

Die Maus

Annika Kristin Ollesch, Elektro-und Informationstechnik
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Zusammenfassung—Das LEGO-Praktikum 2025 hat als Ziel einen funktionsfähigen Roboter zu bauen, der ein bestimmtes gesetztes Problem löst. In diesem Paper wird das Projekt die Maus genauer betrachtet und Ziele, Funktionsweise sowie Probleme bei der Entwicklung beleuchtet. Die Maus fungiert dabei wie eine echte Maus, die mithilfe von Omniwheels und Bildverarbeitung, ein Loch in einem Raum sucht durch das sie hindurch fahren kann.

Schlagwörter—Omniwheels, Bildverarbeitung, Wegfindung, ComputerVisionToolbox, MATLAB

I. EINLEITUNG

In der heutigen Zeit arbeiten viele Systeme mit Bildverarbeitung. Durch immer größere Fortschritte wird die künstliche Intelligenz immer weiter entwickelt. Gerade was Systeme wie Brems-, Spurhalte- und Parkassistenzen angeht ist vieles möglich. Um diese Technik zu ermöglichen müssen präzise arbeitende Sensoren und Kameras zum Einsatz kommen. Dafür muss besonders auf eine Echtzeit-Bildverarbeitung und hohe Erkennungsrate von gesuchten Objekten geachtet werden. Aus diesem Wissen entstand das Projekt „Die Maus“, welche ohne menschliche Hilfe durch reine Bilderkennung einen Ausgang in einem Raum finden soll. Dafür werden auf oben genannte ähnliche bekannte Konzepte zurückgegriffen.

II. VORBETRACHTUNGEN

A. Ziel der Maus

Die Maus soll sich in einem Raum mit vier Wänden bewegen können. Sie soll in dem Raum der aus vier Wänden besteht ein Loch in einer der Wände finden. Dafür dreht sich die Maus 360° um ihre eigene Achse und hält Ausschau nach dem Loch. Findet sie das Loch, fährt sie darauf zu und richtet sich immer wieder passend darauf aus. Dieser Vorgang wird solange durchgeführt bis sie durch das Loch in der Wand gefahren ist.

B. Benötigte Bauteile

Für die Konstruktion wurde ein LEGO-Mindstorms Baukasten genutzt. Zentraler Punkt der Konstruktion ist der Steuercomputer, welcher die Motoren und Sensoren ansteuert. Für die Maus wurde ein EV3 verwendet. Um die Bewegungen, wie eine 360° Drehung, auszuführen, welche als Ziel der Maus aufgeführt wurden, werden 3 Omniwheels verwendet. Sie werden in einem Dreieck angeordnet und mit drei kleinen Motoren angesteuert. Um zu erkennen, ob die Maus durch ein Loch gefahren ist, wird ein Ultraschallsensor verwendet. Dieser erkennt durch das aussenden kontinuierlicher Ultraschallsignale Hindernisse. Um zu erkennen, dass die Maus durch das Loch gefahren ist, wurde er an die Decke gerichtet.

Der wichtigste Teil der Konstruktion ist die Webcam, welche im späteren Verlauf durch ein Smartphone ersetzt wurde und an der Vorderseite des Fahrzeugs angebracht ist. Die Webcam bzw. das Smartphone ist mit zwei Gummibändern an der Konstruktion befestigt.

C. Funktion des Programms

Damit die Maus das Loch findet, wird das Bild der Webcam auf dem Laptop verarbeitet. Um brauchbare Daten aus den gewonnenen Bildern zu bekommen, wird in der MATLAB Umgebung mit dem Add-on ComputerVisionToolbox gearbeitet. Das Fahrzeug muss mittels der Kamera ein Rechteck und dessen Lage im Blickfeld erkennen und darauf hin entsprechend reagieren. Um dies zu ermöglichen muss ein starker Schwarz-Weiß-Kontrast zwischen dem Raum und dem Rechteck gegeben sein. Das Fahrzeug wurde dementsprechend in einer weißen Testumgebung mit einem schwarz umrandeten Rechteck getestet.

Die Motoren werden so angesteuert, dass das Fahrzeug entweder rotiert, sich seitwärts oder gerade vorwärts bewegt. Der nach oben gerichtete Ultraschallsensor misst den Abstand zu der tatsächlichen Raumdecke und erkennt beim Durchfahren des Loches eine verringerte Deckenhöhe. Daraufhin fährt die Maus gerade weiter um den Raum gerade durch das Loch zu verlassen. Um dies zu testen, wurde in der Testumgebung das Stück der niedrigen Decke verbreitert.

III. ENTWICKLUNGSPROZESS

A. Konstruktion mit zwei Omniwheels



Abbildung 1: Erste Konstruktion mit zwei Omniwheels und USB-Webcam

In der ersten Idee der Konstruktion (Abbildung 1) wurde der EV3-Baustein auf ein rechteckiges Grundgerüst gesetzt. An der Konstruktion wurden zwei große Motoren angebracht die nach vorne ausgerichtet waren. Sie haben den EV3 in eine Schräglage gebracht. An den Motoren wurden normale Räder angebracht.

Schon in der ersten Konstruktion kam der Gedanke an die Omniwheels auf, da die Idee der Maus eine hohe Beweglichkeit des Fahrzeugs benötigt. Als Schlussfolgerung dieser Gedanken wurden am hinteren teil der Konstruktion zwei Omniwheels angebracht.

In dem ersten Teil der Entwicklung wurden außerdem wichtige Schritte zur weiteren Entwicklung getätigt. Die Grundidee den Ausgang in einer Wand mithilfe von Bildverarbeitung zu erkennen kristallisierte sich recht schnell. Für die Umsetzung dieser Vorstellung wurde vorerst eine Webcam verwendet. Dafür wurde sie in eine Halterung aus LEGO mit Gummibändern eingespannt und anschließend auf die Vorderseite der schon bestehenden Konstruktion gebaut.

Der Ultraschallsensor, welcher die Deckenhöhe messen soll, wurde in der ersten Konstruktion an dem EV3 in Richtung Decke befestigt.

Die Konstruktion wurde durch Ansteuern der Motor auf ihre Funktionalität getestet, jedoch musste schnell festgestellt werden, dass eine Rotation zwar möglich ist, aber ein genaueres ausrichten eher schwer fällt da keine wirklichen reinen Seitwärtsbewegungen getätigt werden konnten. Eine weitere Schwäche der Konstruktion war das Kabel der Webcam, welches fixiert werden musste und sich in der Rotationsbewegung immer verdrehte.

B. Konstruktion mit drei Omniwheels

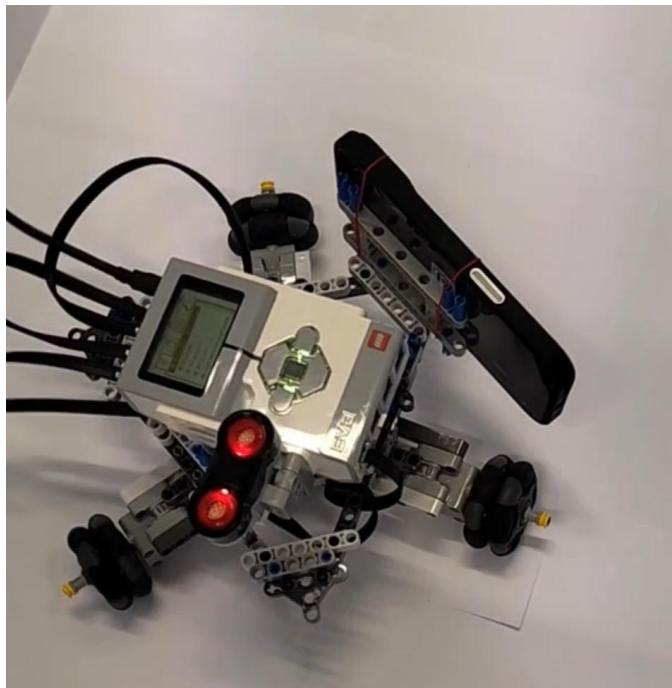


Abbildung 2: Finale Konstruktion der Maus

Da die erste Konstruktion einige neue Herausforderungen und Fragen aufwarf, wurde eine neue Konstruktion entwickelt. Die zweite Konstruktion (Abbildung 2) unterscheidet sich grundlegend von der ersten Konstruktion.

Um mehr Beweglichkeit zu gewährleisten, die in der ersten Konstruktion zu wünschen übrig ließ, kam die Frage nach 4 Omniwheels auf. Schnell wurde, durch eine Onlinerecherche über die Anordnung von Omniwheels, jedoch festgestellt das 3 Omniwheels ausreichend sind.

Daraufhin wurde ein neues Grundgerüst aus LEGO gebaut das die Form eines Dreiecks hat. Die zwei großen Motoren wurden durch drei kleine Motoren ersetzt, um einen kompakten Bau des Fahrzeugs zu ermöglichen. Die Motoren wurden von unten an die Konstruktion so befestigt, dass sie sich in der Mitte fast berühren (siehe Abbildung 3). An den Motoren wurden dann die Omniwheels angebracht.

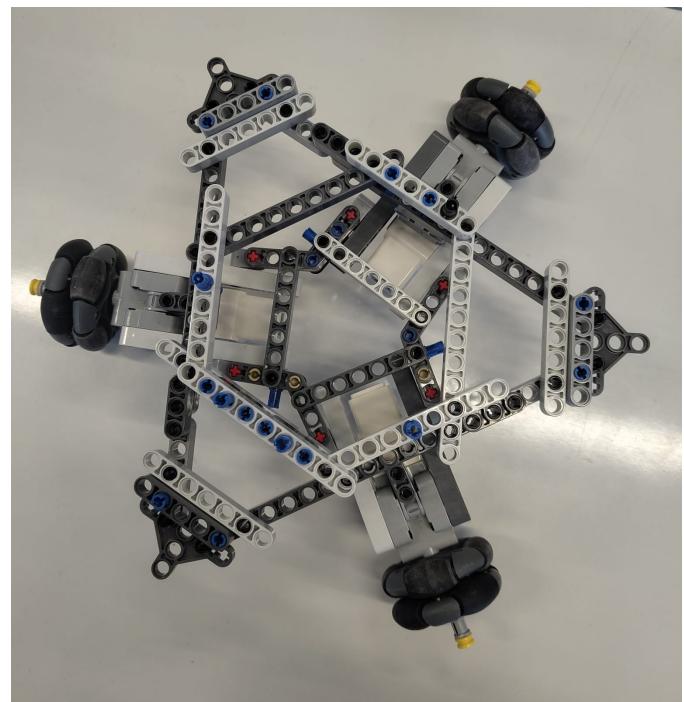


Abbildung 3: Draufsicht auf die Konstruktion mit drei Omniwheels

Eine Schwierigkeit der Omniwheels ist dabei direkt aufgekommen. Diese müssen senkrecht auf den Boden auftreten, damit ihre Funktionsweise der kleinen seitwärts rollenden Räder nicht beeinträchtigt ist. Stehen sie nicht richtig auf dem Boden liegt das Rad mit dem nicht rollenden Plastikteil der Innenseite auf und bewegt sich nicht. Um dieses Problem zu lösen sind die Motoren untereinander nochmals verbunden. So wird die Stabilität erhöht und sie sinken nicht so sehr in der Mitte des Dreiecks ab.

Ein weiteres Problem mit der Anordnung der 3 Motoren ist, dass die Motoren durch die gerade Anzahl der Seitenlänge der Dreieckskonstruktion nicht ganz mittig von jeder Seite angebracht werden konnte. Sie stehen als nicht im gewollten 120°-Versatz zueinander (siehe Abbildung 4). Dies stellte zum Glück in den Tests kein Problem der Funktionalität dar.

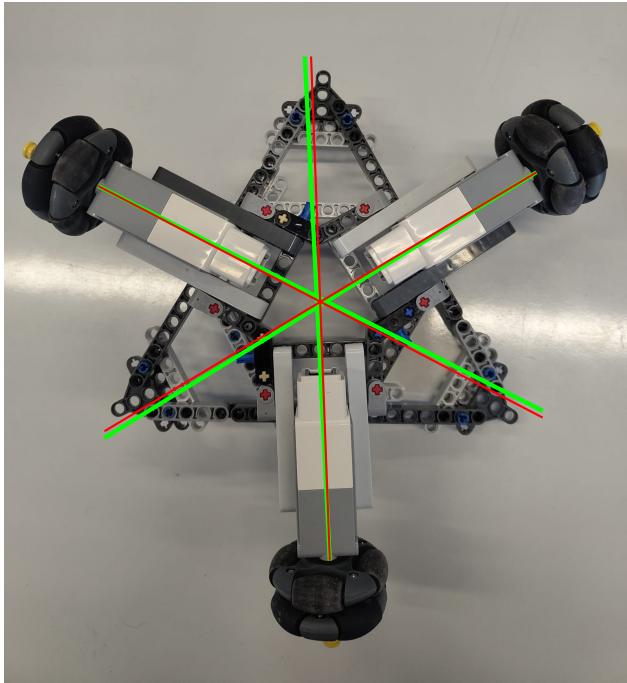


Abbildung 4: Unterseite der zweiten Konstruktion, Idealer 120°-Versatz (rot), Verlängerte Motor-Rad-Achsen (grün)

Die Ultraschallsensor wurde wie auch in der vorherigen Konstruktion wieder am EV3 nach oben gerichtet angebracht. In der ersten Konstruktion ist das Kabel der Webcam negativ aufgefallen, da es ständig im Weg war. Da man in MATLAB auch eine mit WLAN verbundene App verwenden kann ist die Webcam aus der Konstruktion entfallen und stattdessen kam die Idee der Benutzung des Smartphones zur Bildaufzeichnung. Dafür wurde die Halterung der Webcam verworfen und ein LEGO-Bauteil an einer Ecke des Fahrzeuges befestigt. Das Smartphone wird dann mit Gummibändern an diesem Bauteil befestigt.

C. Funktionsweise und Software

Um den Ablauf des Programmes einfach zu verdeutlichen wurde ein Programmablaufplan erstellt (siehe Abbildung 5). Der verwendete EV3 wurde mit der EV3-Toolbox [1] per USB an MATLAB angeschlossen. Das Bild, welches verarbeitet werden soll, wird mit einer auf dem Smartphone installierten App aufgenommen und per WLAN mit dem verwendeten Laptop geteilt. In MATLAB wird diese wie eine normal angeschlossene USB Kamera gesehen.

Zur Bildverarbeitung in MATLAB wurde das Add-on ComputerVisionToolbox auf dem verwendeten Laptop installiert. Um ein Rechteck in einer weißen Wand zu erkennen werden einzelne Snapshots erstellt, welche in MATLAB als eine Matrix gespeichert werden. An dieser wird Kanten und Polygonerkennung durchgeführt. Das Farbbild wird in ein Schwarz-Weiß Bild (Abbildung 6) umgewandelt um den Kontrast höher zu machen und damit das Rechteck mit der Kantenerkennung besser zu erkennen (Abbildung 7).

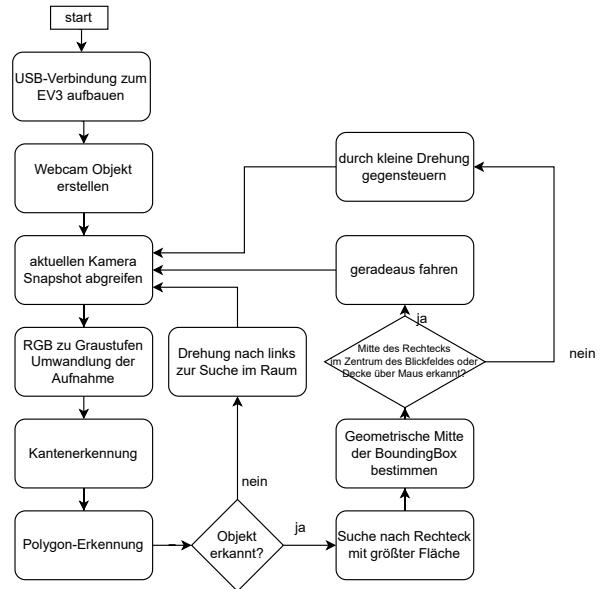


Abbildung 5: Vereinfachtes Ablaufdiagramm

Anschließend wird eine Bounding Box erstellt (Abbildung 8). Die Größe der gefundenen Fläche wird ermittelt. Durch Abgleich der Größe und Seitenverhältnissen können zu kleine oder zu große Rechtecke und sonstige erkannte Objekte heraus gefiltert werden.

Um das Problem der Echtzeit Bildverarbeitung zu lösen, stoppt das Fahrzeug in regelmäßigen Abständen, um ein klares Bild aufnehmen zu können. Das verbleibende Rechteck ist das Loch in der Wand.

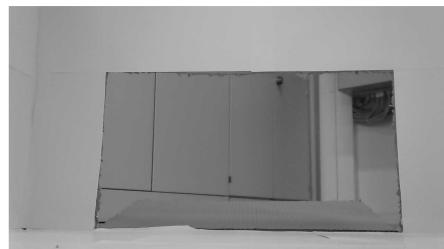


Abbildung 6: Schwarz-Weiß-Bild

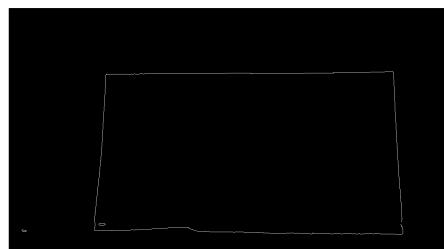


Abbildung 7: Kantenerkennung

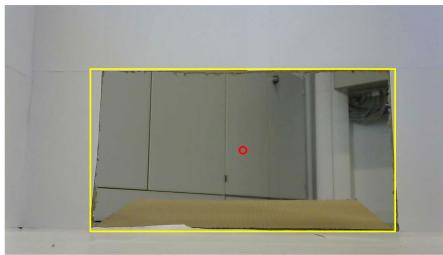


Abbildung 8: Bounding Box

Um die Erkennung umzusetzen muss das Fahrzeug sich vorerst einmal um sich selbst drehen, um den gesamten Raum abzusuchen. Diese Drehung um sich selbst wird durch Ansteuerung in MATLAB der 3 Omniwheels in die gleiche Richtung bei gleicher Leistungszufuhr ermöglicht. Es erfolgt eine Rotation. Durch Rotation wird er immer wieder passend auf das Loch ausgerichtet. Um schließlich auf das Loch gerade zuzufahren muss die Vorwärtsbewegung durch geführt werden. Dies erfolgt durch die Ansteuerung von zwei Motoren in die selbe Richtung.

Befindet sich nun die gefundene Bounding Box nach der Rotation im Sichtbereich der Maus, wird der Mittelpunkt dieser ermittelt. Der Mittelpunkt wurde mit einem Offset berechnet, da die Smartphonekamera nicht mittig auf dem Fahrzeug montiert ist. Wurde keine passende Bounding Box gefunden, dreht sich das Fahrzeug weiter bis es eine findet. Anhand des Mittelpunktes treten drei Möglichkeiten des weiteren vorgehen auf. Befindet sich der Mittelpunkt zentral vor der Maus, fährt sie gerade hindurch. Befindet er sich im rechten oder linken Blickfeld der Kamera wird durch die Rotations- und Vorwärtsbewegung so lange korrigiert, bis die Kamera den Mittelpunkt wieder zentral im Blickfeld hat und das Fahrzeug gerade fahren kann.

Um nicht erneut nach einem Rechteck zu suchen bzw. eine Rotation auszuführen wenn die Maus durch das Loch ist, wird der Ultraschallsensor verwendet. Der Ultraschallsensor misst die Deckenhöhe und erkennt beim Durchfahren der Wand eine deutlich verringerte Deckenhöhe als die übliche Raumdecke. Sollte der Ultraschallsensor diese verringerte Deckenhöhe wahrnehmen, hat die Maus den Auftrag weiter gerade durch das Loch hindurch zu fahren, anstatt eine Rotation auszuführen, weil keine Bounding Box mehr auffindbar ist.

IV. ERGEBNISDISKUSSION

Das Fahrzeug konnte sich am Ende eigenständig aus dem Raum bewegen.

Es wurde jedoch in einer eigens dafür gebauten Testumgebung getestet, die weiße Wände und einen klar markierten Ausgang hatte, um den schwarz-weiß Kontrast möglichst groß zu machen.

Das Problem welches trotz der Testumgebung aufkam, waren unterschiedliche Lichtverhältnisse. Diese beeinflussen das Bild der Kamera und damit auch die Bildverarbeitung.

Ein weiteres Problem war die Umgebung hinter dem Loch der Testumgebung. Wird in der Umgebung ein anderer Gegenstand als Rechteck erkannt, fährt das Fahrzeug nicht frontal auf den Ausgang zu, sondern schräg und bleibt an der Seitenwand hängen. Dies passiert vor allem, wenn sich die Kamera schon sehr nah am Loch befindet und vermehrt die Außenumgebung wahrnimmt.

Das Fahrzeug ruht in regelmäßigen Abständen um die Bewegungsunschärfe der Kamera möglichst gering zu halten. Die Kamera ist durch die vorherige Bewegung jedoch immer noch in leichter Bewegung weshalb trotzdem leichte Bildunschärfe entsteht.

Das Fahrzeug wurde außerdem zwar durch die Smartphonekamera mit einem Kabel weniger an dem Laptop verbunden, jedoch war es nicht möglich die Maus komplett Kabellos zu gestalten. Die Bluetooth-Versionen des EV3-Bausteines und des Laptops lagen zu weit auseinander um ein Verbinden möglich zu machen.

V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Abschließend kann man sagen, dass die Maus ein recht erfolgreiches Projekt war, welches mit mehr Zeit und mehr Budget die Möglichkeit hätte in einem größeren Maß, zum Beispiel dem Einparken von Autos in Garagen, oder im kleineren Maß durch ein kleines Gerät, welches für den Menschen unerreichbare Orte eigenständig erkunden kann. Was in kurzer Zeit mit der Maus umgesetzt werden konnte war nur ein kleiner praktischer Einblick in was möglich wäre. Natürlich hat das Projekt noch Schwachstellen vor allem in der Bildverarbeitung.

Das Projekt war eine gute Möglichkeit über zwei Wochen zu testen, was mit Kreativität und Wissbegierde in MATLAB und mit einem LEGO Baukasten alles geht.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] RWTH AACHEN: GITLAB: ev3-toolbox-matlab. <https://git.rwth-aachen.de/mindstorms/ev3-toolbox-matlab>