

Autonom fahrender Aufklärungsroboter

Felix Alexander Kolodziej, Elektromobilität
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Abstract—Wir haben uns im Rahmen des Legopraktikums 2021 dem Thema der maschinellen Unterstützung in menschenfeindlichen Gefahrensituationen angenommen und uns dafür entschieden einen autonom fahrenden Aufklärungsroboter zu entwickeln, der in der realen Anwendung beispielsweise in einem eingestürzten Gebäude eingesetzt werden könnte. In dem folgenden Paper geht es um die Konstruktion und den programmier-technischen Hintergrund eines solchen Roboters, der in der Lage ist, nach der autonomen Absolvierung eines Parkours, eine Grundlage für eine Einsatzplanung in diesem unbekanntem Gebiet auszugeben und somit eine Koordination eines Einsatzes zu ermöglichen, ohne das sich zuvor ein Mensch dieser Gefahr aussetzen musste.

Schlagwörter—Aufklärungsroboter, autonomes Fahren, Bergung, Kettenfahrzeug, Lego-Mindstorms, NXT.

I. EINLEITUNG

Autonome Systeme begleiten heutzutage jeden im Alltag, ob es die automatisch regelnde Heizung ist oder die Jalousien, die sich runterfahren, wenn es dunkel wird. Vor Allem spielt diese neue Technologie eine große Rolle in der Fahrzeugentwicklung, von den ersten Einparkhilfen bis zu vollständig autonom fahrenden Autos. Diese Assistenzsysteme sind heutzutage nicht mehr wegzudenken. Allerdings können autonome Roboter nicht nur als Alltagsbereicherung eingesetzt werden. Es ist auch sinnvoll diese in Situationen anzuwenden, die für Menschen zu gefährlich wären. So würde ein autonom fahrender Bergungsroboter verhindern, dass Menschen sich in ein eingestürztes Gebäude begeben müssen, wobei sie in Lebensgefahr geraten könnten. Der autonome Roboter unterstützt hierbei den Menschen und verhindert, dass sich dieser einer Gefahrensituation aussetzen muss.

Das Ziel unseres Projektes war es eine entsprechende Gefahrensituation zu simulieren und einen Roboter zu entwickeln, der in der Lage ist einen Parkour autonom zu absolvieren und ortsfesten Hindernissen auszuweichen. Außerdem soll er in der Lage sein in dem Parkour Opferstellen und Gefahrenstellen zu erkennen und entsprechend darauf reagieren. Den Gefahrenstellen soll der Roboter ausweichen und bei Opferstellen soll der Roboter mit einem Ton reagieren. Im Anschluss sollte der Roboter dann eine Karte von dem Parkour erstellen, so dass man diesen im Nachhinein nachvollziehen kann.

II. VORBETRACHTUNGEN

A. Grundtypen von Bergungsrobotern

In der realen Anwendung von Bergungsrobotern unterscheidet man zwei Grundtypen. Zum einen Aufklärungsroboter die zur Aufklärung beschädigter bzw. einsturzgefährdeter Strukturen dienen. Dabei liegt der Fokus auf der Inspizierung der Umgebung, um ein Lagebild zu erstellen mit dem die Einsatzplanung und Koordination effektiv umgesetzt werden kann. Zum anderen gibt es die nächst anspruchsvollere Stufe, den Bergungsroboter. Dabei liegt der Fokus auf der Bergung von Opfern, also dem autonomen Transport von Verletzten aus dem Gefahrenbereich. Bei dieser Technologie arbeitet man mittlerweile an Robotern, die in der Lage sind direkt vor Ort erste Hilfe zu leisten, bevor die Bergung erfolgt. In dem Projekt wurde sich für die erste Anwendung, also für die Realisierung eines Aufklärungsroboters entschieden.

B. Umsetzung

Um die reale Anwendung für das Projekt zu realisieren soll sich der Roboter autonom durch den Parkour bewegen, dabei soll er sich immer an der rechten Wand orientieren um so letztendlich wieder am Start des Parkours anzukommen. Über Sensoren wird also die ganze Zeit der Abstand zu den entsprechenden Wänden bestimmt an denen sich orientiert wird. Entsprechend muss der Roboter dann auf diese Abstandswerte reagieren. Dabei soll der Roboter bei zu großen oder kleinen Werten seine Bewegung ausgleichen, in dem er sich auf der Stelle dreht. Dies realisieren wir, indem sich die beiden Räder, die die Ketten antreiben, mit der selben Leistung in verschiedene Richtungen drehen, solange bis der Abstandswert wieder vernünftig ist. Einen sehr kleinen Abstandswert soll der Roboter als Linksabiegung interpretieren und sich entsprechend drehen. Einen sehr großen Abstandswert soll der Roboter als Rechtsabiegung interpretieren, dabei reicht es nicht sich an der Wand zu orientieren, da er sonst dort verkantet, es ist also wichtig zuvor nochmal ein Stück nach vorne zu setzen. Um auf spezielle Stellen im Parkour zu reagieren arbeiten wir mit einem Farbsensor, der diese farbig gekennzeichneten Stellen erkennt und entsprechend eine Reaktion hervorruft.

C. Fuzzylogik

In der normalen Logik unterscheidet man zwischen zwei Zuständen, 0 als falsch und 1 als wahr. Diese beiden Fälle reichen allerdings nicht aus um eine autonome Bewältigung des Parkours umzusetzen, denn es könnte lediglich zwischen einer unpassenden Entfernung und einer passenden Entfernung unterschieden werden wobei der Roboter nicht weiß wie er auf die unpassende Entfernung reagieren soll, da diese sowohl zu weit als auch zu kurz sein könnte. Oder er erkennt nur ob er zu

weit oder zu kurz entfernt ist, dann wäre er allerdings ununterbrochen damit beschäftigt seine Position auszugleichen und hat keinen Modus, in dem die passende Entfernung zur Weiterfahrt erreicht wurde. Die Lösung für diese Problematik ist die Fuzzylogik, diese wurde zur Modellierung von Unschärfen entwickelt. Grundlage der Fuzzylogik sind dabei die unscharfen Mengen. Das sind Mengen, die nicht nur durch ihre Elemente definiert sind, sondern über den Grad ihrer Zugehörigkeit zu dieser Menge.

Über eine Zugehörigkeitsfunktion wird jedem Element der Definitionsmenge ein Wert aus dem Intervall $[0,1]$ zugeordnet, welcher den Zugehörigkeitsgrad des Elements zur unscharfen Menge angibt. Damit wird jedes Element zum Element jeder unscharfen Menge, aber mit jeweils unterschiedlichen, entsprechend zugeordneten Zugehörigkeitsgraden für die jeweilige Teilmenge. Verknüpft mit logischen Operationen ist man nun in der Lage, durch die Bildung von Schnittmengen und Vereinigungsmengen, nicht nur die logischen Ränder, sondern auch Zwischenwerte zu betrachten. Auf unser Beispiel bezogen kann man also nicht nur zu große oder zu kleine Abstände berücksichtigen, sondern auch entsprechend auf ein bisschen zu kurzen Abstand oder einen sehr kurzen Abstand angemessen und verschieden reagieren. Dies ist für die Absolvierung des Parkours sehr wichtig, da man unterscheiden muss ob gerade nur eine leichte Abweichung bei einer geraden Fahrt korrigiert werden soll oder eine Abbiegung erfolgen müsste. Wir unterscheiden später zwischen 5 verschiedenen Fällen. Der erste Fall tritt ein, wenn der Roboter stark zu weit nach rechts orientiert ist und erfordert eine entsprechend starke Linksdrehung. Der zweite Fall tritt ein, wenn der Roboter ein bisschen zu weit nach rechts orientiert ist und erfordert dabei nur eine leichte Linksdrehung. Der dritte Fall ist die anzustrebende Ausrichtung, dabei ist der Roboter weder zu weit nach links, noch nach rechts orientiert, sodass er einfach geradeaus fahren soll. Die anderen beiden Fälle entsprechen einer Orientierung die viel zu weit nach links ist oder nur ein bisschen zu weit nach links und entsprechend erfolgt analog zu Fall eins und zwei eine starke oder eine leichte Rechtsdrehung.

III. REALISIERUNG

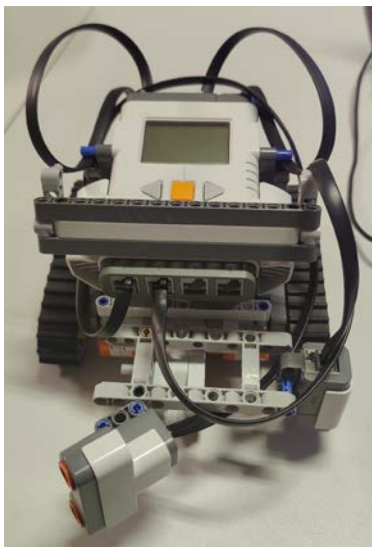


Abbildung 1: Aufbau des Aufklärungsroboters mit Sensoren

A. Aufbau

Das Grundgerüst besteht aus zwei verbundenen NXT-Motoren, auf denen der NXT-Stein befestigt wurde. Dabei war es wichtig, dass die Konstruktion stabil ist und keine wesentlich größere Fläche einnimmt, als der NXT-Stein, da so bei der Fahrt und bei der Drehung weniger Raum benötigt wird und der Roboter auch schmalere Stellen des Parkours absolvieren kann. Es wurde auch darauf geachtet die Kabel möglichst im Inneren oder direkt am Rand des NXT-Roboters langzuführen, sodass auch dadurch keine Behinderungen auftreten. Wie in Abbildung 1 erkennbar sind vorne an einem Gerüst die verwendeten Sensoren angebracht. Zum einen ein Ultraschallsensor, der im 45° Winkel nach vorne ausgerichtet ist und für die Abstandsmessung benötigt wird und ein Farbsensor, der unmittelbar vor der linken Kette angebracht wurde und nach unten gerichtet ist um dort Farbwerte zu erkennen. Oberhalb des NXT-Steins befindet sich eine Halterung, in der ein Smartphone zur Videoaufnahme befestigt werden kann. Der Antrieb des Roboters erfolgt über zwei Ketten, die jeweils an der vorderen Achse von einem NXT-Motor angetrieben werden. Dabei laufen die Motoren getrennt voneinander, sodass eine Drehung der beiden Ketten in jeweils verschiedene Richtungen möglich ist und sich der Roboter somit auf der Stelle drehen kann. Zudem ist ein Kettenfahrzeug in der Lage verschiedene Untergrundtypen zu befahren und auch kleinere Unebenheiten im Boden zu bewältigen.

B. autonomes Fahren

Die autonome Absolvierung eines Parkours durch unseren Roboter haben wir mit Hilfe des Ultraschallsensors realisiert. Dabei orientiert sich der Roboter grundsätzlich an der rechten Wand und soll mit Hilfe permanenter Abstandsmessung eine

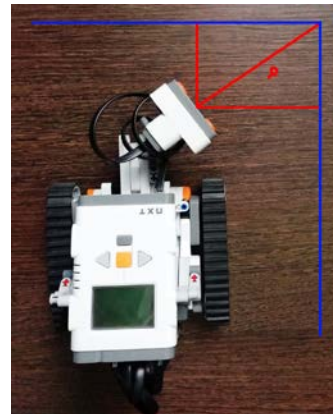


Abbildung 2: Ausrichtung des Ultraschallsensors

schräge Ausrichtung korrigieren. Diese tritt auf durch Abweichungen in den Bewegungen der Motoren und Ungenauigkeiten bei der Drehungen des Roboters. Durch eine Ausrichtung des Ultraschallsensors in einem 45° Winkel vor dem Fahrzeug, wie man in Abbildung 2 sehen kann, ist es möglich sowohl den Abstand zur rechten Wand, als auch den Abstand zu einer vorderen Wand zu bestimmen und entsprechend eine Kollision mit beiden zu verhindern. Ebenso ist dies wichtig, damit der notwendige Übergang zu einer neuen „Orientierungswand“ erfolgen kann. Denn bei dem Drehungsvorgang nach links ist nun die Wand, die vor dem Roboter liegt, die

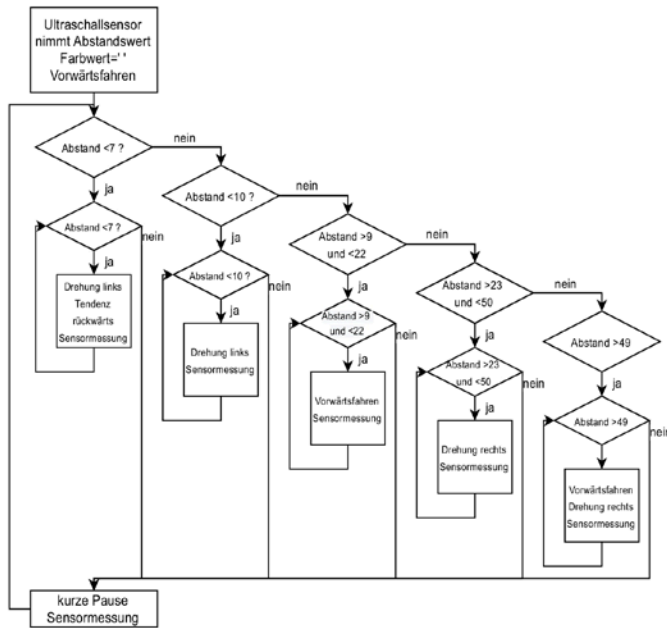


Abbildung 3: Ablaufplan der Fallunterscheidung für Abstandswerte

neue rechte Wand an der er sich bei seiner Ausrichtung orientieren soll. Somit kann der Roboter mit nur einem Ultraschallsensor Abbiegungen im Parkour bewältigen.

Durch die schon angesprochenen Ungenauigkeiten der Motoren ist es wichtig, dass sich der Roboter während der Fahrt neu ausrichtet. Dabei haben wir 5 Fälle eingeführt, die sich durch unterschiedliche Abstandswerte unterscheiden und eine entsprechende Reaktion des Roboters hervorrufen, sodass dieser mit der zuvor beschriebenen Fuzzylogik den Parkour autonom absolviert. Dabei entsprechen die logischen Ränder einer Ausrichtung zu weit links oder einer Ausrichtung zu weit rechts. In Abbildung 3 ist der entsprechende Programmablaufplan dargestellt. Mit Hilfe des Ultraschallsensors wird nach jedem Teilschritt ein Sensorwert aufgenommen, der den Abstand zu der entsprechenden Wand darstellt.

Der erste Fall tritt ein, wenn der Abstandswert kleiner als 7 ist, dieser Fall soll eine Kollision mit einer Wand frontal oder seitlich verhindern, also eine Orientierung, die zu weit nach rechts ist, ausgleichen. Der Roboter führt eine Linksdrehung durch bei der er sich leicht rückwärts bewegt, indem sich der linke Motor stärker dreht, solange bis der Abstand wieder größer als 7 ist, dabei entfernt er sich von der Wand, bleibt aber trotzdem bei einer Orientierung an der rechten Wand und vollführt, falls notwendig eine Drehung bei einer Abbiegung. Der zweite Fall tritt bei Abstandswerten kleiner als 10 auf, dieser dient der Korrektur von Abweichungen, bei denen der Roboter leicht zu weit nach rechts ausgerichtet ist, entsprechend erfolgt eine leichte Linksdrehung auf der Stelle, bis der optimale Abstand erreicht wird. Dieser wird durch den dritten Fall realisiert, bei einem Abstandswert zwischen 9 und 22 soll der Roboter geradeaus fahren, da dies einer ungefähr parallel zur Wand ausgerichteten Bewegung entspricht, welche angestrebt wird. Der vierte Fall tritt ein bei einem Abstand zwischen 23 und 50, was einer leicht zu großen Abweichung nach links entspricht. Entsprechend führt der Roboter eine leichte Rechtsdrehung auf der Stelle durch, bis der Abstand wieder im

optimalen Bereich liegt. Der fünfte Fall entspricht einer Orientierung, die stark zu weit nach links ist. Das tritt meistens bei Abbiegungen nach rechts auf, dabei soll der Roboter sich solange auf der Stelle nach rechts drehen, bis er wieder eine rechte Wand findet, an der er sich orientieren kann, allerdings war es notwendig, dass er zuerst ein Stück nach vorne setzt, damit er nicht an der Ecke verkanntet. Nach Abschluss des Vorgangs folgt er wieder der rechten Wand. Wie in Abbildung 3 erkennbar erfolgt in jeder Schleife nach jedem Zwischenschritt eine Sensormessung, sodass der Roboter so genau wie möglich auf seine aktuelle Situation reagieren kann und so den Parkour autonom absolviert.

C. Farberkennung

Der Roboter soll über die Absolvierung des Parkours hinaus auch bestimmte Stellen in dem Parkour erkennen und auf diese reagieren. Dabei soll zwischen roten und grünen Flächen unterschieden werden. Eine grüne Fläche stellt dabei eine Opferstelle dar, bei der ein bestimmter Ton von dem Roboter erzeugt wird. Eine rote Fläche stellt eine Gefahrenstelle dar, welche umfahren werden soll und bei der ein anderer Ton erzeugt wird. In Abbildung 4 sieht man den Programmablaufplan für diese Fallunterscheidung der Farbwerte. Jeder Fall der vorherigen Fallunterscheidung für die Abstandswerte wurde um diesen Programmteil ergänzt, sodass zu jedem Abstandswert auch ein Farbwert des Untergrundes aufgenommen wurde, auf den der Roboter gegebenenfalls reagiert.

Sollte der Farbsensor einen roten Untergrund feststellen beginnt der Roboter mit einer Linksdrehung. Dabei bewegt er sich auch leicht rückwärts um nicht auf die Gefahrenstelle zu fahren. Diese Rückwärtsbewegung wird realisiert, indem sich der linke Motor stärker dreht als der rechte Motor. Diese Linksdrehung hält solange an, bis der Farbwert nicht mehr rot ist, dann geht der Roboter wieder in den gewöhnlichen Modus über und orientiert sich an der Wand, was dazu führt, dass er sich wieder nach rechts dreht, bis wieder eine rote Fläche gescannt wird. Der Roboter arbeitet sich also durch Linksdrehungen, die in Folge der Farberkennung verursacht werden und Rechtsdrehungen, die in Folge der Abstandserkennung verursacht werden, an dem roten Hindernis vorbei, bis er dieses Überwunden hat und normal den Parkour weiter absolvieren kann.

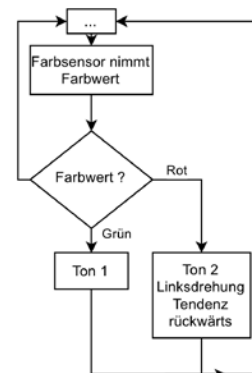


Abbildung 4: Ablaufplan der Reaktion auf farbige Stellen

D. Videobegleitung

In die Halterung, die oben auf dem NXT Stein angebracht wurde, kann nun eine Kamera oder Smartphone befestigt

werden, sodass die Fahrt durch den Parkour aufgezeichnet werden kann und man so den Parkour visuell und die speziellen Stellen audiovisuell nachvollziehen kann. Durch diese Aufnahme kann im Anschluss eine Einsatzplanung sehr koordiniert und spezifisch für den vorliegenden Parkour umgesetzt werden.

IV. ERGEBNISDISKUSSION

Am Ende unseres Projektes ist ein Kettenfahrzeug entstanden, welches sich fortbewegen kann und in der Lage ist sich auf der Stelle zu drehen. Der Roboter konnte einen Parkour autonom und flüssig bewältigen. Zudem werden Gefahrenstellen umfahren und man hört einen Ton, wenn diese erkannt werden. Auch Opferstellen können erkannt werden und der Roboter reagiert entsprechend mit einem anderen Ton. Wir waren zeitlich bedingt nicht mehr in der Lage näher auf die Erstellung einer Karte am Ende des Projektes einzugehen, allerdings ermöglichte uns die Erweiterung des Aufbaus um eine Kamera die Aufzeichnung der Fahrt, sodass der Parkour trotzdem audiovisuell nachvollzogen werden kann.

Während der Arbeit an dem Projekt sind einige Probleme aufgetreten, so gab es anfangs oft Ungenauigkeiten bei der Drehung des Roboters oder eine verzögerte Reaktion auf die Wände, sodass wir wieder auf eine Kabelverbindung umsteigen mussten, damit mehr Messwerte aufgenommen werden können und die Drehungen genauer absolviert werden können. Außerdem mussten wir auch den Parkour ein bisschen anpassen, da es an einigen Stellen Probleme bei der Absolvierung von rechten Winkeln gab, da über den Ultraschallsensor der Wechsel zu einer neuen Orientierungswand nicht gelungen ist. Dort reichte allerdings eine leichte Anschrägung der entsprechenden Wand. Zuletzt gab es dann ein Problem mit Streuwerten, die durch Ungenauigkeiten des Ultraschallsensors hervorgerufen wurden und zu einer fehlerhaften Reaktion des Roboters führen konnten, dieses Problem wurde allerdings gelöst in dem wir den Ultraschallsensor vertikal, statt horizontal an dem Roboter angebracht haben, sodass diese Streuwerte nichtmehr auftraten. Das größte Problem bei der Bewältigung des Projektes waren die Ungenauigkeiten der Motordrehung, sodass wir auch das Nachverfolgen des Roboters im Parkour und das erstellen einer Karte damit nicht realisieren konnten, da bei teilweise gleichen Motordrehzahlen eine unterschiedlich weite Drehung absolviert wurde, sodass ständig ein Ausgleich durch Sensorwerte erfolgen musste und ein Orientierung im Parkour nicht mehr möglich war.

V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Im Rahmen des Projektes wollten wir einen Roboter bauen, der in der Lage ist autonom einen Parkour zu bewältigen, spezielle Stellen darin zu erkennen und den Parkour auf einer Karte darzustellen, sodass mit der Ausgabe des Roboters ein Einsatz in dem unbekanntem Parkour geplant und bewältigt

werden kann. Es ist uns gelungen ein autonom fahrendes Kettenfahrzeug zu konstruieren, welches der praktischen Anwendung eines Aufklärungsroboters schon sehr nahe kommt. Durch die letztendlich entstehende Videoaufnahme des Parkours, mit entsprechender akustischer Begleitung an speziell zu erkennenden Stellen, bietet der Roboter auch eine Grundlage um in einer realen Anwendung einen Einsatz zu planen und koordinieren, da er einen guten ersten Überblick über einen unbekanntem Parkour bietet, ohne das ein Mensch sich der Gefahrensituation aussetzen muss. Natürlich funktioniert diese Anwendung nur für starke Vereinfachungen in einem Parkour und ist in der Form nicht nützlich in der realen Anwendung, da man dort nicht auf Farbwerte für Gefahrenstellen zurückgreifen kann und der Parkour sicherlich Stellen enthält, die unser Roboter nicht absolvieren kann.

Es bestehen einige Verbesserungsmöglichkeit, so hätte man das Projekt auch grundsätzlich über ein Tracking mit einer Webcam über dem Parkour umsetzen können und müsste so nicht auf Sensorwerte der Motoren zurückgreifen um sich zu orientieren, außerdem wäre auch die Verwendung von mehr als einem Ultraschallsensor sinnvoll um den Parkour flüssiger und besser absolvieren zu können ohne Probleme an entsprechenden Kanten zu haben. Eine mögliche Erweiterung unseres Konzeptes des Aufklärungsroboters wäre auch wie in der realen Anwendung die nächst höhere Stufe eines Bergungsroboters, der dann auch in der Lage ist mit Hilfe eines Greifarms Objekte aus dem Parkour zu ziehen. Das wäre natürlich deutlich praktischer in der realen Anwendung und würde verhindern, dass sich Menschen überhaupt in die Gefahrensituation begeben müssten.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Mathworks, Matlab <https://de.mathworks.com/products/matlab.html> – [Abgerufen am 2. März 2021]
- [2] Mathworks, RWTH Aachen - Mindstorms NXT Toolbox. <https://de.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/18646-rwth-mindstorms-nxt-toolbox> – [Abgerufen am 2. März 2021]
- [3] Wikipedia, the free encyclopedia: Fuzzylogik <https://de.wikipedia.org/wiki/Fuzzylogik#Fuzzy-Set-Theorie> – [Abgerufen am 3. März 2021]
- [4] google: Fachforum autonome Systeme <https://www.acatech.de/publikation/fachforum-autonome-systeme-chancen-und-risiken-fuer-wirtschaft-wissenschaft-und-gesellschaft-abschlussbericht/> – [Abgerufen am 3. März 2021]