisches Signal umgewandelt werden. Hierfür würde sich zum Beispiel ein Mikrocontroller eignen. Um die Punkte alle auf einer Hand zu befestigen eignet sich am Besten ein Handschuh.

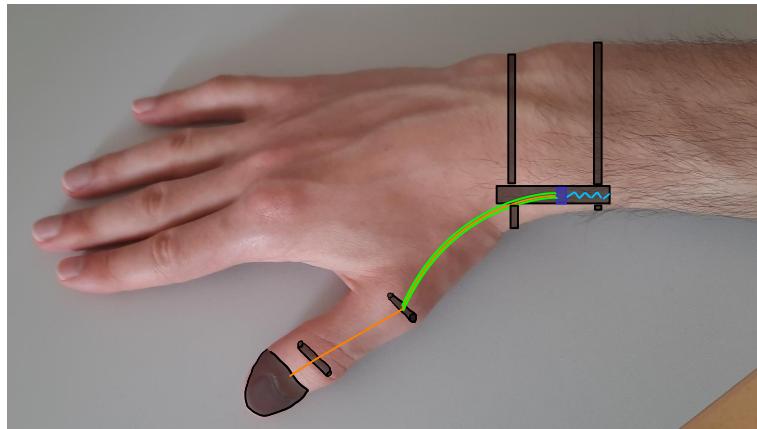


Abbildung 3.2: Bautenzug über die Hand für den Daumen

Wird für die Messung des Daumens ähnlich vorgegangen (Abbildung 3.2), so werden die Messdaten wahrscheinlich wenig Aussagekraft haben. Geht man mit dem Daumen die einzelnen Fingerspitzen des Pinzettengriffs durch so ist die Bewegung zwischen den einzelnen Fingerknochen sehr gering. Die Bewegung findet lediglich zwischen den Handwurzelknochen und dem ersten Fingerknochen statt. Diese Bewegung liegt direkt neben der Bewegung des Handgelenks und ist schwieriger voneinander zu trennen. Des Weiteren ist die Bewegung des Daumens beim Pinzettengriff nur sehr gering weshalb die Unterscheidung zu welcher Fingerspitze der Daumen sich bewegt schwer ist.

Sind alle Bowdenzüge perfekt angebracht, so ist es theoretisch möglich in einer zukünftigen Arbeit einen Servomotor parallel zu den Potentiometer anzubringen und somit die Bowdenzüge zu spannen. Hierdurch könnte dem Nutzer simuliert werden, es würde sich ein Gegenstand zwischen den Fingern befinden, da eine Kraft auf die sich schließenden Finger ausgewirkt werden kann.

3.2 Biegesensoren DMS

Die heutzutage erhältlichen Biegesensoren sind wesentlich preiswerter als die ersten ihrer Art. Sie basieren nicht mehr auf dem Prinzip eines Lichwellenleiters sondern auf der Änderung der Leitfähigkeit von Materialien durch deren Biegung. Somit ermöglichen sie eine einfache Möglichkeit den Gebogenheitsgrad eines einzellnen Fingers zu bestimmen. Als schwieriger erweist sich jedoch die Positionsbestimmung des Daumens. Dieser kann sich auch unabhängig seines Biegegrades auf dem unteren Sattelgelenk in zwei Freiheitsgraden bewegen. Ein Biegesensor reicht nicht um z.B. den Pinzettengriff zwischen Daumen und Zeigefinger und zwischen Daumen und Mittelfinger zu unterscheiden.

3.3 Image Processing

Mithilfe des Einsatzes von moderner Bildverarbeitung und künstlicher Intelligenz lassen sich viele Probleme der vorherigen Methoden vermeiden. So sind allen voran die benötigten Investitionen nahe Null. Lediglich ein PC sowie eine passende Webcam sind bereits ausreichend um die Positionserkennung zu ermöglichen. Außerdem fallen umständliches an und abziehen eines sensiblen Handschuhs so wie der damit verbundene verkabelungs Aufwand weg.

3.4 Entscheidung

Bowdenzug negativ handschuh Größe, Handschuh verrutscht leicht, Daumen kaum/ nicht messbar, (aufwendig),

4 Umsetzung des Konzepts

Ergebnisse (CAD-Modelle, Funktionsmuster, Messdaten, etc.)

4.1 HTTP code

4.2 LabVIEW

Für die Roboterhand wird derzeit eine Steuerung in LabVIEW von einem anderen Team entwickelt. Deshalb müssen die erfassten Daten nach LabVIEW übertragen werden. Hierfür wird mit LabVIEW ein lokaler Server Programmiert, welcher von der Weboberfläche per GET-Request angesprochen wird und die entsprechenden Daten übertragen bekommt [8]. Das angelegte LabVIEW Projekt besteht aus dem WebServerHand und den SharedVariables.lvlib (Abbildung 4.1).

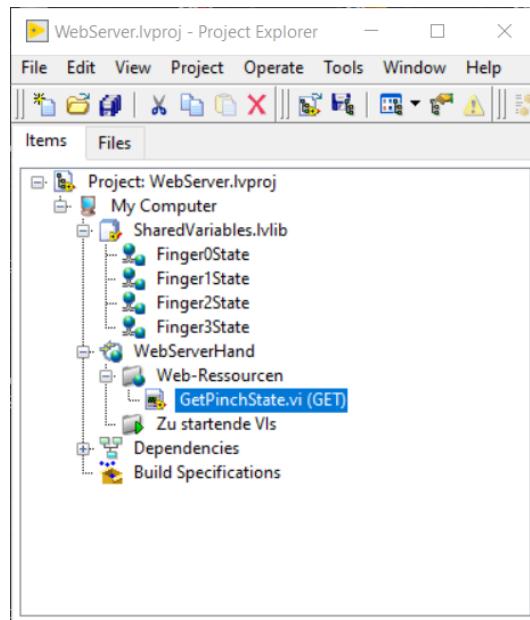


Abbildung 4.1: Übersicht der Dateien des LabVIEW Projektes

In dem Server ist eine GET-Methode angelegt namens GetPinchState.vi. Diese besteht aus einem User Panel (Abbildung 4.2), einem Block Diagram (Abbildung 4.3) und einem Connector Pane (Abbildung 4.4).

4 Umsetzung des Konzepts

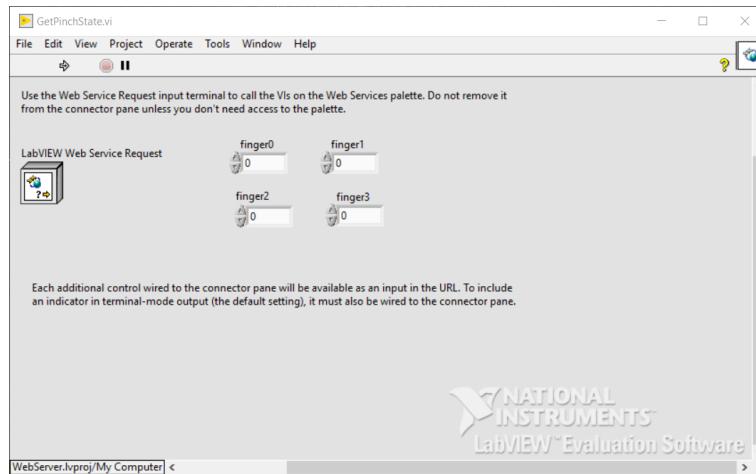


Abbildung 4.2: Aufbau des User Panels in der GET-Methode des LabVIEW Servers

In dem User Panel ist der Block LabVIEW Web Service Request angelegt über diesen kommt der GET Request in LabVIEW an. Des Weiteren sind für jeden der vier gemessenen Finger ein Numeric Control Panel angelegt. Diese sollen den aktuellen Stand der Finger anzeigen.

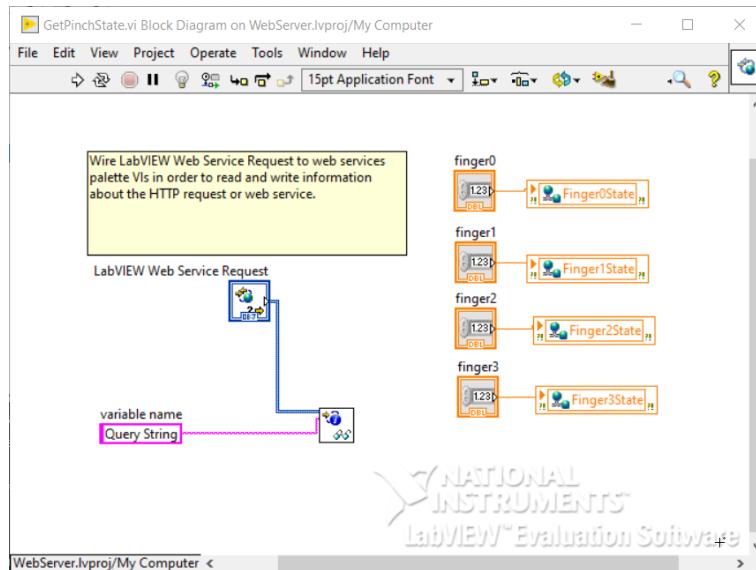


Abbildung 4.3: Aufbau des Block Diagrams in der GET-Methode des LabVIEW Servers

Die beschriebenen Blöcke im User Panel werden im Block Diagram miteinander logisch verbunden. Der Block LabVIEW Web Service Request und ein Query String sind mit dem eigentlichen Server verbunden. Die einzelnen Finger müssen nicht mit dem Server verbunden werden, sie erhalten Ihre Daten durch die Verknüpfung im Connector Pane.

4 Umsetzung des Konzepts

Damit die Werte der Finger außerhalb des Servers verwendet werden können, sind diese mit einer Shared Variable Node verbunden. Somit wird der jeweilige Wert in die globale Variable übernommen und kann von der Ansteuerung der Roboterhand genutzt werden.



Abbildung 4.4: Aufbau des Connector Panes in der GET-Methode des LabVIEW Servers

Im Connector Pane sind von oben nach unten die Finger 0 bis 3 als Input verknüpft (Abbildung 4.4, orange) und der LabVIEW Web Service Request (blau). Dadurch gelangen die Werte an die richtigen Variablen.

Mit einem Rechtsklick auf den WebServerHand im Explorer (Abbildung 4.1) kann der Server gestartet werden. Vorher sollten allerdings diese Einstellungen in der NI-Webserver-Konfiguration vorgenommen werden (Abbildung 4.5).

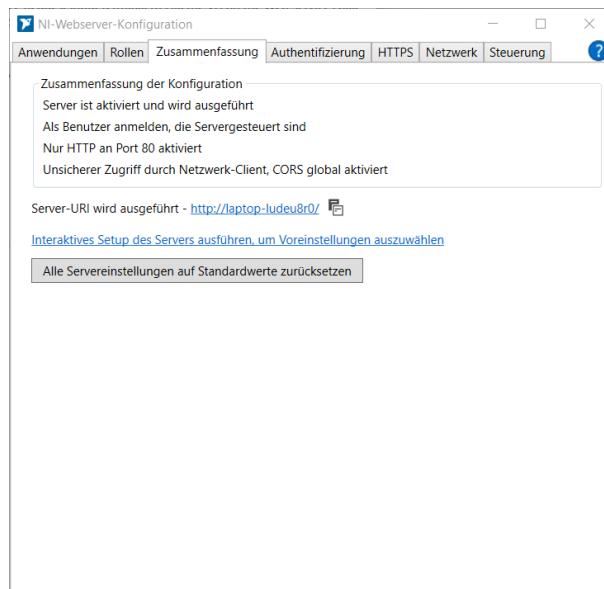


Abbildung 4.5: Nötige Einstellungen in der NI-Webserver-Konfiguration

Sind diese Einstellungen vorgenommen und der Server gestartet, so kann über einen Rechtsklick auf die GetPinchState.vi (Abbildung 4.1) die Methoden-URL angezeigt werden (Abbildung 4.6)

4 Umsetzung des Konzepts

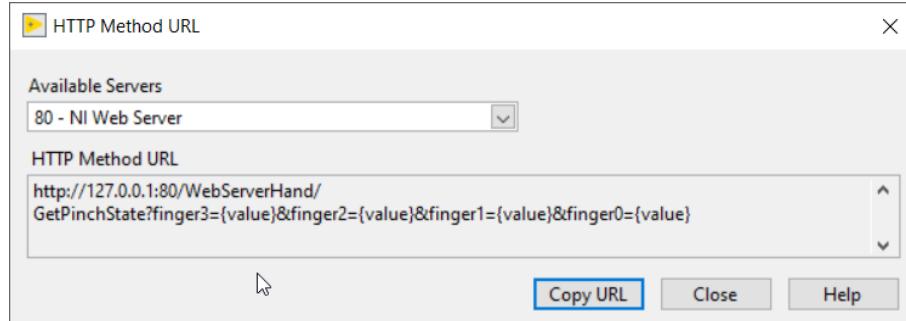


Abbildung 4.6: URL des HTTP-GET Servers

Zur Nutzung des Webservers muss lediglich diese URL in einen Browser eingefügt werden und „{value}“ durch einen Wert ersetzt werden. Anstelle der angegebenen IP-Adresse kann auch „localhost“ angegeben werden wenn der Browser und der Server sich auf dem selben PC befinden. Möchte man den Server auf einem anderen PC laufen lassen, so muss die IP-Adresse durch die des PC's im Netzwerk ersetzt werden.

4.3 Demonstration

In dem angehängtem Video (Anhang 3, DemoVideo.mkv), ist auf der linken Seite das User Panel des LabVIEW Webserver zu sehen und auf der rechten Seite die Weboberfläche (Abbildung 4.7).

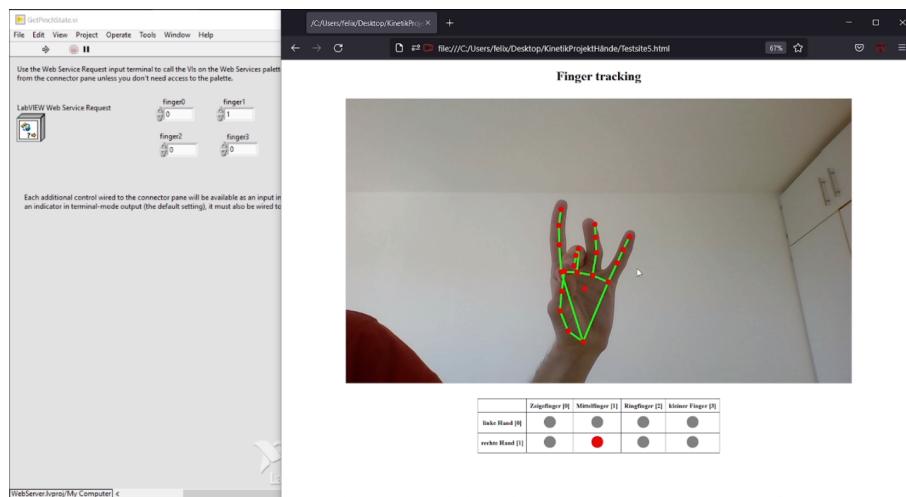


Abbildung 4.7: Screenshot aus dem Demovideo im Anhang

Es ist im Videofeed rechts zu erkennen, dass sich der Mittelfinger und der Daumen berühren. In der Tabelle darunter sieht man das in der Weboberfläche erkannt wurde,

4 Umsetzung des Konzepts

dass sich nur diese Finger berühren. In dem User Panel links ist zu sehen, dass lediglich bei Finger 1 der Wert von 0 auf 1 geändert wurde. Die Berührung wurde also korrekt erkannt und an LabVIEW übermittelt.

Das Demonstrationsvideo lässt den Prozess etwas langsam und verzögert wirken. Dies liegt allerdings nur daran das der Testrechner mit einer schwachen und über 10 Jahren alten CPU ausgestattet ist und gleichzeitig den Bildschirm aufzeichnet. Ohne Bildschirmaufzeichnung läuft der Prozess flüssig und deutlich schneller.

5 Fazit

Diskussion (Interpretation und Beurteilung der Ergebnisse) Wie in den Demonstrationsvideo zu erkennen ist funktioniert das Systeme, so das eine Hand problemlos erkannt. Der Status der Finger, ob sie den Daumen berühren oder nicht wird mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit erkannt. SO kann der Pinzettengriff zuverlässig ausgeführt werden. Die Übertragung der Daten nach LabVIEW funktioniert zuverlässig und ausreichend schnell. Diese Daten stehen global in dem LabVIEW Projekt zu Verfügung und können somit einfach in die Steuerung eingebunden werden.

Die Kosten für das Projekt sind sehr niedrig bis nicht vorhanden. Sollte die Steuerung der Hand auf einem Laptop laufen, so ist eine Webcam in den meisten Fällen integriert. Wird ein stationärer PC oder ein SoC wie beispielsweise ein Raspberry Pi eingesetzt, so kostet eine Webcam oder PiCam weniger als 20€, vor allem da keine hohe Auflösung nötig ist.

Eines der Hauptziele war es die Steuerung intuitiver zu gestalten als das bisherige System, welches auf vier Knöpfe zur Steuerung setzt. Die neue Steuerung über die eigene Hand der bedienenden Person ist sehr intuitive. In dem Videofeed kann, durch das eingebundene Modell, sofort gesehen werden ob die Hand erkannt wird. Durch die Statustabelle unter dem Video kann zusätzlich einfach erkannt werden welche Finger im Moment zusammen geführt sind.

Die bedienende Person muss also lediglich ihre Hand vor die Kamera halten und die Roboterhand imitiert sofort den Pinzettengriff.

6 Ausblick

Die gesteckten Ziele einer günstigen, einfachen und intuitiven konnten umgesetzt werden. Die erfassten Werte gelangen schnell in LabVIEW wo sie von der Steuerung aufgegriffen werden können und in eine Bewegung der Roboter Hand umgesetzt werden können.

Als anschließende Projekte könnte noch Erweiterungen des Systems folgen. So können theoretisch mehrere Hände in einem Videofeed erkannt werden. Somit könnte beispielsweise eine linke und eine rechte Hand erkannt und gesteuert werden. Dadurch kann eine bedienende Person mehrere Roboter gleichzeitig steuern.

Die Bildverarbeitung erkennt im Moment lediglich den Pinzettengriff als Aktion und sendet diese an die Steuerung. Da die Position jedes Fingergelenkes erfasst wird (Abbildung 4.7, rote Punkte) und abrufbar ist können theoretisch eigene Algorithmen entwickelt werden. Diese könnten immer die Fingerpositionen erfassen und somit der Roboterhand bereits kleine Fingerbewegungen mitteilen. Dann könnte die Roboterhand nicht nur den Pinzettengriff ausführen sondern fast jegliche Objekte greifen. Schwierigkeiten hierbei sind allerdings es muss zunächst eine Kalibrierung auf eine Hand stattfinden, da jede Hand anders groß ist, es muss beachtet werden das sich die Hand von der Kamera weg bewegen kann und dadurch kleiner wird und auch das die Roboterhand anders aufgebaut ist als eine menschliche Hand. Hierfür müsste ein System entwickelt werden, welches diese Fälle verarbeitet.



Abbildung 6.1: VIVE-Tracker für VR der Firma HTC [9]

Da die Roboter Hand an das Ende eines Roboterarmes Montiert werden muss um ihre volles Potential auszuschöpfen, wäre es ideal wenn nicht nur die Bewegung der Hände sondern auch die Bewegung der Arme erfasst werden könnte. Dann könnte eine Person neben der Roboterzelle stehen und alleine durch ihre Bewegung die Roboter Hand zu einem Gegenstand führen und durch die Fingerbewegungen den Gegenstand greifen. Durch die dreidimensionalität dieser Bewegung eignet sich hierfür eine Kamera nicht, es muss auf mehrere Kameras oder auf ein System mit auf dem Körper angebrachten Trackern wie den „VIVE Tracker“ (Abbildung 6.1) zurückgegriffen werden.

Literatur

- [1] Stefan Hesse. *Grundlagen der Handhabungstechnik*. 3., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2013. ISBN: 978-3-446-43596-4.
- [2] R. Jansen. „Stand und Perspektiven der Roboter in der Verpackungstechnik“. In: *VDI Berichte 850, Roboter in der Verpackungstechnik* (1990).
- [3] Andreas Wolf und Ralf Steinmann. *Greifer in Bewegung - Faszination der Automatisierung von Handhabungsaufgaben*. München: Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2016. ISBN: 978-3-446-43993-1.
- [4] Thomas G. Zimmerman. „Optical flex sensor“. In: *US 4542291* (1982).
- [5] Greg Bryant, Russell Eberhart, Erik Frederick, John Gawel, Stephen Turner. *1993 VR Conference Proceedings: abgerufen am 19.06.22.* 1993.
- [6] CyberGlove. *Cyber Glove Systems*. 2017.
- [7] AiQ Synertial. *High-End Gloves for Robotics, Animation, Virtual Reality, Medical and Bio-mechanics Research*. 2022.
- [8] NATIONAL INSTRUMENTS CORP. *Tutorial: Creating and Publishing a LabVIEW Web Service to the Application Web Server (Real-Time, Windows)*. online. Juni 2022. URL: %5Curl%7Bhttps://www.ni.com/docs/de-DE/bundle/labview/page/lvhowto/build_web_service.html%7D.
- [9] HTC Corporation. *HTC VIVE Tracker*. online. 2022. URL: %5Curl%7Bhttps://www.vive.com/media/filer_public/fed-assets/tracker3/images/meta-image.png%7D.

Anhang

1. Code für die Website _____.html
2. Code des LabVIEW-Projektes ____
3. Demonstrations Video DemoVideo.mkv