

Weiterentwicklung eines selbstfahrenden Fahrzeuges mit Lidar und anderen Sensoren

Studienarbeit

über die ersten drei Quartale des 3. Studienjahres

an der Fakultät für Technik
im Studiengang Informationstechnik

an der DHBW Ravensburg
Campus Friedrichshafen

von

Justin Serrer - 5577068 - TIT21
Timo Waibel - 8161449 - TIT21
Janik Frick - 4268671 - TIT21

Sperrvermerk

gemäß Ziffer 1.1.13 der Anlage 1 zu §§ 3, 4 und 5 der Studien- und Prüfungsordnung für die Bachelorstudiengänge im Studienbereich Technik der Dualen Hochschule Baden-Württemberg vom 29.09.2017 in der Fassung vom 25.07.2018.

„Der Inhalt dieser Arbeit darf weder als Ganzes noch in Auszügen Personen außerhalb des Prüfungsprozesses und des Evaluationsverfahrens zugänglich gemacht werden, sofern keine anders lautende Genehmigung vom Dualen Partner vorliegt.“

Ort, Datum

Unterschrift

Selbständigkeitserklärung

gemäß Ziffer 1.1.13 der Anlage 1 zu §§ 3, 4 und 5 der Studien- und Prüfungsordnung für die Bachelorstudiengänge im Studienbereich Technik der Dualen Hochschule Baden-Württemberg vom 29.09.2017 in der Fassung vom 25.07.2018.

Ich versichere hiermit, dass ich meine Hausarbeit mit dem Thema

Weiterentwicklung eines selbstfahrenden Fahrzeuges mit Lidar und anderen Sensoren

selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich versichere zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

Ort, Datum

Unterschrift

Gender-Erklärung

Das in dieser Arbeit gewählte generische Maskulinum bezieht sich zugleich auf die männliche, die weibliche und andere Geschlechteridentitäten. Zur besseren Lesbarkeit wird auf die Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Alle Geschlechteridentitäten werden ausdrücklich mitgemeint, soweit die Aussagen dies erfordern.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Selbständigkeitserklärung | I |
| Gender-Erklärung | II |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Problemstellung, Ziel und Umsetzung | 1 |
| 2.1 Problemstellung | 1 |
| 2.2 Ziel | 2 |
| 2.2.1 Rahmenbedingung | 2 |
| 2.3 Umsetzung | 3 |
| 3 Überblick Hardware und Software | 5 |
| 3.1 Hardware | 5 |
| 3.2 Software | 5 |
| 3.3 Technologie-Entscheidung | 6 |
| 4 Systemvoraussetzungen und Einschränkungen | 7 |
| 4.1 Umweltvoraussetzungen | 7 |
| 4.2 Einschränkungen | 8 |
| 5 SLAM | 9 |
| 5.1 Was ist SLAM? | 9 |
| 5.1.1 Mathematische Betrachtung | 9 |
| 5.2 Mapping | 9 |
| 5.3 Lokalisierung | 9 |
| 5.3.1 Global Positioning System (GPS) | 9 |
| 5.3.2 Eigenes GPS | 10 |
| 5.3.3 Unabhängige Ortungsverfahren | 10 |
| 6 Simulation des Ausweichalgorithmus | 11 |
| 6.1 Was ist eine Simulation? | 11 |
| 6.2 Simulation im Kontext eines Ausweichalgorithmus | 11 |
| 6.3 Aufbau der Simulation | 12 |
| 6.3.1 Kritische Funktionalitäten | 13 |
| 6.3.2 Prüfung der kritischen Funktionalitäten | 14 |
| 6.3.3 Auswertung der Prüfung | 15 |

| | | |
|----------|--------------------------------------|-----------|
| 7 | Implementierung | 16 |
| 7.1 | Aufbau der Implementierung | 16 |
| 7.1.1 | Core-Projekt | 16 |
| 7.1.2 | Simulation-Projekt | 16 |
| 7.1.3 | Lidar-Projekt | 16 |
| 8 | Fazit | 17 |
| A | Anhang | 18 |
| | Literatur | 19 |

Abkürzungsverzeichnis

GPIO general-purpose input/output

LiDAR Light Detection and Ranging

ROS Robot Operating System

SLAM Simultaneous Localization and Mapping

GPS Global Positioning System

Abbildungsverzeichnis

Listings

1 Einleitung

Die Automatisierung im Straßenverkehr befindet sich in stetigem Wachstum, wobei selbstfahrende Fahrzeuge zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Auch im Bereich der Modell-Autos und Roboter ist Automatisierung eine präsentes Thema.

Zwar ist die Umsetzung eines selbstfahrenden Modell-Autos oder Roboters, aufgrund der vorhersehbareren und weniger komplexen Umgebung, einfacher als die Umsetzung eines selbstfahrenden PKW, jedoch stellt sie trotzdem eine Herausforderung dar.

2 Problemstellung, Ziel und Umsetzung

In diesem Abschnitt wird auf die Problemstellung, das generelle Ziel und die geplante Umsetzung der Arbeit eingegangen. Des weiteren wird Erläutert, weshalb das Ziel der Arbeit wichtig ist, wie die Arbeit aufgebaut ist und welche Probleme und Schwierigkeiten durch bereits getätigte Versuche einer Umsetzung des Arbeits-Ziels bereits bekannt sind.

2.1 Problemstellung

Bisherige Versuche, ein selbstfahrendes Auto, im Rahmen einer Studienarbeit zu entwerfen und einen entsprechenden Algorithmus zu programmieren, sind gescheitert. Die beiden Hauptprobleme der bisherigen Arbeiten, war zum Einen der Bau eines geeigneten Fahrzeugs und zum Anderen die Entwicklung einer Software, welche es dem Auto ermöglicht, ohne manuelle Steuerung, Hindernisse zu erkennen und um diese herum zu navigieren. Da es sich bei den Studenten der bisherigen Gruppen ausschließlich um Studenten mit einem Schwerpunkt in Elektrotechnik handelte, war die Entwicklung und Implementierung der Software zum autonomen Fahren die größere Herausforderung.

Da keine der bisherigen Gruppen, das Problem der Software lösen konnte, wurde sich dazu entschieden, die Aufgaben aufzuteilen. Die Aufgabe, der Erstellung eines funktionsfähigen Modell-Autos und einer Schnittstelle, zur Steuerung des Autos, wurde einer Gruppe von Studenten mit einem Schwerpunkt in Elektrotechnik zugeteilt. Somit ist das Hauptproblem dieser Arbeit, die Entwicklung und Implementierung eines Ausweichalgorithmus, welcher das Auto, über die, von der anderen Gruppe zur Verfügung gestellten Schnittstelle, steuern soll und so eine autonome Hindernis-Detektierung und Vermeidung ermöglicht.

Da die Aufgabe auf mehrere Gruppen aufgeteilt wurde, ist ein weiteres Problem die Kommunikation zwischen den Gruppen. Um einen reibungslosen und effizienten Ablauf gewährleisten zu können, sollte diese möglichst umfangreich sein.

Durch die Aufteilung auf verschiedene Gruppen entsteht zusätzlich das Problem, dass die Hardware nur eingeschränkt verfügbar ist. Da die Gruppe, welche den Hardware-Teil der Aufgabe übernimmt, diese erst bauen und anschließend auch testen muss, ist die Hardware, vor allem zu Beginn der Arbeit, kaum verfügbar. Daher ist zur Entwicklung der Software, eine Abstrahierung der Hardware notwendig. Konkret bedeutet das, dass die Schnittstelle zur Steuerung, sowie die Daten der Sensoren simuliert werden müssen, um ein Testen des Algorithmus auch ohne Verfügbarkeit der Hardware zu ermöglichen.

2.2 Ziel

Das Hauptziel der Arbeit ist die Entwicklung und Implementierung eines Algorithmus für ein Modell-Auto. Dieser soll mit Hilfe der Daten diverser Sensoren, Hindernisse erkennen und das Auto, unter Verwendung einer bereitgestellten Schnittstelle, um die Hindernisse herum navigieren. Hierbei werden Zielkoordinaten an das Fahrzeug übermittelt. Diese sollen vollständig autonom von dem Fahrzeug angefahren werden.

Da der Hardware-Teil der Arbeit von einer anderen Gruppe an Studenten übernommen wird, ist es notwendig, die Hardware zu abstrahieren um so ein Testen des Algorithmus möglich zu machen. Somit ist das Entwickeln einer solchen Simulation der Hardware ein weiteres Ziel der Arbeit.

2.3 Umsetzung

Um eine umfangreiche Kommunikation zwischen den Gruppen zu ermöglichen, müssen Kommunikationswege so früh wie möglich erstellt werden. Des weiteren sollten Termine für regelmäßige Meetings festgelegt werden, um einen konstanten Austausch von Informationen zwischen den Gruppen zu gewährleisten.

Zur Umsetzung der Aufgabe selbst, stehen, neben einem RPLiDAR A1M8-R6 der Firma Slamtec, auch weitere Sensoren, wie Ultraschall-, Lenkwinkel- und Geschwindigkeits-Sensoren, sowie ein Raspberry PI 4 zur Verfügung. Bevor die eigentliche Arbeit an einem Algorithmus beginnen kann, muss die gegebene Hardware getestet werden. Zudem ist es, um das weitere Vorgehen planen zu können, notwendig, sich mit der Hardware vertraut zu machen. Zu wissen, welche Daten von den Sensoren, wann gesendet werden, ermöglicht

es, präziser zu planen, wodurch die Entwicklung des Algorithmus effizienter wird.

Nachdem verstanden wurde, wie die Hardware funktioniert, muss eine Möglichkeit, diese zu simulieren, entwickelt werden. Hierbei ist es wichtig, die, für den Algorithmus notwendige Hardware, so genau wie möglich zu simulieren. Je genauer die Simulation ist, desto unwahrscheinlicher treten Probleme bei der Zusammenführung von Hard- und Software auf.

Die Simulation dient jedoch nur zum testen des Algorithmus. Im späteren Betrieb sollen, anstelle der Daten der Simulation, die Daten der vorhandenen Sensorik verwendet werden. Hierzu ist die Entwicklung eines Interface, durch welches mit der Sensorik kommuniziert werden kann, notwendig.

Nachdem nun realitätsnahe, simulierte Daten, sowie echte Daten, eingelesen werden können, kann die Umsetzung eines Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)-Algorithmus begonnen werden. Hierzu muss eine Möglichkeit entwickelt werden, mit der die vorhandenen Daten zur Erstellung einer Karte genutzt werden können. Des Weiteren muss das Auto innerhalb der Karte lokalisiert werden können.

Als Nächstes muss der Ausweich-Algorithmus entwickelt werden. Dieser muss in der Lage sein, die vorhandenen Daten zu nutzen und so das Auto um Hindernisse herum zu einem gewünschten Zielort zu navigieren.

Abschließend wird die Hardware und die Software vereint und getestet.

3 Überblick Hardware und Software

In diesem Kapitel wird die Hardware und Software beschrieben, welche zur Bearbeitung der Studienarbeit zur Verfügung stehen. Zusätzlich wird die Technologie-Entscheidung erläutert und begründet.

3.1 Hardware

Dieser Abschnitt beschreibt die Hardware, welche für die Entwicklung des Ausweichalgorithmus relevant ist.

1. Raspberry Pi 4 Model B

Der Raspberry Pi 4 ist ein single-board-computer, welcher im Jahr 2019 auf dem Markt erschien. Er besitzt eine ARM-basierte 64-bit CPU, welche mit 1.5GHz getaktet ist. Das Modell, welches im Rahmen unserer Studienarbeit genutzt wird, besitzt 8GB Arbeitsspeicher. Außerdem verfügt der Raspberry Pi 4 über 40 general-purpose input/output (GPIO) Pins, welche zur Kommunikation mit den Sensoren und der Steuerungsschnittstelle genutzt werden können. [7]

2. Slamtec RPLiDAR A1M8-R6

Der RPLiDAR A1M8-R6 von Slamtec ist ein zweidimensionaler Laser-Scanner, welcher mittels Light Detection and Ranging (LiDAR), ein 360° Scan der Umgebung erstellen kann. [9, p. 3] Er hat eine effektive Reichweite von 0.15 bis 12 Meter und bei einer Scan-Rate von 5.5 Scans pro Sekunde, sowie eine Scan-Frequenz von 8000 Hz, eine Auflösung von weniger als einem Grad. [9, p. 8]

3. Weitere Sensoren

Da der LiDAR-Sensor nur zweidimensionale Scans macht, können Hindernisse, welche kleiner wie die Scan-Höhe des LiDAR sind, von diesem nicht erfasst werden. Daher sind weitere Sensoren, wie z.B. Ultraschall-Sensoren notwendig, um auch niedrige Hindernisse erkennen zu können. Außerdem wäre eine Sensor zur Bestimmung des aktuellen Lenkwinkels und ein weiterer Sensor zum Bestimmen der aktuellen Geschwindigkeit sinnvoll. Die Daten dieser Sensoren könnten bei der Ermittlung der Position im Raum von Nutzen sein.

3.2 Software

In diesem Abschnitt wird auf die Software eingegangen, welche zur Entwicklung des Algorithmus zur Verfügung steht.

1. Robot Operating System (ROS)

ROS ist eine Ansammlung von Werkzeugen und Bibliotheken, wie Treiber und Algorithmen, welche bei der Entwicklung von Roboter-Anwendungen helfen sollen. Hierbei ist ROS vollständig Open-Source und bietet zudem eine ausführliche Dokumentation, Foren und eine große Community. [8] Des Weiteren bietet Slamtec, der Hersteller des zur Verfügung stehenden LiDAR-Sensors, eine Bibliothek, zur Nutzung des LiDAR-Sensors, in Kombination mit verschiedenen Versionen des ROS an. [3]

2. Slamtec RPLiDAR Public SDK

Slamtec bietet, neben der ROS-Bibliothek, auch eine öffentlich zugängliche SDK für sämtliche RPLiDAR-Produkte an. Die SDK ist in C++ geschrieben und unter der BSD 2-clause Lizenz lizenziert. [4]

3. Slamtec RPLiDAR SDK Python-Ports

Die Slamtec RPLidar Sensoren sind, aufgrund des erschwinglichen Preises, vor allem bei Einsteigern sehr beliebt. Auch die Programmiersprache Python ist in den letzten Jahren immer beliebter geworden. Da Slamtec selbst keine Python-SDK anbietet, entstanden über die Jahre diverse Ports der C++ SDK.

3.3 Technologie-Entscheidung

Dieser Abschnitt erläutert die Entscheidungen für die diversen Technologien, welche zur Bearbeitung des praktischen Teils der Arbeit gewählt wurden.

Hardware Die Auswahlmöglichkeiten der Hardware sind sehr beschränkt. Da die notwendigen Berechnungen einiges an Leistung benötigen, wird sich für das leistungsstärkste, verfügbare Modell des Raspberry Pi entschieden. Der Raspberry Pi 4 Model B bietet neben einer 64-bit CPU mit ausreichender Leistung, auch 8 GB Arbeitsspeicher und einen Formfaktor der klein genug ist, um eine Integration in das Fahrzeug zu ermöglichen. Zusätzlich bietet er ausreichend Schnittstellen um mit den diversen Sensoren und Motoren kommunizieren zu können.

Als Hauptsensor für das Messen der Umgebung steht nur der RPLiDAR A1M8-R6 von Slamtec zur Verfügung. Weitere Sensorik soll zwar auf dem Auto verbaut werden, jedoch erstmal nicht von der Software berücksichtigt werden. Der Grund hierfür ist der Zeitpunkt, zu dem die Sensorik verbaut werden kann. Die Verarbeitung der Daten des LiDAR kann ohne Auto oder per Simulation getestet werden, wohingegen es bei der anderen Sensorik sehr stark auf die Integration in dem Fahrzeug ankommt. Da diese jedoch erst

zum Schluss in dem Fahrzeug verbaut werden, wäre eine Software-Integration dieser Sensorik nur schwer rechtzeitig umzusetzen.

Software Maßgeblich verantwortlich für die Auswahl der Programmiersprache, ist die Auswahl der Software, welche verwendet wird um den LiDAR anzusteuern.

Die eine Möglichkeit, wäre das nutzen des offiziellen Slamtec RPLiDAR ROS-Paket. Bei ROS handelt es sich jedoch um eine sehr umfangreiche Software. Diese kommt mit vielen, für die Studienarbeit nicht relevanten, Komponenten daher. Des Weiteren benötigt ROS ein anderes, nicht für den Raspberry Pi optimiertes, Betriebssystem wie Ubuntu. Das hat zu Folge, das weitere Ressourcen für das Betriebssystem benötigt werden und nicht für die notwendigen Berechnungen zur Verfügung stehen.

Die Alternative zur Verwendung von ROS, ist das nutzen einer SDK. Die Python-Ports der SDK sind alle schon einige Jahre alt und haben teilweise keine wirklich übersichtliche Struktur. Die offizielle C++ SDK hingegen wird immernoch regelmäßige geupdated und bietet eine umfangreiche Dokumentation sowie einige Beispielprogramme.

Um die begrenzt vorhandenen Ressourcen des Raspberry Pi optimal nutzen zu können, ist daher die Nutzung der C++ SDK und einem entsprechenden Interface die beste Lösung. Da die SDK in C++ geschrieben ist, macht es Sinn, die restliche Software ebenfalls in C++ zu implementieren. Zusätzlich verbessert die Nutzung einer kompilierten Programmiersprache wie C++ die Laufzeit der Software was die Reaktionszeit des Autos verbessert.

4 Systemvoraussetzungen und Einschränkungen

In diesem Kapitel wird definiert welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, um eine korrekte Funktion der Software sicherzustellen. Die Algorithmik für die Ortung des Fahrzeuges befindet sich in einem frühen Entwicklungsstadium. Aus diesem Grund müssen einige Bedingungen eingehalten werden.

4.1 Umweltvoraussetzungen

In diesem Abschnitt werden die Voraussetzungen an das Einsatzgebiet des Autos definiert.

1. statische Umgebung

Das Fahrzeug darf nur in einer statischen Umgebung autonom gefahren werden. Die Objekte in der Umgebung dürfen während der Fahrt nicht bewegt werden. Grund dafür ist, dass nicht bekannt ist, wie sich eine dynamische Umgebung auf die Präzision der Lokalisierungsalgorithmik auswirkt.

2. Abstände von Hindernissen

Laut Datenblatt [9] liegen die Distanzen die der Sensor erfassen kann, zwischen 0.15 - 12 Metern. Um die eine Versorgung mit validen Daten sicherzustellen, muss die Umgebung so gebaut sein, dass zu jedem Moment von mindestens drei Seiten Objekte in einem Umkreis von maximal 10 Metern vorhanden sind, so dass der Lidar ausreichend viele, korrekt Werte liefert. Hintergrund der Beschränkung sind ebenfalls die unbekannten Auswirkungen auf die Lokalisierungsalgorithmik.

3. Trockene Umgebung

Das Fahrzeug darf nur in einem vor Wasser geschützten Bereich verwendet werden. Hintergrund ist dass die Elektronik nicht vor eindringendem Wasser geschützt ist. Eindringendes Wasser könnte das Fahrzeug so beschädigen, dass es nicht mehr funktioniert.

4. Höhe der Hindernisse

Der verwendete LiDAR-Sensor liefert nur 2D-Daten. Das bedeutet, dass im aktuellen Entwicklungsstadium die Hindernisse auf der Höhe des LiDAR-Sensors sein müssen. Sind die Hindernisse auf einer anderen Höhe, so können diese Hindernisse nicht vom Lidar erfasst werden und somit auch nicht um Ausweichalgorithmus berücksichtigt werden.

4.2 Einschränkungen

In diesem Abschnitt werden die Voraussetzungen und Einschränkungen beschrieben, die berücksichtigt werden müssen, wenn die Algorithmik weiterentwickelt wird.

1. Steuerung

Der Algorithmus muss auf die Steuerungsmöglichkeiten des Autos angepasst sein. Das bedeutet, dass der Algorithmus vor allem den Lenkwinkel und die Breite des Autos berücksichtigen muss. Die Steuerung selbst soll über eine klar definierte Schnittstelle erfolgen. Eine Nutzung des Algorithmus für ein anderes Auto wird daher nur nach einer Anpassung der Algorithmik möglich sein.

2. Simulation

Die Simulation soll einen ersten Ansatz für das Testen und die Visualisierung bieten. Deshalb ist die Implementierung eine vereinfachte Darstellung einer Umgebung. Die Simulation soll eine einfache Top-Down-Perspektive auf das Auto und die Umgebung bieten. Das virtuelle Auto soll manuell und mittels Algorithmus gesteuert werden können. Auch hier gilt zu beachten, dass die Steuerung des simulierten Autos möglichst identisch mit der des eigentlichen Autos ist. Das gilt auch für die Schnittstelle zur Steuerung, welche der Algorithmus nutzen wird. Auf Grund der Abhängigkeit des Algorithmus von den konkreten Werten des Autos, wird die Simulation bezogen auf die Ansteuerung des Fahrzeuges und der Visualisierung der Umgebung keine exakte, detaillierte Abbildung der Realität bieten. Das tatsächliche Verhalten eines verwendeten Fahrzeuges kann daher von der Simulation abweichen.

3. Laufzeit

Der Laufzeit des Algorithmus soll ausreichend kurz sein. Das bedeutet, dass Hindernisse in unter einer halben Sekunde erkannt werden und entsprechend reagiert werden soll. Dieser Wert ist kein empirisch, oder anders wissenschaftlich validierter Wert. Für den Einsatz in der Realität muss ein fundierter Wert ermittelt werden, so dass die tatsächlich benötigte Geschwindigkeit berücksichtigt werden kann.

5 SLAM

SLAM ist ein bekanntes Problem in der Robotertechnik. Im Folgenden wird das Problem selbst erläutert und näher auf die Umsetzung von SLAM im Rahmen dieser Studienarbeit eingegangen.

5.1 Was ist SLAM?

Bei dem SLAM-Problem handelt es sich um das Problem, eine Karte einer unbekannten Umgebung zu erstellen. Gleichzeitig soll die aktuelle Position des Roboters in dieser Karte ermittelt und dargestellt werden. Hierzu wird ausschließlich die Sensorik des Roboters genutzt.

5.1.1 Mathematische Betrachtung

5.2 Mapping

5.3 Lokalisierung

Das selbstfahrende Fahrzeug soll in der Lage sein ein vorgegebenes Ziel zu erreichen. Um diese Aufgabe zu meistern ist die Lokalisierung des Fahrzeuges eine zentrale Aufgabe. Die aktuelle Position des Fahrzeugs ist für eine Berechnung des noch zu fahrenden Weges unabdingbar.

5.3.1 Global Positioning System (GPS)

Für die Ortung eines Fahrzeugs kommt in der Praxis das GPS zum Einsatz. GPS arbeitet mit Satelliten, die die Position des Benutzers, in diesem Fall des Fahrzeugs, bestimmen und übermitteln [1]. Die Genauigkeit des GPS beträgt ca. 5-10 cm [1].

Im Einsatz für Fahrzeuge auf der Straße ist diese Genauigkeit ausreichend, da die lokalisierten Objekte deutlich größer sind und dadurch, trotz der Toleranzen, der richtige Ort gefunden werden kann. Relativ zur Fahrzeuggröße sind 5-10 cm bei einem kleinen Modellfahrzeug eine deutliche Abweichung, die abhängig von der Umgebung des Fahrzeugs ernsthafte Konsequenzen haben kann.

Eine weitere Problematik die die Verwendung von GPS-Daten mit sich bringt ist die Abhängigkeit von der Signalstärke und -verfügbarkeit. Ist das Signal schwach, kann die Abweichung noch größer werden. Ist kein Signal verfügbar, ist gar keine Ortung möglich.

5.3.2 Eigenes GPS

Um das Problem der Signalverfügbarkeit zu lösen, könnte man auf die Idee kommen ein eigenes Global Positioning System (GPS) aufzubauen, dass kleine Sender statt Satelliten verwendet. Diese Sender werden an den Wänden der Umgebung befestigt. Auf dem Fahrzeug ist ein Empfänger montiert, der die Entfernungen zu den Sendern misst.

Mit dieser Technologie kann dann über Triangulation die Position des Fahrzeugs bestimmt werden. Dadurch wäre je nach Qualität von Sender und Empfänger eine höhere Präzision als 5-10 cm möglich.

Damit wären also beide Probleme von GPS in diesem Kontext gelöst. Aber es gibt auch einen deutlichen Nachteil. Denn vor der Verwendung des Fahrzeugs muss die Umgebung zunächst mit den Sendern ausgestattet werden. Ein Einsatz in unbekannten Gebieten ist dadurch nicht möglich. Das ist je nach Einsatzzweck des Fahrzeuges ein größeres oder kleineres Problem. Um den Einsatzzweck aber so wenig wie möglich einzuschränken, soll im Rahmen dieser Arbeit ein Verfahren genutzt werden, das auch in unbekannten Umgebungen genutzt werden kann.

5.3.3 Unabhängige Ortungsverfahren

Um das Auto in jeder Situation orten zu können, soll ein System zum Einsatz kommen, dass auf dem Fahrzeug selbst verbaut ist und keine zusätzlichen technischen Installationen außerhalb des Fahrzeugs erfordert.

ICP

6 Simulation des Ausweichalgorithmus

In diesem Kapitel wird beschrieben, warum eine Simulation hilfreich für die Entwicklung eines sicherheitskritischen Algorithmus, wie zum Beispiel ein Ausweichalgorithmus, sein kann. Außerdem wird beschrieben, welche Aspekte der Simulation relevant für den Übertrag der Ergebnisse auf die Realität sind.

6.1 Was ist eine Simulation?

Bevor damit begonnen werden kann die verschiedenen Aspekte einer Simulation zu beleuchten, ist zu klären, was eine Simulation ist. Nach der Aussage von A. Maria ist eine Simulation eine Ausführung eines Modells eines Systems [5][p. 1, ch. 2]. Der Begriff des Modells wird ebenfalls in der Arbeit beschrieben. Ein Modell ist eine vereinfachte, funktionierende Repräsentation des Systems, das betrachtet werden soll [5][p. 1, ch. 1].

In der Simulationstechnik gibt es unterschiedliche Arten von Simulation. In diesem Kontext von Bedeutung ist die Unterscheidung zwischen realer Simulation und Computersimulation. Reale Simulationen kommen zum Einsatz, wenn durch einen Fehler keine Gefahr für Personen und Umwelt besteht. Außerdem kann es sein, dass ein Nachstellen der Umweltbedingungen so komplex ist, dass eine Nachbildung am Computer nicht ausreichend möglich oder zeitlich zu aufwendig ist. Computersimulationen kommen dann zum Einsatz, wenn ein Fehler schädliche Folgen für Personen und Umwelt herbeiführen könnten und sich die Einflussfaktoren auf das System am Computer nachahmen lassen [11]. Eine Computersimulation kann auch dann genutzt werden, wenn das Erstellen eines realen Modells nicht möglich oder nicht rentabel ist. Ein weiterer Anwendungsfall einer Computersimulation tritt ein, wenn das reale Modell noch in der Entwicklungsphase ist. In diesen Fällen stellt die Simulation sicher, dass erste Versuche mit Algorithmen, die unabhängig vom Modell funktionieren, möglich sind. Dadurch kann damit begonnen werden an Technologien und Methodiken zu arbeiten, ohne auf eine reale Umsetzung warten zu müssen.

6.2 Simulation im Kontext eines Ausweichalgorithmus

Im Rahmen dieser Arbeit hat die Implementierung einer Simulation mehrere Vorteile. Es wird parallel an der Entwicklung des Autos und der zugehörigen Software gearbeitet.

Da die Implementierung der Software von Grund auf neu gestartet wird, wäre ein Warten auf die Fertigstellung des Autos aus zeitlichen Gründen nicht

möglich. Die Situation ist also eine der Situationen die in 6.1 beschrieben sind, in denen der Einsatz einer Simulation sinnvoll ist.

Ein weiterer Grund für den Einsatz einer Simulation ist ebenfalls in 6.1 beschrieben ist, ist ein möglicher Schadensfall. Das Auto ist von den Dimensionen nicht ausreichend groß, um einem Menschen zu verletzen, daher wären bei der Nutzung des realen Fahrzeuges kein Personenschaden zu befürchten. Die Problematik in diesem Kontext ist die Anfälligkeit des Autos. Das Auto ist so konstruiert, dass es mit wenig Leistung auskommt und nur die Elemente verbaut sind, dass es fahren kann. Aus diesem Grund wurden auf schützende Anbauteile wie Stoßdämpfer oder ähnliches verzichtet. Aus diesem Grund könnte eine Kollision des Fahrzeuges mit einem Hindernis problematisch. Eine Kollision könnte Schäden am Fahrzeug verursachen, die nur aufwendig, oder eventuell gar nicht repariert werden können. Da die Algorithmik in frühen Entwicklungsstufen kritische, noch unerkannte Fehler beinhalten kann, wäre es ein unnötiges Risiko die Software direkt auf dem Fahrzeuge auszuprobieren.

Ein weiterer Grund der für den Einsatz einer Simulation spricht, ist die Abhängigkeit vom Entwicklungsfortschritt des Autos. Sollte es dazu kommen, dass das Auto nicht rechtzeitig zur Verfügung steht, kann die Algorithmik zumindest im Rahmen der Simulation ausprobiert werden.

6.3 Aufbau der Simulation

Um die Simulation für eine erste Validierung der Algorithmik nutzen zu können, ist die Voraussetzung dass die simulierte Funktionalität auch der Funktionalität entspricht, die später im realen Einsatz genutzt wird. Gibt es Abweichungen zwischen den Funktionalitäten, so kann nur eine Schätzung vorgenommen werden, wie sich der Algorithmus im praktischen Einsatz verhält.

Wie zu Beginn der Arbeit formuliert, soll zunächst ein Algorithmus entwickelt werden, der das Ausweichen auf gerader Linie ermöglicht. Da es aktuell keine Möglichkeit gibt, ein Ziel einzugeben, wird die aktuelle Ausrichtung des Fahrzeugs als Fahrtrichtung verwendet. Das ermöglicht eine Funktionalität unabhängig von der Position des Fahrzeugs. Dann fährt das Auto in diese Richtung. Wird auf der Strecke ein Hindernis erkannt, versucht der Algorithmus dem Hindernis auszuweichen. Ist dies möglich wird das Auto auf die ursprüngliche Gerade zurückgeführt.

Um eine Simulation zu implementieren, ist zu klären, ob diese Funktionalität in einer Simulation realitätsnah möglich ist, oder ob eine vereinfachte Version simuliert werden muss.

6.3.1 Kritische Funktionalitäten

Zunächst müssen die Funktionalitäten identifiziert werden, die in der Simulation Probleme verursachen könnten.

1. Sensordaten
2. Umgebung
3. Ausweichen
4. Lokalisierung
5. Fahrzeug

Sensordaten Die Sensordaten bilden die Grundlage für die gesamte Simulation. Auf den Sensordaten basiert die Lokalisierung im Raum und das Erkennen und Ausweichen eines Hindernisses. Die Simulation dieser Daten stellt damit die größte Herausforderung in der Simulation dar, da die Daten in Frequenz und Aufbau den realen Daten möglichst genau entsprechen sollten. Vor allem der Aufbau der Daten sollte den realen Daten so nahe wie möglich kommen, da zusätzliche oder fehlende Daten in der Qualität der Auswertung deutlich zu erkennen sein könnten. Gibt es Unterschiede in der Frequenz sind die Auswirkungen weniger problematisch. Eine geringere oder höhere Frequenz kann durch die möglichen Geschwindigkeiten des Modell-Autos oder an anderen Stellen ausgeglichen werden.

Umgebung Die Umgebung ist ebenfalls ein essentieller Bestandteil. Denn die Umgebung muss so simuliert werden, dass diese von den Sensoren erkannt werden kann. Ist das nicht der Fall, ist jede Simulation der Sensorik unbrauchbar. Die genaue Implementierung ist unabhängig von der realen Welt. Dennoch ist darauf zu achten, dass die für die Sensorik notwendigen vorhanden sind.

Ausweichen Die Logik des Ausweichens ist die eigentliche Funktionalität, die implementiert werden soll. Diese ist der zentrale Baustein im System. Ist diese nicht vorhanden, ist die Simulation nicht brauchbar, um die Funktionalität zu validieren.

Lokalisierung Die Lokalisierung des simulierten Fahrzeugs ist ebenfalls ein wichtiger Bestandteil der Simulation, denn die Lokalisierung ist dafür verantwortlich zu entscheiden, ob das Ausweichmanöver abgeschlossen ist.

Fahrzeug Das Fahrzeug dient in der Simulation nur der Visualisierung. Physische Eigenschaften wie zum Beispiel der Kurvenradius und Reibung der Reifen sind nicht von Bedeutung. Außerdem kann das Auto visuell stark vereinfacht dargestellt werden.

6.3.2 Prüfung der kritischen Funktionalitäten

In diesem Abschnitt werden die einzelnen Funktionalitäten auf Umsetzbarkeit geprüft. Ist eine Umsetzung möglich, kann diese Funktionalität so implementiert werden, andernfalls muss eine Alternative erarbeitet werden.

Sensordaten Folgende Sensordaten müssen simuliert werden:

- LIDAR: Der Lidar Sensor erzeugt durch Rotation und das Aussenden von Laserstrahlen eine Punktwolke die die Umgebung abbildet. Diese Daten sind gut zu simulieren, da hierfür ausgehend von der aktuellen Position in jede Richtung Strahlen simuliert werden können, die die Entfernung von Objekten bestimmen.
- Ultraschall: Bei der Implementierung der Simulation des Ultraschall-Sensors ist mehr Aufwand nötig, da der Sensor nicht in jede Richtung Signale sendet, sondern konstant in eine Richtung. + Die Komplexität kommt durch das Verhalten der Schallwellen, die sich im Raum ausbreiten. Trotz der zusätzlichen Komplexität sollte eine ausreichend gute Simulation möglich sein.
- Geschwindigkeit: Die Komplexität der Ermittlung der Geschwindigkeit ist gering, da diese Information als Variable direkt im simulierten Auto hinterlegt werden kann.
- Lenkwinkel: Kann ähnlich wie die Geschwindigkeit als Variable gespeichert werden.

Umgebung Die Komplexität einer vereinfachten Umgebung ist als gering einzuschätzen, da für die Erkennung die Positionsdaten, sowie geometrische Form und Längen- und Breitenmaße ausreichend sind, um eine Überschneidung mit Strahlen oder Wellen mathematisch zu berechnen. Die vereinfachte Umgebung enthält nur Gegenstände, deren Form eine einfache Berechnung zulässt. Dazu gehören zum Beispiel Quadrate und Rechtecke.

Soll die Komplexität der Umgebung erhöht werden, steigt der Aufwand der mathematischen Berechnungen. Die Komplexität der Simulation sollte aber auf einem ähnlichen Niveau bleiben.

Ausweichen Das Ausweichen weist eine geringe Komplexität auf, da es für diese Aufgabe bereits viele verschiedene Lösungsstrategien gibt.

Lokalisierung Die Lokalisierung erfolgt auf Basis der empfangenen Sensordaten. Die Korrektheit ist abhängig von der Qualität der empfangenen Daten. Aus diesem Grund ist an dieser Stelle mit der größten Abweichung von Simulation und Realität zu rechnen. Daraus resultiert die Herausforderung die Position an so vielen Parametern wie möglich zu bestimmen. Denn je mehr Parameter genutzt werden, desto geringer der Einfluss von verfälschten Daten.

Fahrzeug Das Fahrzeug ist wenig komplex in der Implementierung, da eine vereinfachte Visualisierung, zum Beispiel mit einem Punkt, der sich bewegen kann, ausreichend ist.

6.3.3 Auswertung der Prüfung

Auf Basis der vermuteten Umsetzbarkeit der kritischen Funktionalitäten in Kapitel Prüfung 6.3.2 stellt sich die Simulation des Ausweichalgorithmus und der dazugehörigen Komponenten als machbar heraus.

Es gibt Teilaufgaben in der Simulation deren Komplexität höher ist, als die anderer Bestandteile, aber auch diese befinden sich in einem Umfang der umsetzbar ist.

7 Implementierung

1. Zugriff auf die Daten
2. Verarbeitung der Daten
3. Ausweichalgorithmus
4. Welche Technologien werden verwendet?
5. Validierung und Tests?

7.1 Aufbau der Implementierung

Der gesamte Aufbau der Implementierung ist in drei Projekte aufgeteilt: Core, Simulation und Lidar. Das Core-Projekt ist eine Library, welche keine ausführbare Datei und lediglich die Implementierungen der Algorithmen bzw. die Logik für das Steuern und Ausweichen des Fahrzeug enthält. Das Simulation-Projekt dient für die Simulation des autonomen Fahrzeugs und die Implementierungen der Algorithmen. Das Lidar-Projekt enthält den Code, welcher auf das eigentliche Fahrzeug, bzw. den Raspberry Pi des Fahrzeugs, geladen und auf diesem ausgeführt wird.

Nachfolgend werden die einzelnen Projekte näher beschrieben.

7.1.1 Core-Projekt

Wie bereits beschrieben enthält das Core-Projekt die Implementierungen der verwendeten Algorithmen und die Logik zum Steuern des Fahrzeugs. Um auf Daten von Sensoren, sowie die Steuerung des Autos zuzugreifen, werden für diese Interfaces verwendet, über welche im Core-Projekt auf diese zugegriffen werden kann. Dies hat außerdem noch den Vorteil, dass die Implementierung der Interfaces ausgetauscht werden kann, damit nicht die eigentlichen Sensoren ausgelesen und das Auto gesteuert wird, sondern nur mit einer Simulation interagiert wird. Damit bei der Verwendung des Core-Projekt in einem der anderen Projekte die richtige Implementierung für die jeweiligen Interfaces verwendet werden, sind diese zum einen nur in dem jeweiligen Projekt enthalten und werden zum anderen bei dem Start des Programms an das Core-Projekt übergeben. Letzteres geschieht nach dem Dependency Injection Prinzip (TODO: Quelle und Beschreibung DI).

7.1.2 Simulation-Projekt

7.1.3 Lidar-Projekt

8 Fazit

1. Was haben wir erreicht?
2. Entspricht das dem erhofften Ergebnis?
3. Welche Einschränkungen gibt es in der Verwendung?

A Anhang

Literatur

- [1] Neil Ashby. „Relativity in the global positioning system“. In: *Living Reviews in relativity* 6 (2003), S. 1–42.
- [2] Chetan Desai, David Janzen und Kyle Savage. „A survey of evidence for test-driven development in academia“. In: *SIGCSE Bull.* 40.2 (2008), S. 97–101. ISSN: 0097-8418. DOI: 10.1145/1383602.1383644. URL: <https://doi.org/10.1145/1383602.1383644>.
- [3] *GitHub: Slamtec/rplidar_ros*. 2023. URL: https://github.com/slamtec/rplidar_ros (besucht am 05.02.2024).
- [4] *GitHub: Slamtec/rplidar_sdk*. 2023. URL: https://github.com/Slamtec/rplidar_sdk (besucht am 05.02.2024).
- [5] Anu Maria. *Introduction to modeling and simulation*. 1997. URL: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/268437.268440> (besucht am 23.01.2024).
- [6] Premal B Nirpal und KV Kale. „A brief overview of software testing metrics“. In: *International Journal on Computer Science and Engineering* 3.1 (2011), S. 204–211.
- [7] *Raspberry Pi 4 Model B*. Techn. Ber. Raspberry Pi Ltd, 2023. URL: <https://datasheets.raspberrypi.com/rpi4/raspberry-pi-4-product-brief.pdf> (besucht am 31.01.2024).
- [8] *ROS: Home*. 2023. URL: <https://www.ros.org/> (besucht am 05.02.2024).
- [9] *RPLIDAR A1*. 2020. URL: https://www.slamtec.ai/wp-content/uploads/2023/11/LD108_SLAMTEC_rplidar_datasheet_A1M8_v3.0_en.pdf (besucht am 31.01.2024).
- [10] Shanghai Slamtec Co., Ltd. *RPLIDAR A1: Low Cost 360 Degree Laser Range Scanner*. Revision 3.0. Shanghai Slamtec Co., Ltd. Shengyin Tower, 666 Shengxia Rd., Shanghai, China, Okt. 2020.
- [11] The Editors of Encyclopaedia Britannica. *computer simulation*. 2023. URL: <https://www.britannica.com/technology/computer-simulation> (besucht am 23.01.2024).
- [12] Alan Mathison Turing u. a. „On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem“. In: *J. of Math* 58.345-363 (1936), S. 5.