

Stationärer Raumscanner mit Abstandssensoren

Steffen Bach, Elektrotechnik und Informationstechnik
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Zusammenfassung—Im Rahmen des LEGO-Mindstorms-Praktikums wurde das Scannen von Räumen und die Darstellung der dazugehörigen Grundrisse erforscht. Dazu wurde ein Roboter gebaut, der mit Hilfe von Ultraschall- und Lasersensoren eine 360° Abstandsmessung im Raum durchführt und die Messwerte durch Verwenden der Eulerschen Formel in einem Koordinatensystem darstellt. Dieses Funktionsprinzip hat viele Anwendungsmöglichkeiten und kann in einfachster Form beispielsweise einem Staubsaugerroboter bei der Orientierung im Raum helfen.

Schlagwörter—Grundriss, kabellos, Lasersensor, LEGO-Mindstorms, Raumscanner, Ultraschallsensor

I. EINLEITUNG

FÜR den Menschen ist die Fortbewegung im Raum und das Ausweichen vor Hindernissen, Wänden oder ähnlichem keine anspruchsvolle Fähigkeit, obwohl hierfür sehr komplexe Mechanismen benötigt werden. Die gesamte Komplexität offenbart sich erst, wenn man einem Roboter beibringen will, sich autonom fortzubewegen. Das primäre Problem ist es, dem Roboter ein Gefühl für den Raum und dessen Grundriss zu vermitteln. Ein Mensch erfasst den Grundriss eines Raumes durch seinen Sehsinn und seinen Tastsinn. In der Dunkelheit verlässt sich der Mensch auf den Tastsinn und tastet sich die Wand entlang, bis bei ihm ein grober Grundriss des Raumes entsteht. Das Gleiche kann auch ein Roboter, der mit Tastsensoren ausgestattet ist und die Wand entlangfährt. Bei ausreichendem Licht orientiert sich der Mensch mit seinem Sehsinn und kann den Grundriss eines Raumes von einer Position aus erkennen. Ein Roboter benötigt für diese Art der Grundrisserfassung einen Sensor, der den Abstand zu Objekten und Wänden messen kann. Dafür können Abstandssensoren mit Ultraschallwellen, elektromagnetischen Wellen oder Laserstrahlen genutzt werden. Die beiden letzten Messsensoren werden bei Radaren (Radiowave Detection And Ranging) und Lidaren (Light Detection And Ranging) eingesetzt. In diesem Projekt werden sowohl Ultraschall- als auch Lasersensoren zur Grundrisserfassung verwendet. Diese Technologie kann beispielsweise einem Staubsaugerroboter bei der Orientierung im Raum helfen oder im Bereich der Virtual Reality den virtuellen Raum auf den tatsächlichen Grundriss begrenzen und so Zusammenstöße mit Wänden vermeiden.

II. VORBETRACHTUNGEN

Solche Technologien zur Grundrisserfassung existieren bereits, aber haben auch ihre Nachteile.

A. Beispiel Staubsaugerroboter

Laut einem Staubsaugerroboter-Ratgeber [1] nutzen Staubsaugerroboter aus verschiedenen Preissegmenten sehr unterschiedliche Methoden zum Abfahren des gesamten Grundrisses. Die billigsten Modelle belassen es bei einer zufällig generierten Fahrtstrecke, die bestimmte Flächen mehrmals abfährt und bei verwinkelten Räumen in Eckbereichen endlos umherkreist. Dies ist zwar sehr ineffizient und zeitintensiv, aber dafür spart man sich weitere Sensoren und teure intelligente Software. Modelle im mittleren Preissegment fahren an der Wand entlang, speichern sich die Begrenzung und fahren dann innerhalb dieses Umrisses. Dies vermeidet ein Verirren des Roboters, aber die Hauptfläche des Raumes wird trotzdem in zufälligen Mustern abgefahren. Vereinzelt Modelle des höchsten Preissegments wie ein Modell der Marke Roborock [2] nutzen ein Lidar-System zur Erstellung des Grundrisses und zusätzlich intelligente Software, die die effizienteste Fahrtstrecke ermittelt. Klare Vorteile sind die Effizienz und die Zeitersparnis, aber wie bereits erwähnt, ist diese Technologie sehr kostenintensiv. Eine mögliche Lösung ist die Grundrisserfassung mit einem externen Raumscanner, der die Daten an die Software des Staubsaugerroboters weiterleitet und somit das Lidar-System im Roboter erspart.

B. Funktionsprinzip dieses Raumscanners

Der Raumscanner dieses Praktikums ist ein im Raum zentral stationierter Abstandssensor, der um seine eigene Achse gedreht wird. In Abbildung 1 sieht man, wie die Messwerte durch Rotation nacheinander aufgenommen werden. Der Abstand zu den Objekten wird aus der Hin- und Rückflugzeit der ausgesendeten Ultraschallwellen berechnet. Der verbaute Ultraschallsensor der Marke LEGO-Mindstorms misst laut dem Datenblatt im Bereich von 0 cm bis 255 cm mit einer Messgenauigkeit von ± 3 cm. Daraus ergibt sich für den Raum eine Limitation, da die Wände nicht weiter als 255 cm vom Raumscanner entfernt sein dürfen.

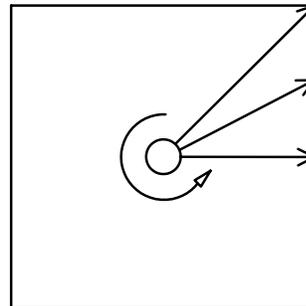


Abbildung 1. Messvorgang mit zentral stationiertem Scanner

III. ENTWICKLUNGSPROZESS

Der Entwicklungsprozess gliedert sich in mehrere Abschnitte, die hier sinnvoll abgetrennt und chronologisch dargestellt werden.

A. Roboteraufbau

Der Roboter wurde mit einem Ultraschallsensor ausgestattet, der auf einer Drehplattform stationiert ist. Ein LEGO-Motor dreht diesen Sensor 360° um seine Achse. Diese Motoren haben eine Drehgenauigkeit von $\pm 1^\circ$ und durch eine eingebaute Zahnradübersetzung von 7:1 wurde diese Abweichung auf ein Siebtel, also $\pm 0,15^\circ$ reduziert. Durch die Biegsamkeit der einzelnen Bauteile ist aber von einer geringeren Genauigkeit auszugehen.

B. User Interface

Zur Steuerung des Roboters und dem Aufnehmen der Messdaten wurde mit dem in MATLAB eingebauten App-Designer ein User Interface entwickelt, welches folgende Aufgaben übernimmt:

- Initialisierung und Deinitialisierung des NXT-Steins
- Rotation des Ultraschallsensors mit Gradeingabe
- Scannen der Umgebung mit eingegebener Anzahl an Messpunkten
- Verarbeitung und Ausgabe der Messpunkte im Koordinatensystem

C. Aufnahme der Messdaten

Das in der User Interface eingebaute Programm erstellt aus der vom Nutzer eingegebenen Anzahl an Messpunkten zwei Vektoren dieser Länge. Die zwei Vektoren werden benötigt, da die Messpunkte in der Eulerschen Formel mit Winkel und dazugehörigem Betrag aufgenommen werden. Im ersten Vektor werden die Winkel im Bereich von 0 bis $2\cdot\pi$ mit gleichem Abstand eingetragen. Anschließend dreht der Motor den Ultraschallsensor um 360° gegen den Uhrzeigersinn und stoppt bei jedem Winkel, der im Winkelvektor eingetragen wurde. Während der Stopps misst der Ultraschallsensor den Abstand zur nächstliegenden Wand und das Programm speichert den Messwert im Betragsvektor zum entsprechenden Winkel.

D. Darstellung im Koordinatensystem

Zur Darstellung der Messdaten im Koordinatensystem wird der Betragsvektor und der Winkelvektor elementweise in die Eulersche Formel gebracht und geplottet. Die Verzerrung der Darstellung lässt sich durch eine einheitliche Achseneinteilung beider Achsen vermeiden. Die Ausgabe der ersten Messung kann man in Abbildung 2 sehen.

E. Auswertung der Ultraschallmessung

Wie die Abbildung 2 vermuten lässt, war der Grundriss des Raumes während der Messung ein gleichseitiges Dreieck. Aus der Abbildung 2 geht allerdings nicht hervor, dass die Wände geradlinig und die Ecken lückenlos waren. Somit ergeben sich bei der Ultraschallmessung zwei signifikante

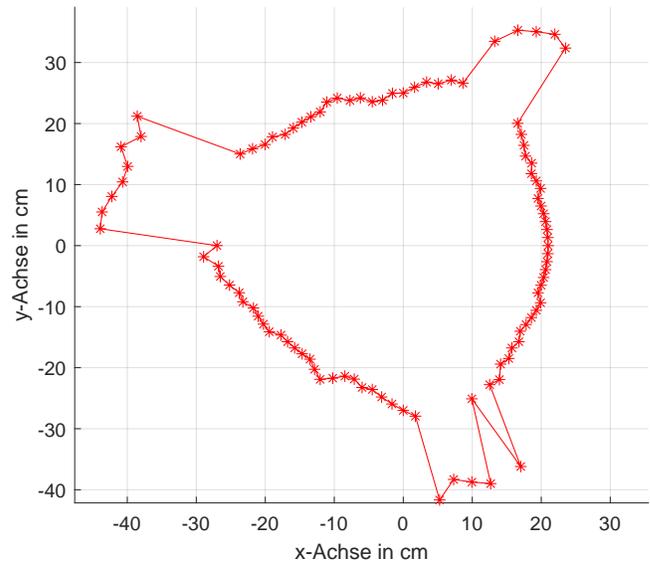


Abbildung 2. Messung mit Ultraschallsensor, gleichseitiges Dreieck als Grundriss

Probleme. Das erste Problem ist das seltsame Verhalten der Messwerte in Ecken, welches wir durch den sehr flachen Einfallswinkel der Ultraschallwellen erklären. Außerdem könnte die Interferenz von reflektierten Ultraschallwellen ein Grund für dieses Verhalten sein. Das zweite Problem ist die starke Wandkrümmung. Zum leichteren Verständnis der Ursache dient die Abbildung 3. Dort kann man nachvollziehen, dass der Ultraschallsensor durch die breite Schallkeule bei schräg stehenden Wänden eine kürzere Entfernung misst, als beabsichtigt. Konkret in Abbildung 3 ist der Betrag des schwarzen Pfeils gesucht und als Messwert wird der Betrag des roten Pfeils zurückgegeben. Diese Verkürzung von Abständen führt zu einer Krümmung, die mit flacherem Einfallswinkel verstärkt wird. Zur Behebung der Probleme wurde der Ultraschallsensor durch einen Lasersensor ersetzt.

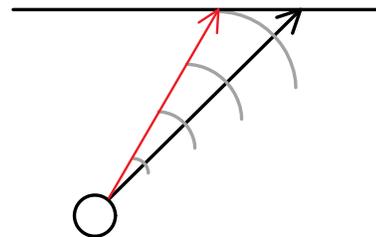


Abbildung 3. Messungenauigkeit aufgrund von breiter Schallkeule, Wandkrümmung als Folge

F. Problemlösung durch Lasersensor

Ein Lasersensor funktioniert auf einem ähnlichen Prinzip wie ein Ultraschallsensor. Statt Ultraschallwellen werden aber Photonen ausgesendet und aus deren Hin- und Rückflugzeit der Abstand zu Objekten berechnet. Der verwendete Lasersensor der Marke CQRobot [3] misst im Bereich von 4 cm bis 400 cm mit einer Genauigkeit von $\pm 5\%$. Der wesentliche

Vorteil gegenüber dem Ultraschallsensor ist eine deutlich kleinere Messkeule, wodurch das Problem der Wandkrümmung gelöst werden sollte. Allerdings ergibt sich ein neues Problem aus der Verwendung des Lasersensors, denn die Messwerte lassen sich nicht so einfach in MATLAB importieren. Als Schnittstelle dient hier ein Mikrocontroller (Modell: ESP8266), der mithilfe eines Arduino Programms die Messwerte des Lasersensors abrufen und an MATLAB weiterleitet. Der bereits in Abbildung 2 vermessene Grundriss wurde mit dem Lasersensor erneut vermessen. Die Ausgabe kann man in Abbildung 4 sehen. Es lässt sich eine klare Verbesserung erkennen, da die Wände sehr geradlinig abgebildet werden und die Messpunkte in den Ecken nicht ausbrechen. Das Problem mit dem sehr flachen Einfallswinkel in den Ecken lässt sich, aber selbst mit dem Lasersensor nicht vollkommen lösen und verbleibt als Abrundung.

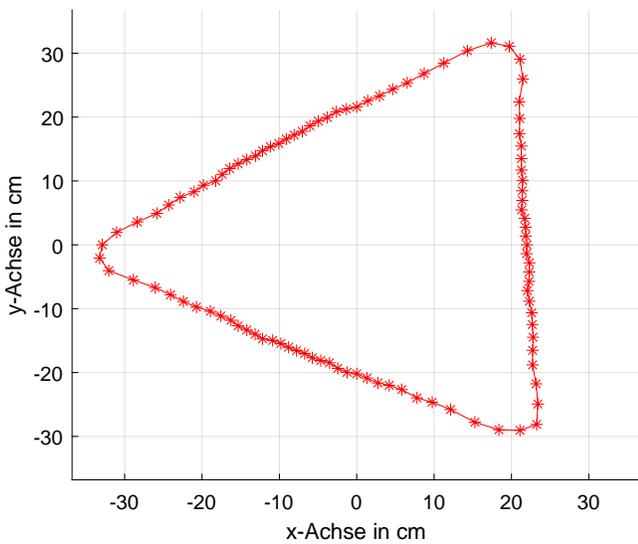


Abbildung 4. Messung mit Lasersensor, gleichseitiges Dreieck als Grundriss

G. Ausbaumöglichkeiten

Bis hierhin wurde die Vermessung eines Raumes nur durch eine Messstation betrachtet. Natürlich kann die Vermessung mit weiteren Messstationen ausgebaut werden. In Abbildung 5 sieht man eine beispielhafte Vermessung mit zwei Messstationen. Die erste Messstation stellt ihre Messpunkte wie gewohnt im Koordinatensystem dar und alle Messpunkte der zweiten Messstation werden um die Entfernung zur ersten Messstation verschoben. Die in Abbildung 5 gelb dargestellten Messpunkte liegen außerhalb des Messbereichs und werden daher gelöscht. Die in Rot dargestellten Messpunkte entsprechen in der Realität nur einem Punkt und werden daher zu einem mittig liegenden Punkt zusammengefasst. Die ursprünglichen Punkte werden gelöscht. Dies führt zu einer höheren Messgenauigkeit im Schnittbereich beider Messstationen und zum Ausweiten des maximal messbaren Raumes. Am besten lässt sich eine solche Vermessung durch einen mobilen Roboter realisieren, der von einer Position zur nächsten Position selbstständig fährt und den gefahrenen Weg zu all seinen Messpunkten hinzurechnet.

Voraussetzung hierfür ist eine kabellose Ansteuerung des Roboters, die in unserem Fall durch einen Raspberry Pi Zero WH [4] realisiert wurde. Auf dem Raspberry Pi läuft ein Server, der über das WLAN mit der Computersoftware VirtualHere kommuniziert. Im Prinzip überträgt diese Schnittstelle nur Daten von einem USB-Port zu einem anderen USB-Port über das WLAN.

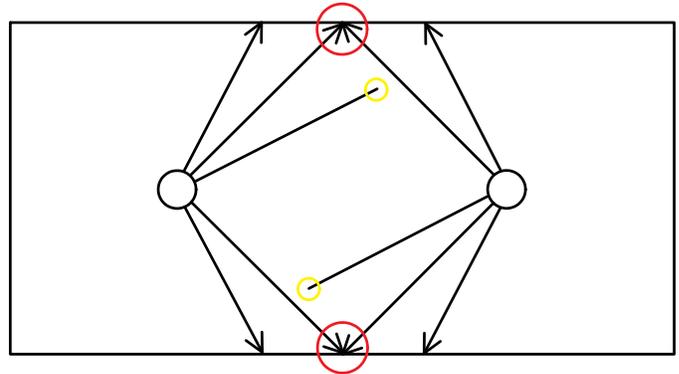


Abbildung 5. Messvorgang mit zwei Messstationen

IV. ERGEBNISDISKUSSION

Das Endergebnis dieses Projektes, welches in Abbildung 6 zu sehen ist, ist ein stationärer Raumscanner, der mit Hilfe eines Lasersensors einen Raum vermessen und dessen Grundriss in einem Koordinatensystem darstellen kann. Die Messung ist durch den Lasersensor ziemlich genau und sogar bei glatten durchsichtigen Objekten wie Fenstern funktionsfähig. Nur das Messverhalten mit Spiegeln wurde nicht überprüft. Der Raumscanner wird über eine Powerbank mit Strom versorgt und lässt sich komplett kabellos vom Computer über eine MATLAB-App steuern.

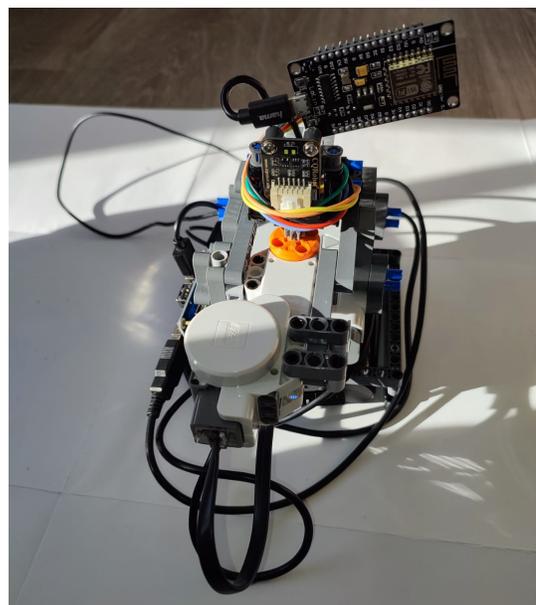


Abbildung 6. Raumscanner mit Lasersensor und kabelloser Ansteuerung

V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Das Ziel des Projektes war es, einen Roboter zu bauen, der einen Raum einscannen und den entsprechenden Grundriss darstellen kann. Die Umsetzung dieses Roboters ist für eine Messstation gelungen. Beim Scannen von Räumen ohne Möblierung ließ sich nur das Problem mit der Abrundung spitzwinkliger Ecken erkennen. Das Scannen von möblierten Räumen wurde nicht ausreichend getestet. Außerdem wurden einige Grundlagen für zukünftige Projekte mit mehreren Messstationen erarbeitet. Dazu zählen eine kabellose Ansteuerung des Roboters und ein Prinzip zur Punktüberlagerung. Es fehlt ein fahrbarer Untersatz mit Messung der gefahrenen Strecke und die autonome Auswahl einer angemessenen Position für eine weitere Messstation. Eventuell lässt sich auch die Dauer der Scans minimieren, sodass man sich bewegende Objekte in Echtzeit im Koordinatensystem darstellen kann.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] FRANK BRALL: *Orientierung und Fahrstrategien*. <https://www.aku-und-roboter-staubsauger.de/ratgeber/orientierung-im-raum/>. Version: 2015
- [2] ROBOROCK: *Roborock S6-Reihe*. <https://www.aku-und-roboter-staubsauger.de/ratgeber/orientierung-im-raum/>. Version: 2020
- [3] CQROBOT: *Time-of-Flight (ToF) Long Distance Ranging Sensor*. https://www.cqrobot.com/index.php?route=product/product&product_id=1110. Version: 2019
- [4] BERRYBASE: *Raspberry Pi Zero WH*. <https://www.berrybase.de/raspberry-pi/raspberry-pi-computer/boards/raspberry-pi-zero-wh>. Version: 2018