

Automatischer Seifenspender mit Bilderkennung

Hadi Yahya Hadi Al-Hamed, Elektrotechnik und Informationstechnik
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Zusammenfassung—Im Rahmen des Projektseminars Elektrotechnik und Informationstechnik (LEGO Mindstorms) an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg wurde ein vollautomatischer, berührungsloser Seifenspender entwickelt. Ziel des Projekts war es, durch eine komplett kontaktlose Bedienung die Hygiene zu verbessern und eine smarte, effiziente Seifenausgabe zu gewährleisten. Die mechanische Umsetzung erfolgte mit dem zur Verfügung gestellten LEGO-NXT-Set. Für die Programmierung und Ansteuerung der Hardwarekomponenten wurde MATLAB genutzt. Die berührungslose Steuerung wird über eine Webcam realisiert. Das KI-gestützte Framework MediaPipe erfasst die Hand des Nutzers per Landmark-Erkennung und löst daraufhin automatisch den Motor für den Pumpstoß aus.

Schlagwörter—Bilderkennung, Framework, LEGO-NXT, MATLAB, MediaPipe, Seifenspender

I. EINLEITUNG

IN der heutigen Zeit spielt die Handhygiene im Alltag eine zentrale Rolle, um Infektionen zu vermeiden. Traditionelle Seifenspender erfordern jedoch einen direkten physischen Kontakt, wodurch sie paradoxerweise selbst zu einer potenziellen Quelle für die Übertragung von Krankheitserregern werden können. Um genau dieses Risiko zu eliminieren, wurde im Rahmen des Projektseminars „Elektrotechnik und Informationstechnik (LEGO Mindstorms)“ ein automatisierter, berührungsloser Seifenspender entwickelt. Ziel des Projekts ist eine smarte, komplett kontaktlose Bedienung, die den Alltag hygienischer und effizienter macht. Anstatt sich auf übliche Infrarot- oder Ultraschallsensoren zu verlassen, wird der mechanische LEGO-Aufbau über eine handelsübliche Webcam und intelligente Bilderkennung gesteuert. Die folgende Ausarbeitung dokumentiert die Entwicklung bis zum Endresultat: vom mechanischen Aufbau über die Programmierung bis hin zu den praktischen Herausforderungen und deren Lösungen (siehe Abb. 1).

II. VORBETRACHTUNGEN

Bevor die Konstruktion und Programmierung im Detail betrachtet werden, werden zunächst die grundlegenden Komponenten des Systems vorgestellt.

A. Mechanismus eines traditionellen Seifenspenders

Ein traditioneller Seifenspender besteht im Wesentlichen aus einem Behälter für die Seifenflüssigkeit und einem mechanischen Pumpkopf. Durch das Herunterdrücken des Pumpenkopfes wird die Seife durch ein inneres Rohr nach oben transportiert und ausgegeben. Um diesen Fördervorgang zu starten, muss der Pumpenkopf manuell nach unten gedrückt



Abbildung 1. Finaler vollautomatischer, berührungsloser Seifenspender

werden, wobei er sich dem Widerstand einer eingebauten Feder entgegenstellen muss.

Um die hierfür erforderliche Betätigungskraft zu ermitteln, wurde der Seifenspender auf einer kalibrierten Küchenwaage allmählich nach unten gedrückt. Das dabei ermittelte Höchstgewicht von 2,1 kg entspricht einer Druckkraft von etwa 20,6 N. Dieser Kraftaufwand ist technisch notwendig und üblich, da die eingebaute Feder kräftig genug sein muss, um nach der Betätigung die zähflüssige Seife aus dem Behälter zu saugen und das System in seine Ausgangsposition zurückzuführen. Für die Automatisierung stellt diese mechanische Gegenkraft eine Hürde dar, da der zu wählende elektrische Antrieb ausreichend Kraft aufbringen muss, um die Feder problemlos zu stauchen.

B. Antrieb und Kraftübertragung

Um die zuvor ermittelte Druckkraft von 20,6 N aufzubringen, reicht das Drehmoment eines standardmäßigen LEGO-Elektromotors nicht aus. Dieser erzeugt zunächst nur die primäre Rotationsbewegung. Daher ist ein mehrstufiger Antriebsstrang zur Kraftübersetzung erforderlich.

Im ersten Schritt wird die horizontale Drehung des Motors über zwei Kegelräder um 90° auf eine vertikale Achse umgelenkt. Diese Achse treibt anschließend ein in einem transparenten Gehäuse gelagertes Schneckengetriebe an (siehe Abb. 2 aus der Quelle [3]), das als zentrales Element der Kraftübertragung fungiert. Ein solches Getriebe setzt sich grundlegend aus einer schraubenförmigen Welle, der sogenannten Schnecke, und einem zylindrischen Rad, dem Schneckenrad, zusammen [1]. Dabei greift das Gewinde der Schneckenwelle in die Zahnücken des Schneckenrades ein.

Der entscheidende mechanische Vorteil dieses Getriebes besteht darin, dass sich die Drehgeschwindigkeit stark reduziert,



Abbildung 2. LEGO-Schneckengetriebe [3]

während sich das resultierende Drehmoment enorm erhöht. Dieses Untersetzungsverhältnis beträgt 24:1, da die Schnecke bei einer vollen Umdrehung das Zahnrad mit 24 Zähnen um genau einen Zahn weiterbewegt [3]. Zudem ermöglicht es eine gute Belastbarkeit und eine hohe Kraftübertragung auf kleinstem Raum. Erst durch diese enorme Drehmomentsteigerung wird die nötige Kraft generiert, um den Pumpwiderstand der Flasche zuverlässig zu überwinden. Ein weiterer konstruktiver Vorzug des Schneckengetriebes ist seine Selbsthemmung. Diese verhindert, dass der Gegendruck der Spenderfeder das System unbeabsichtigt rückwärts antreibt.

Im letzten Schritt muss die verstärkte Rotationsbewegung schließlich in eine Linearbewegung umgewandelt werden. Hierzu treibt das Schneckengetriebe ein weiteres Zahnrad an, das direkt in eine vertikale Zahnstange greift. Durch dieses Zahnstangengetriebe wird die Drehbewegung in eine geradlinige Abwärtsbewegung umgewandelt. Diese drückt den Hebelarm und somit den Spenderkopf mit den erforderlichen 20,6 N kontinuierlich hinab und löst so den Fördervorgang der Seife aus (siehe Abb. 3).

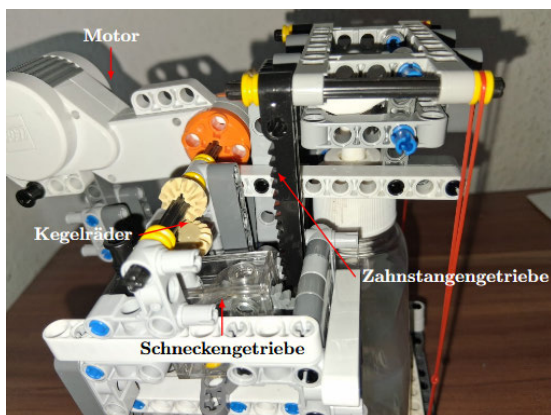


Abbildung 3. Mechanischer Aufbau der Kraftübertragungseinheit

C. Funktionsprinzip der Bilderkennung

Zur berührungslosen Steuerung des Seifenspenders wird eine handelsübliche Webcam eingesetzt (siehe Abb. 4). Diese erfasst kontinuierlich den Bereich unter dem Pumpkopf. Die bloßen

Videodaten müssen anschließend von einer Software ausgewertet werden, um eine im Bild befindliche Hand zuverlässig zu identifizieren.



Abbildung 4. Webcam (Logitech C270) [4]

Hierfür kommt das KI-basierte Framework MediaPipe zum Einsatz. Anstatt fehleranfällige Merkmale wie Hautfarben zu suchen, analysiert dieses System die Geometrie im Bild. Mithilfe der sogenannten Landmark-Erkennung sucht die Software gezielt nach den typischen Gelenkpunkten und der Struktur einer menschlichen Hand (siehe Abb. 5 aus der Quelle [2]). Sobald das „Skelett“ einer Hand im Videostream eindeutig erkannt wird, wird ein Signal an die Steuereinheit gesendet, um den Motor zu starten. Dieser Ansatz ist sehr robust gegenüber veränderten Lichtverhältnissen und störenden Objekten im Hintergrund.

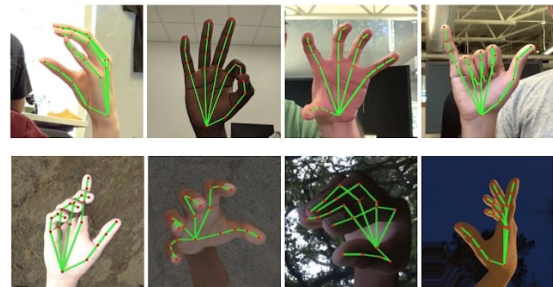


Abbildung 5. Eingabedaten des Tracking-Netzwerks: Reale (oben) und synthetische Handbilder (unten) mit markierten Gelenkpunkten [2]

III. KONSTRUKTION & PROGRAMMIERUNG

Hier wird detailliert beschrieben, wie der Roboter gebaut und programmiert wurde.

A. Aufbau

Der mechanische Aufbau dient dazu, den traditionellen Seifenspender sicher aufzunehmen und die Rotationsbewegung des Motors in eine lineare Abwärtsbewegung umzuwandeln. Wie bei der Kraftmessung festgestellt wurde, tritt beim Herunterdrücken des Pumpkopfs ein sehr hoher mechanischer Widerstand auf. Um zu verhindern, dass die LEGO-Konstruktion unter dieser Belastung nachgibt oder sich verformt, wurde ein fester, stabilisierender Rahmen, ein sogenannter Käfig, konstruiert (siehe Abb. 6). Dieser umschließt den Seifenspender formschlüssig und fixiert ihn gegen seitliches Verrutschen.

Oberhalb des Pumpkopfs ist die Kraftübertragungseinheit montiert. Dabei ist der Elektromotor über das Schneckengetriebe mit einer Mechanik verbunden, die exakt auf den Kopf des Spenders drückt. Der stabilisierende Käfig gewährleistet, dass die erzeugte Druckkraft zuverlässig und zielgenau auf den Pumpmechanismus übertragen wird.



Abbildung 6. stabilisierender Rahmen (Käfig)

B. Ablaufplan

Der kontinuierliche Betriebsablauf des Seifenspenders lässt sich in mehrere klar definierte Phasen unterteilen (siehe Abb. 7). Nach der erfolgreichen Initialisierung der Hardwarekomponenten und Softwareschnittstellen (NXT-Controller, Webcam und MediaPipe-Umgebung) wechselt das System in einen dauerhaften Überwachungsmodus. In dieser Phase wird das Kamerabild zyklisch erfasst und auf die vordefinierten Hand-Landmarks geprüft. Die effiziente Architektur von MediaPipe ermöglicht dabei eine Verarbeitung in Echtzeit (typischerweise unter 50 ms pro Frame [2]), wodurch das System nahezu verzögerungsfrei auf den Nutzer reagiert. In Bezug auf die Zuverlässigkeit erweist sich das System als äußerst robust gegenüber Fehlauflösungen durch andere Objekte. Da der Algorithmus gezielt die geometrische Skelettstruktur einer menschlichen Hand verifizieren muss, führen unbelebte Gegenstände oder Kleidung nicht zu einer Aktivierung des Motors. Wird keine Hand detektiert, verbleibt der Motor im Ruhezustand. Sobald jedoch eine Hand im Erfassungsbereich verifiziert wird, startet der Ausgabeprozess. Der Motor dreht sich zunächst vorwärts, um den Pumpkopf zu betätigen, und fährt den Hebelarm anschließend wieder in die Ausgangsposition zurück. Um eine Mehrfachausgabe zu verhindern, geht das System anschließend in eine blockierende Warteschleife über. Erst

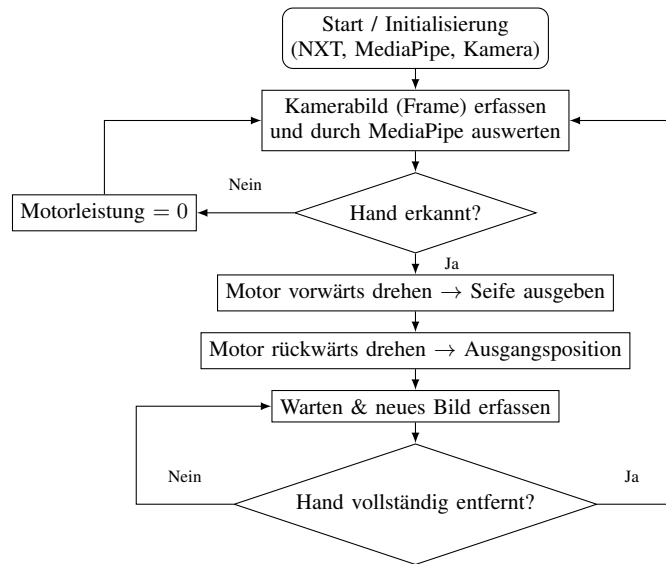


Abbildung 7. Programmablaufplan der Seifenspender-Steuerung

wenn die Hand vollständig aus dem Bildbereich entfernt wurde, wird der Zyklus abgeschlossen und der ursprüngliche Überwachungsmodus wieder aufgenommen.

C. Algorithmus

Die programmiertechnische Realisierung erfolgt in der Entwicklungsumgebung MATLAB. Dabei wird das Python-basierte Framework MediaPipe über die Schnittstelle `py.importlib` direkt eingebunden. Der Kernalgorithmus erfasst in einer Endlosschleife kontinuierlich Kamerabilder und übergibt sie an das Hand-Erkennungsmodell. Sobald eine Hand verifiziert wurde, erfolgt die Ansteuerung des Elektromotors mit einem Rotationslimit von 5000°. Um eine ungewollte Mehrfachausgabe zu verhindern, blockiert eine Kontrollschleife eine erneute Motorauslösung, bis in drei aufeinanderfolgenden Kamerabildern keine Hand mehr detektiert wird (`confirmFrames = 3`).

D. Herausforderungen

Die zuverlässige Verarbeitung der Webcam-Daten stellte eine wesentliche Herausforderung dar. In einer ersten Entwicklungsphase wurde eine grundlegende Farbraumerkennung erprobt, bei der die Software auf bestimmte Hauttöne im Bild reagieren sollte. Dieser Ansatz erwies sich in der Praxis jedoch als sehr fehleranfällig: Wechselnde Lichtverhältnisse, Schatten oder hautfarbene Objekte im Hintergrund führten zu unkontrollierbaren Fehlauflösungen.

Deshalb wurde das System grundlegend überarbeitet und auf das KI-gestützte Framework MediaPipe umgestellt, um eine störungsfreie Funktion zu gewährleisten. Das Problem der Lichtabhängigkeit konnte vollständig beseitigt werden, indem von einer rein farbasierten zu einer strukturbasierenden Erkennung (Landmark-Erfassung) gewechselt wurde. Die Auslösung erfolgt nun ausschließlich, wenn die geometrische Skelettstruktur einer menschlichen Hand zweifelsfrei vom Algorithmus verifiziert wird. Dadurch wird die Fehlerquote auf ein Minimum reduziert.

IV. ERGEBNISDISKUSSION

Die praktischen Tests ergaben, dass der Prototyp die Projektziele erfolgreich erfüllt. Die KI-gestützte Steuerung mittels MediaPipe erwies sich gegenüber konventionellen, ultraschallbasierten Automatikspendern als deutlich besser: Da das System ausschließlich auf die geometrischen Strukturmerkmale einer Hand reagiert, konnten Fehlauflösungen, beispielsweise durch vorbeistreifende Kleidung, vollständig eliminiert werden.

Auf mechanischer Ebene zeigte sich, dass der stabile Rahmen in Kombination mit dem Schneckengetriebe die erforderliche Druckkraft von 20,6 N einwandfrei auf den Pumpkopf überträgt. Dabei erwiesen sich die festgelegten 14 Motorumdrehungen als optimal für eine konstante und alltagstaugliche Seifenabgabe.

Ein einschränkender Faktor bleibt jedoch die Hardware-Abhängigkeit. Die rechenintensive Bildauswertung über MATLAB erfordert zwingend einen angeschlossenen Computer. Dies schränkt die Mobilität des Spenders ein und verursacht eine minimale Zeitverzögerung bei der Motorauslösung. Dennoch zeigen die Ergebnisse eindrucksvoll, dass dieses KI-gestützte, mechatronische System machbar und hoch zuverlässig ist.

V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Das Ziel des Projekts war die Automatisierung eines herkömmlichen Seifenspenders, um eine hygienische und kontaktlose Bedienung zu ermöglichen.

Dies wurde durch eine stabile LEGO-Käfigkonstruktion mit Schneckengetriebe sowie eine kamerabasierte KI-Steuerung (MediaPipe) in MATLAB erfolgreich umgesetzt. Das System überwindet den hohen mechanischen Widerstand von 20,6 N zuverlässig und erkennt Hände unabhängig von den Lichtverhältnissen robust. Für zukünftige Entwicklungen bestehen jedoch noch Optimierungsmöglichkeiten. So muss der Prototyp zur Bildauswertung derzeit an einen Computer angeschlossen sein, weshalb ein komplett eigenständiges System ohne externen PC der nächste sinnvolle Schritt wäre. Zudem fehlt aktuell eine automatische Füllstandskontrolle. Durch den Einbau eines weiteren Sensors könnte der Nutzer künftig rechtzeitig an das Nachfüllen der Seife erinnert werden.

LiteraturLiteraturverzeichnis

LITERATUR

- [1] Wikipedia, die freie Enzyklopädie: *Schneckengetriebe*. <https://de.wikipedia.org/wiki/Schneckengetriebe>, abgerufen am 26. Februar 2026.
- [2] Valentin Bazarevsky, Fan Zhang: *On-Device, Real-Time Hand Tracking with MediaPipe*. Google Research Blog, 2019. <https://research.google/blog/on-device-real-time-hand-tracking-with-mediapipe/>
- [3] Steinpalast: *Lego Technic Getriebe Halter mit Schnecke und Zahnrad Z24*. Produktdatenblatt, 2026. <https://www.steinpalast.eu/1-x-lego-technic-getriebe-halter-transparent-weiss-2x4x3-1/3-gewinde-schnecke-lang-achs-1-och-stange-zahnrad-z24-neu-hell-grau-3648-24505-4716-6588-32239>
- [4] Bürklin Elektronik: *Logitech C920 HD Pro Webcam*. Produktspezifikationen, 2026. <https://www.buerklin.com/de/p/logitech/kameras-zubehoer-kameras/960-001063/12M4243/>