

Der Tic-Tac-Toe-Robo

Frodo Hinze, Elektro- und Informationstechnik
 Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Zusammenfassung—Im Rahmen des Projektseminars Elektrotechnik/Informationstechnik wurde ein Roboter entwickelt, der gegen einen menschlichen Spieler im Spiel Tic Tac Toe antreten kann. Anstelle von Kreuzen und Kreisen verwendet der Roboter rote und grüne Kugeln. Der Spieler kann eine Kugel auf dem Spielfeld platzieren und den Roboter mit einem Knopfdruck zum Zug auffordern. Der Roboter erfasst das Spielfeld mit einem Farbsensor, indem er das Spielfeld dreht und den Arm an dem der Farbsensor befestigt ist vor und zurück bewegt. Anschließend wird der bestmögliche Zug für den Roboter mit Hilfe des Min-Max-Algorithmus berechnet. Der Zug wird mit einem Kugelauswerfer, der sich ebenfalls am Arm befindet, ausgeführt. Die Steuerung erfolgt durch einen EV3-Controller, der die Befehle eines MATLAB-Skripts über die USB-Schnittstelle von einem Laptop empfängt und die Befehle ausführt.

Schlagwörter—EV3, Min-Max-Algorithmus, Spiel, Tic Tac Toe

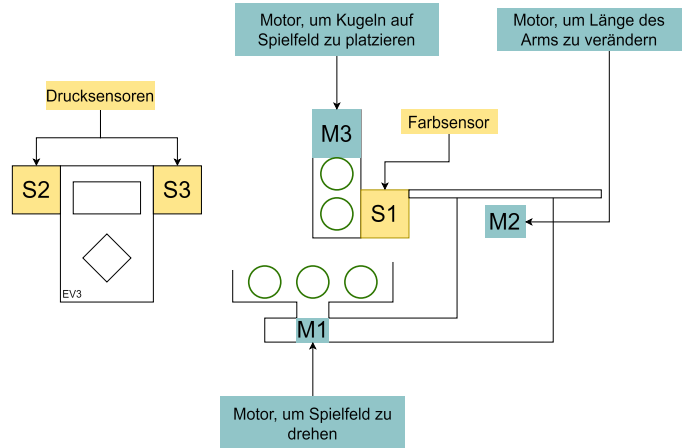


Abbildung 1. Arbeitsskizze des Roboters aus früher Entwicklungsstufe

I. EINLEITUNG

SPIELEND lernen ist ein Grundsatz der Wissensvermittlung. Eben dieser Grundsatz wurde auch im vorliegenden Projekt angewendet. Als Spiel wurde das allgemein bekannte Spiel Tic Tac Toe, ausgewählt. Das Ziel bestand darin, einen Roboter zu konstruieren und zu programmieren, der gegen einen menschlichen Spieler Tic Tac Toe spielen kann.

II. VORBERTRACHTUNG

Im Rahmen des zweiwöchigen Projektseminars bestand der Arbeitsauftrag darin, einen LEGO-Roboter zu konstruieren und mit MATLAB zu programmieren. Der Roboter sollte in der Lage sein, das Spiel „Tic Tac Toe“ zu spielen.

Der Plan sah vor, dass der Spieler eine farbige Kugel auf das Spielfeld legt. Anschließend sollte der Roboter das Spielfeld einlesen und seinen bestmöglichen Zug berechnen. Außerdem sollte der Roboter in der Lage sein, selbstständig eine Kugel auf das Spielfeld zu legen, um so einen natürlichen Spielfluss zu ermöglichen.

In der Abbildung 1 sind die wesentlichen Bestandteile des Tic-Tac-Toe-Robos (im Folgenden T3R) bereits gut zu erkennen. Das Spielfeld ist in der Skizze oberhalb des Motors M1 zu sehen. Dieser soll das Spielfeld drehen, damit die Kugeln platziert werden können. Ein fahrbarer Arm (M2) mit einem Farbsensor (S1) kann dann das Spielfeld einlesen. Anschließend kann ein Kugelauswurfmechanismus eine Kugel für den Roboter auf dem Spielfeld abwerfen. Um dem Roboter zu signalisieren, dass der Spieler seinen Zug gespielt hat, war ein Drucksensor (S2) vorgesehen, der als Knopf fungieren sollte. Ein weiterer Drucksensor (S3) hatte die Aufgabe, das Spielfeld so zu drehen, dass der Spieler auch an die Felder gelangen konnte, die andernfalls vom Farbsensor und dem Kugelauswurf verdeckt worden wären.

Die Steuerung erfolgt über einen LEGO Mindstorms EV3-Controller, der MATLAB-Skripte ausführt. Der Zugriff auf den Controller erfolgt über die von der RWTH Aachen erstellte Bibliothek „RWTH Mindstorms EV3 Toolbox“, welche über das e-Learning-System der Universität zur Verfügung gestellt wurde. Zunächst fühlte sich die Verwendung des EV3 wie ein Nachteil an, da viele andere Gruppen einen NXT-Controller verwendeten. Jedoch zeigte sich schnell, dass zur Ansteuerung des EV3 keine zusätzlichen Treiber verwendet werden mussten. Der Controller musste lediglich mit einem Laptop via USB verbunden werden. Die einzige Schwierigkeit bestand darin, dass die Verbindung ab und zu zurückgesetzt werden musste; nachdem dieser Schritt Einzug in jedes Skript fand, stellte auch das kein Problem mehr da.

Die Logik des T3R basiert auf dem Min-Max-Algorithmus. Eine Implementierung dieses Algorithmus’ in Python existiert auf YouTube [1] und wurde für das Programm des Roboters entsprechend in MATLAB umgesetzt. Anschließend mussten noch einige kleine Änderungen implementiert werden, um das Zusammenspiel mit den restlichen Funktionen zu gewährleisten.

III. AUFBAU & PROGRAMMIERUNG

Im Folgenden wird der Aufbau des T3R erläutert.

A. Hardware

1) *Spielfeld*: Ein wichtiger Teil des Roboters ist das Spielfeld. Auf ihm soll die eigentliche Interaktion mit dem Spieler stattfinden. Um dies zu ermöglichen, wurde der Roboter mit einem Spielfeld der Größe 3×3 ausgestattet, das auf den Durchmesser der verwendeten LEGO-Kugeln abgestimmt ist. Nach einigen Tests wurde der Spieltisch mit weißen Papierschnipseln ergänzt, da dies die Erkennung des Spielfeldes stark

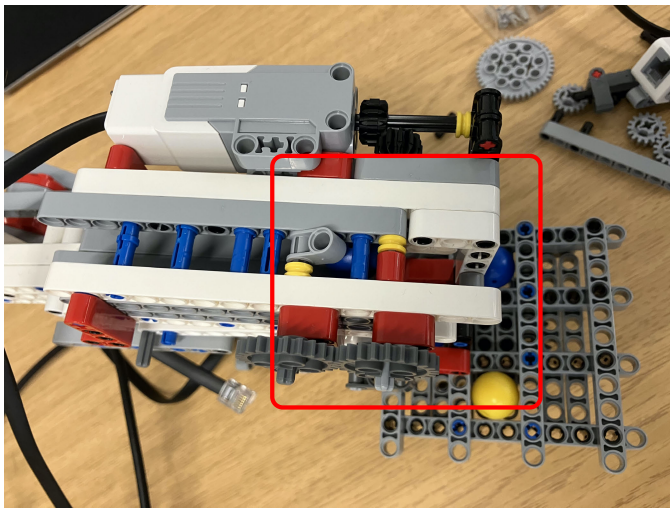


Abbildung 2. Kugelauswurf am Roboter

vereinfachte und die Zuverlässigkeit der Spielfeldererkennung deutlich verbesserte. Die Platte, auf der sich das Spielfeld befindet, wird von einem großen Motor angetrieben. Dadurch ist es möglich, den Teller zu drehen.

2) *Arm*: Wie in Abbildung 1 zu sehen ist, wird das Spielfeld von einem Ausleger überragt. Dieser wird von einem großen Motor vor und zurück bewegt. Weitere Freiheitsgrade sind hier nicht notwendig, da durch das Drehen des Spielfeldes und das Vor- und Zurückbewegen des Arms bereits alle Positionen erreichbar sind. Am Arm befinden sich zwei weitere wichtige Komponenten des Roboters: der Farbsensor und der Auswurfmechanismus. Beide sind in der Abbildung 3 oberhalb des Spielfeldes gut zu erkennen.

3) *Farbsensor*: Der Farbsensor befindet sich auf der linken Seite vor dem Auswurfmechanismus. Die Aufgabe des Farbsensors ist es, den Zustand des Spielfeldes zu erkennen. In Tests zeigt sich, dass der Farbsensor rote und grüne Kugeln zuverlässiger erkennt als andere Farben. Dafür ist es jedoch notwendig, dass der Farbsensor sehr dicht über dem Spielfeld platziert wird. Unterhalb des Arms wurden zwei kleine Stifte angebracht, die eine genauere Justierung der Armhöhe und damit des Farbsensors ermöglichen.

4) *Kugelauswurf*: Das zweite Element des Arms ist weniger anfällig für Höhenunterschiede als der Farbsensor. Der Kugelauswurfmechanismus ermöglicht es dem Roboter, Kugeln auf dem Spielfeld zu platzieren. Hierfür wurde ein Kanal konstruiert, in den vor Spielbeginn maximal fünf Kugeln gelegt werden. Über einen versetzten Klappmechanismus werden die Kugeln dann einzeln auf das Spielfeld geworfen. Dieser Mechanismus ist in Abbildung 2 gut zu erkennen.

5) *Spielsteuerung*: Für die Interaktion mit dem Spieler sind seitlich zwei Taster angebracht. Ein Taster wird betätigt, wenn der Spieler seinen Zug beendet hat und der Roboter an der Reihe ist. Der zweite Taster dreht den Spieltisch um 90 Grad. Dadurch kann der Spieler die Kugeln auch unter Felder legen, die sonst durch den Farbsensor oder den Kugelauswurf verdeckt wären.

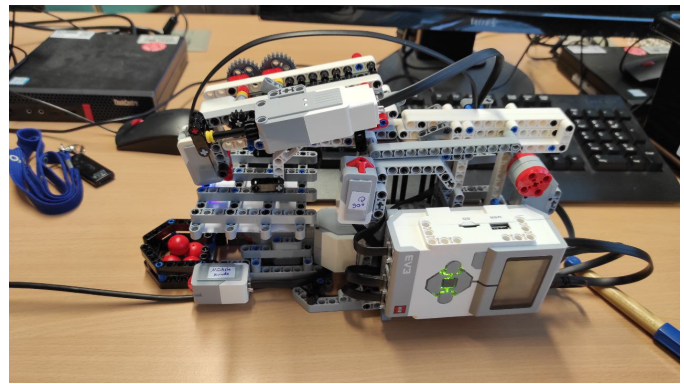


Abbildung 3. Seitenansicht des fertigen Roboters

B. Software

Die Software des T3R besteht aus einem Hauptskript und neun verschiedenen Funktionen. Um Probleme mit der Verbindung zwischen dem Computer und dem LEGO-Programmierstein während der Entwicklung des Roboters zu vermeiden, wurde das Zurücksetzen der Verbindung ein Teil der Initialisierung. Wenn ein Spieler den Drucktaster betätigt, der das Ende seines Zuges anzeigt, werden die Motoren für die Steuerung des Arms und des Tellers zurückgesetzt.

Im Anschluss wird eine Funktion zum Einlesen des Spielfeldes aufgerufen. Diese Funktion steuert den Arm und den Teller so an, dass der Farbsensor jede Position auf dem Spielfeld erreichen kann. Dazu werden erneut zwei Funktionen verwendet, um den Quelltext möglichst kurz zu halten. Die ausgelesenen Werte werden anschließend in einer 3x3-Matrix gespeichert. Die vom Farbsensor verwendeten Werte werden dabei einfach übernommen. Dabei wird der Wert 5 für Rot und der Wert 3 für Grün verwendet.

Damit der Roboter weiß, wie er spielen muss, um zu gewinnen, müssen die Spielregeln von Tic Tac Toe in eine Programm umgesetzt werden. Glücklicherweise gibt es dafür bereits einen Algorithmus [1], so dass dieser nur noch für MATLAB angepasst werden musste. Der hier verwendete Min-Max-Algorithmus ist ein rekursiver Algorithmus. Aus diesem Grund ist der in Abbildung 4 dargestellte Ablauf nicht korrekt. Der Min-Max-Algorithmus ermittelt alle möglichen Spieldausgänge und entscheidet sich aufgrund dieser Analyse für eine von vier Varianten. Entweder hat einer der beiden Spieler gewonnen; wenn dies der Roboter ist, dreht er das Spielfeld dreimal. Bei einem Unentschieden piept der Tic Tac Toe Roboter dreimal. Tritt keiner dieser Fälle ein, wird die nächste Kugel des Roboters platziert. Dazu wird die vom Min-Max-Algorithmus ermittelte Position an eine Funktion übergeben, die diesen Schritt ausführt.

IV. ERGEBNISDISKUSSION

Das Ergebnis des zweiwöchigen Seminars ist ein gut funktionierender Roboter. Dieser ist in der Lage, gegen einen Menschen Tic Tac Toe zu spielen.

Während der Konstruktion traten naturgemäß verschiedene Schwierigkeiten auf, die es zu überwinden galt. Einige konnten gelöst werden, andere bleiben offen.

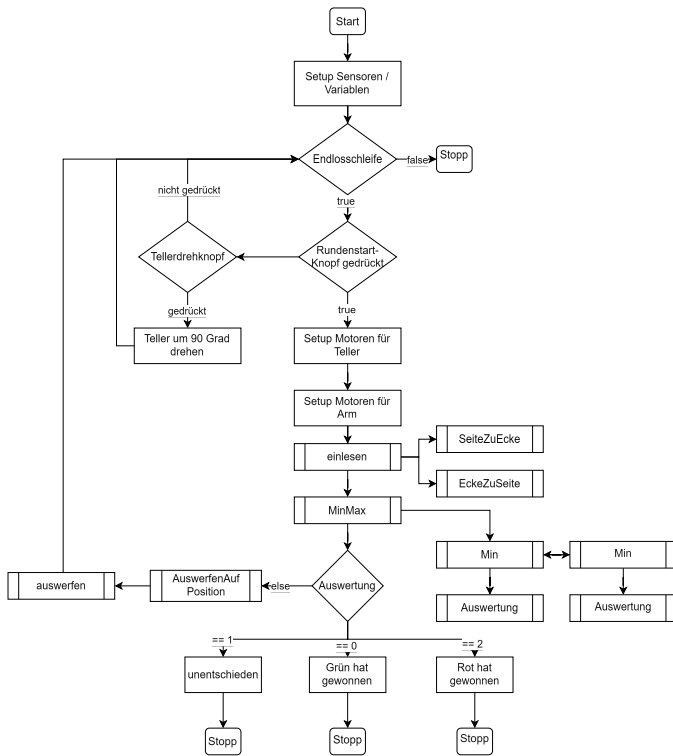


Abbildung 4. Programmablaufplan

1) *Motoren*: Die Motoren sind eine der wichtigsten Komponenten des T3R. Umso ärgerlicher war es, dass es immer wieder zu Problemen mit der Schrittgenauigkeit der Motoren kam. Dies führte letzten Endes zu längeren Wartezeiten beim Einlesen des Spielfeldes, aber auch zu einer höheren Fehlerquote beim Auswerfen der Kugeln. Um dieses Problem zu beheben, wurden zwei Maßnahmen ergriffen: Zum einen wurde die Bremse aktiviert, zum anderen wurden die Motoren vor dem Start eines Unterprogramms immer zurückgesetzt. Dies führte zu besseren Ergebnissen, jedoch blieb eine Restungenauigkeit der Motoren bis zum Schluss bestehen.

2) *Farbsensor*: Am Farbsensor traten während der Entwicklung immer wieder Zuverlässigkeitsprobleme auf. Häufig handelte es sich dabei um die Erkennung leerer Felder oder um die Erkennung von Kugeln, die nicht optimal unter dem Sensor positioniert waren. Das zweite Problem könnte nur durch eine Verbesserung der Genauigkeit der Platte gelöst werden. Das erste Problem konnte gelöst werden, indem ein weißes Blatt Papier auf den Boden des Spielfeldes gelegt wurde. Die Farbe Weiß wurde eindeutig erkannt; weitere größere Probleme traten danach nicht mehr auf.

Ein anderes Problem ergab sich aus der Höhe des Farbsensors. Wird der Sensor zu hoch über dem Spielfeld angebracht, sinkt die Anzahl der korrekt erkannten Kugeln drastisch. Wird der Sensor zu weit unten angebracht, kann es zu einem Kontakt zwischen Spielfeld und Sensor kommen. Dadurch werden die Bewegungen des Arms und der Platte ungenau und die Erkennung beziehungsweise das Setzen der Kugeln funktioniert nicht mehr korrekt oder dauert deutlich länger. Ein Beispiel für eine sehr schnelle und gute Farberkennung zeigt ein Zwischenstand des Projektes auf Instagram [2]. Um

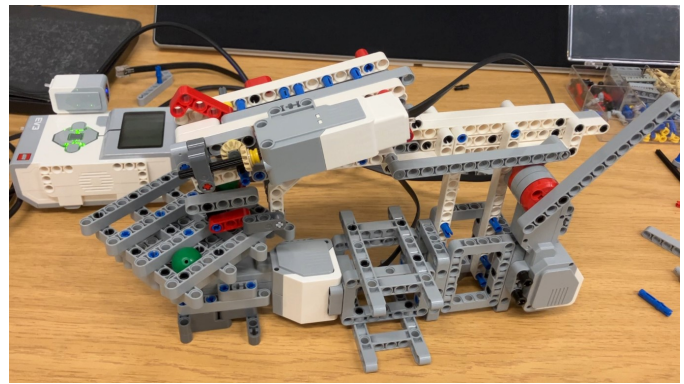


Abbildung 5. Alte Konstruktion des Kugelauswurfs. Mehrere Kugeln können gleichzeitig den Auswurf verlassen

eine möglichst gute geeignete Höhe zu finden, wurden an der Lauffläche zwischen Arm und Stützkonstruktion des Roboters zwei kleine verschiebbare Stifte angebracht, mit denen die Höhe variiert werden kann.

3) *Kugelaufwurf*: Bei der Konstruktion des Kugelauswurfes trat das Problem auf, dass zwei Kugeln gleichzeitig den Auswurf verließen. Versuche, dieses Problem durch eine schnellere Ansteuerung der Motoren zu lösen, schlugen fehl. Der Grund dafür war, dass nur ein L-Stück verwendet wurde, um die Kugeln am Verlassen des Kugellagers zu hindern. Dieses rote L-Stück ist in Abbildung 5 sehr gut zu erkennen. Die Konstruktion wurde ersetzt, so dass ein Auswerfen von mehreren Kugeln bereits mechanisch unmöglich war (siehe Abbildung 2). Am Ende bestand jedoch noch immer das Problem, dass sich manchmal Kugeln im Auswurfkanal verklemmten, da sie Unebenheiten auf der Kugeloberfläche aufwiesen. Komplette runde Kugeln wären hierfür eine geeignete Lösungsmöglichkeit.

V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Ziel des Projekts war es, einen Roboter zu bauen, gegen den ein Mensch Tic Tac Toe spielen kann. Dieses Ziel wurde erreicht. Wie bereits in der Ergebnisdiskussion erwähnt, gibt es noch viele Möglichkeiten, den Roboter weiterzuentwickeln. So wäre z. B. ein Programm denkbar, das erkennt, ob ein Spieler die Position einer Kugel nachträglich verändert hat. Dieses Programm könnte auch die Zuverlässigkeit des Kugelauswurfes überprüfen und daraus Maßnahmen für das Spiel ableiten.

LITERATURVERZEICHNIS

[1] NOPPER, Tobias: *Implementierung des MinMax-Algorithmus für Tic Tac Toe | Wie spielen Computer?* 2020 <https://www.youtube.com/watch?v=ODgPsXssUvk>
 [2] GRUPPENVORSTELLUNG2024: *k. T.* 2024 <https://www.instagram.com/gruppenvorstellung2024/reel/C3BOWyRNzey/>