



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Ausarbeitungsarbeit

Filip Nowacki

Konzeptentwicklung eines Sicherheits- und
Navigationsmoduls basierend auf einer
geometrischen Umgebungskartierung für
autonom fahrende Systeme

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	3
1 Einleitung	4
2 Problemstellung	5
2.1 Sicherheit bei Autonomen Systemen	5
2.2 Informationsbeschaffung am CaroloCup Fahrzeug	6
2.2.1 Kamera	6
2.2.2 Odometer	6
2.2.3 Ultraschall- und Infrarotsensoren	7
2.2.4 Umgebungskarte	7
2.3 Konkurrenzverhalten der Module	8
3 Lösungsansätze	9
3.1 Geometrische globale Umgebungskartierung als Grundlage	9
3.2 Wahrscheinlichkeiten	10
3.2.1 Mehrgitteransatz	10
3.2.2 Fahrbahnansatz	11
3.3 Vorhersage	11
4 Ausblick	12
4.1 Kurzfristige Ziele	12
4.2 Mittelfristige Ziele	12
4.3 Langfristige Ziele	12
5 Zusammenfassung	13
Literaturverzeichnis	14

Abbildungsverzeichnis

1.1	CaroloCup Fahrzeug der HAW Hamburg	4
2.1	Kamerabild	6
2.2	Ultraschallsensoren	7
2.3	Infrarotsensor	7
3.1	Beispiel für eine geometrische globale Karte	9
3.2	Gerasterten Umgebungskarte mit Wahrscheinlichkeitswerten	10
3.3	Wahrscheinlichkeitswerte auf der gesamten Fahrbahn	11

1 Einleitung

Die Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW Hamburg) bietet mit ihrem Projekt für Fahrerassistenz- und Autonome Systeme [Faust] den Studenten die Möglichkeit Konzepte für autonom fahrende Plattformen zu entwickeln und zu implementieren. Ein Bereich im FAUST-Kontext beschäftigt sich mit Modellfahrzeugen und deren autonomer Steuerung und Regelung. Die Fahrzeuge werden dafür mit Steuereinheiten und Sensorik sowie Aktorik ausgestattet (Abb. 1.1). Beim sogenannten CaroloCup [CaroloCup], einem Wettbewerb für autonome Modellfahrzeuge am Institut für Regelungstechnik der Technischen Universität Braunschweig, werden die umgesetzten Konzepte präsentiert.

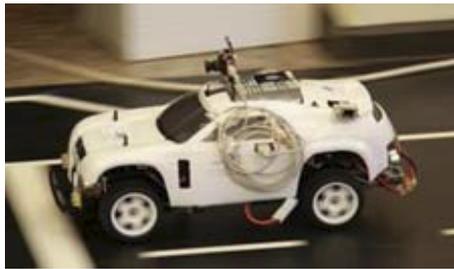


Abbildung 1.1: CaroloCup Fahrzeug der HAW Hamburg

Für eine erfolgreiche Teilnahme am CaroloCup müssen die jeweiligen Fahrzeuge unter Zeitdruck, neben dem regulären Abfahren der Fahrbahn, bestimmte Aufgaben erfüllen, wie z.B. das Ausweichen von Hindernissen oder das Einparken in eine Parklücke. Da es bei einem Fehlverhalten des Fahrzeuges (verlassen der Fahrspur, Kollision mit einem Hindernis, u.a.) zu Abzügen in der Wertung kommt, ist es von Interesse das Verhalten des Fahrzeuges zu überwachen und im Notfall einzugreifen.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Konzeptionierung eines Sicherheits- und Navigationsmoduls zur selbständigen Überwachung eines Modellfahrzeuges der HAW Hamburg. Als Grundlage dient eine Umgebungskartierung, die bereits als Modul auf dem Modellfahrzeug implementiert ist. [Rull (2008)][Ebert (2008)] In Kapitel 2 wird zunächst genauer auf den Anwendungsbereich und die Problemstellung eingegangen. Anschließend werden in Kapitel 3 die Lösungsansätze vorgestellt. Abschließend gibt das Kapitel 4 einen Ausblick auf die weitere Planung und Ziele für die Veranstaltung Anwendung 2 und die Projektarbeit.

2 Problemstellung

In diesem Kapitel wird die Problemstellung für autonome Fahrzeuge im Rahmen des FAUST-Projekts für die Teilnahme am CaroloCup dargestellt. Zunächst wird das Thema Sicherheit in den Kontext dieser Ausarbeitung eingeordnet. Anschließend werden die Möglichkeiten zur Informationsaufnahme näher betrachtet. Der letzte Abschnitt befasst sich mit dem Konkurrenzverhalten der unterschiedlichen Module auf dem Modellfahrzeug der HAW Hamburg (im folgenden CaroloCup Fahrzeug genannt).

2.1 Sicherheit bei Autonomen Systemen

Die generelle Herausforderung bei autonomen Fahrzeugen, ist die eigene Orientierung und Lokalisierung in der Umgebung. Ein menschlicher Betrachter kann sich eine Fülle an Merkmalen der Umgebung zu Nutzen machen um sich eine Übersicht zu verschaffen und auch die eigene Position in den Kontext der Umgebung einzuordnen. Zum Beispiel erkennt ein Autofahrer die Straße auf der er sich befindet und kann dem Straßenverlauf folgen. Dabei ist er sich darüber im Klaren, welche Konsequenzen ein unerwünschtes Verlassen seiner Fahrspur zur Folge hätte.

Anders sieht es bei einem autonomen System, wie z.B. dem CaroloCup Fahrzeug aus. Hier ist es für das Fahrzeug bedeutend schwieriger sich zurecht zu finden, da es nicht ohne Weiteres die Umgebung und die eigene Position identifizieren kann und somit auch schlecht die momentane Situation einschätzen kann. Im wirklichen Straßenverkehr würde das eine deutliche Bedrohung für die anderen Verkehrsteilnehmer bedeuten. Umso wichtiger ist es eine Kontrolllogik zu implementieren, die dafür sorgt, dass das Fahrzeug nicht mit einem Hindernis (Passanten, Autos, etc.) kollidiert oder von der Strecke kommt.

Im Gegensatz zum Betrieb im echten Straßenverkehr kostet ein Fehlverhalten des Fahrzeuges beim CaroloCup Wettbewerb lediglich Wertungspunkte und in schlimmeren Fällen könnte das CaroloCup Fahrzeug zu Schaden kommen. Unter diesem Aspekt lässt sich die notwendige Sicherheit auf das Fahrzeug beschränken, um es bei Testzwecken vor sich selbst und beim Wettbewerb vor unerwünschtem Verhalten und somit vor Punktabzügen zu schützen.

2.2 Informationsbeschaffung am CaroloCup Fahrzeug

Um die Sicherheit des CaroloCup Fahrzeuges zu gewährleisten, müssen einige Aspekte beachtet werden. Ein Aspekt ist die korrekte Wahrnehmung der Umgebung. Dieser ist ausschlaggebend für die Bewertung der Position des Fahrzeuges und die Einschätzung der momentanen Situation. Dem CaroloCup Fahrzeug stehen durch die Sensorik verschiedene Datenquellen zur Verfügung um Informationen über die Umgebung zu erhalten.

2.2.1 Kamera

Über der Fahrerkabine des CaroloCup Fahrzeuges ist eine Kamera angebracht, die den Bereich vor dem Fahrzeug aufnimmt (Abb. 2.1). Die Bilder der Kamera werden hauptsächlich für die Fahrspurerkennung verwendet, die besonders für die Steuerung des Fahrzeuges wichtig ist. Außer für die Steuerung werden die gewonnenen Daten jedoch auch für die Kartierung der Umgebung verwendet. Die erkannten Fahrbahnmarkierungen werden auf eine zweidimensionale Karte projizieren und abgespeichert.



Abbildung 2.1: Kamerabild

2.2.2 Odometer

Der Odometer ist dafür zuständig die bereits gefahrene Strecke, mittels Inkrementalgeber, über die Umdrehungen der Räder zu ermitteln. Diese Daten sind zum einen für bekannte Mechanismen wie die Anti-Schlupf-Regelung (ASR) und zum anderen für die Umgebungskartierung von Bedeutung, denn erst dadurch kann der Verlauf der Strecke in die Karte übernommen werden.

2.2.3 Ultraschall- und Infrarotsensoren

Zur Erkennung von Hindernissen sind in dem Fahrzeug Ultraschall- und Infrarotsensoren (Abb. 2.2 und 2.3) eingebaut. Im Front- und Heckbereich des Fahrzeuges kommen jeweils zwei Ultraschallsensoren zum Einsatz. Diese Sensoren liefern Entfernungsinformationen im Bereich von 3cm bis 400cm.



Abbildung 2.2: Ultraschallsensoren

Die Infrarotsensoren werden zur seitlichen Entfernungsmessung eingesetzt und haben eine Reichweite von 35cm.



Abbildung 2.3: Infrarotsensor

Die Sensoren sind für die Implementation von Fahrmanövern, wie z.B. dem Ausweichen oder Einparken, notwendig. Die erkannten Hindernisse werden ebenfalls vom Umgebungskartierungsmodul erfasst und in die Karte übertragen.

2.2.4 Umgebungskarte

Wie bereits erwähnt, werden alle bisherigen Datenquellen dazu verwendet um eine Umgebungskarte zu erzeugen. Allerdings können durch ungünstige Umstände Fehlinformationen

erzeugt werden. Bei schlechten Lichtverhältnissen können die Kamerabilder nicht zu 100% korrekt ausgewertet werden. Bei Unebenheiten auf der Fahrbahn oder häufigem Richtungswechsel des Fahrzeuges können Fehler in der Streckenberechnungen auftreten. Daher wird die Umgebungskarte fortlaufend aktualisiert und auch korrigiert. Durch mehrmalige Umrundungen eines Kurses kommt schließlich eine exakte Kartierung der Fahrbahn und eventuellen Hindernissen raus.

2.3 Konkurrenzverhalten der Module

Eine weitere Herausforderung stellt die Zusammenarbeit des zu entwickelnden Sicherheits- und Navigationsmoduls mit den bereits auf dem Fahrzeug implementierten Modulen dar. Je nach Situation, in der sich das CaroloCup Fahrzeug befindet, ist es für ein bestimmtes Modul notwendig das Fahrzeug zu kontrollieren. Im Normalfall liegt die Kontrolle bei der Fahrzeugsteuerung. Diese ist dafür zuständig das Fahrzeug anhand der Fahrspurerkennung in der Spur zu halten. Sobald jedoch ein Hindernis erkannt wird welches den Weg blockiert, muss das Ausweichmodul eingreifen und im Optimalfall das Hindernis umfahren.

Dabei ist die Aufgabe des Sicherheits- und Navigationsmoduls zu jeder Zeit das Verhalten des CaroloCup Fahrzeuges zu überwachen und Gefahrensituationen zu erkennen, ohne dabei die anderen Module an deren Durchführung zu hindern, sofern kein Notfall vorliegt. Eine falsch eingeschätzte Situation und somit ein unnötiges Eingreifen, kann zu einem nicht reibungslosen Fahrverhalten oder gar einem Stillstand, aufgrund eines Kontrolldeadlocks, führen.

3 Lösungsansätze

In diesem Kapitel werden mögliche Herangehensweisen zur Entwicklung des Sicherheits- und Navigationsmoduls vorgestellt. Zunächst wird auf die Bedeutung einer globalen Karte als Grundlage der Sicherheitskontrolle eingegangen. Im Anschluss wird eine mögliche Lösung mit zwei Varianten vorgestellt, die sich an Wahrscheinlichkeitswerten orientiert und eine weitere mögliche Lösung, die mittels Vorhersagen arbeitet.

3.1 Geometrische globale Umgebungskartierung als Grundlage

Wie zuvor in Kapitel 2 beschrieben, stehen dem Fahrzeug mehrere Datenquellen zur Verfügung um Informationen über die Umgebung einzuholen. Das Modul zur Umgebungskartierung übernimmt bereits die Aufgabe diese lokalen Informationen auszuwerten, zu kombinieren und zu einer gerasterten, globalen Umgebungskarte zusammenzuführen. Somit werden die Fahrbahnmarkierungen und Hindernisse aufgezeichnet und als Objekte, den sogenannten Gridobjects, abgespeichert. Über ein globales Koordinatensystem ist das Fahrzeug jederzeit in der Lage, zum einen seine aktuelle Position und zum anderen Informationen über Objekte an der aktuellen Position oder in der Umgebung abzurufen, wodurch sich das Problem der Orientierung lösen lässt. Die Abb. 3.1 zeigt beispielhaft eine geometrische, globale Karte mit einem Fahrbahnabschnitt vor dem Fahrzeug.

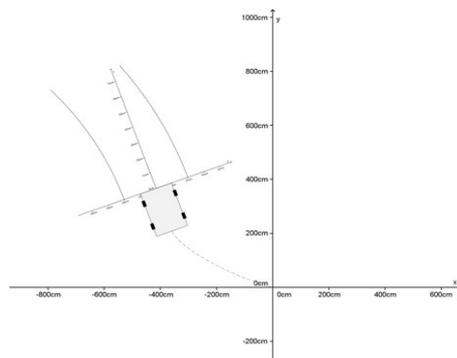


Abbildung 3.1: Beispiel für eine geometrische globale Karte

3.2 Wahrscheinlichkeiten

Die Gridobjects, die in der Umgebungskarte abgespeichert werden, können mit Werten belegt werden, ähnlich wie bei einem "Occupancy Grid" Verfahren (siehe Link aus Ilos Ausarbeitung). In einem Bereich von 0% bis 100% kann ein Wahrscheinlichkeitswert angegeben werden, der aussagt ob es sich bei dem Gridobject um einen zulässigen, befahrbaren Untergrund (also einer Fahrbahn) handelt oder um ein Hinderniss (Abb. 3.2).

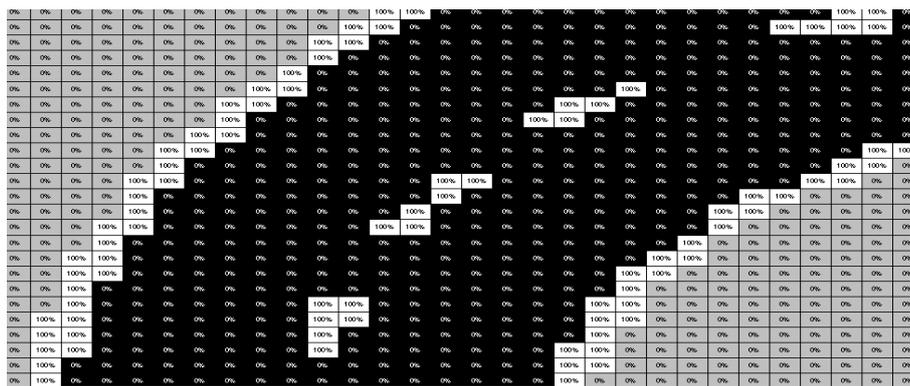


Abbildung 3.2: Gerasterten Umgebungskarte mit Wahrscheinlichkeitswerten

3.2.1 Mehrgitteransatz

Bei dem Mehrgitteransatz wird die gerasterte Umgebungskarte als unterste Ebene betrachtet. In der nächsten Ebene werden mehrere Felder der Umgebungskarte zusammengefasst und über die darin enthaltenen Wahrscheinlichkeitswerte der Gridobjects ein Mittelwert gebildet. Dieser Schritt kann sich in einer nächst höheren Ebene wiederholen. Somit kann über das Koordinatensystem die Position des Fahrzeuges in der obersten Ebene und den dazugehörigen Wahrscheinlichkeitswert abgefragt werden. Ist dieser ausreichend hoch, bedeutet das für das Fahrzeug, dass es sich noch auf der Fahrbahn befindet. Sollte der Wert eine bestimmte Schwelle unterschreiten, kann in der nächst tieferen Ebene erneut eine Abfrage stattfinden um einen genaueren Wahrscheinlichkeitswert zu erhalten.

Dadurch, dass jedoch nicht die gesamte Fahrbahn sondern nur die Fahrbahnmarkierungen als Gridobjects abgespeichert werden, treten zwei Probleme auf. Zum einen muss eine entsprechende Gittergröße gefunden werden, in der die Felder der Umgebungskarte zusammengefasst werden, um einen aussagekräftigen Wahrscheinlichkeitsmittelwert zu erhalten. Zum anderen bedeutet das, dass sobald die unterste Ebene (also die Umgebungskarte)

4 Ausblick

Dieses Kapitel dient als Vorschau auf die kommenden Aufgaben in Bezug auf die Veranstaltungen Anwendung 2, der Projekt- und Masterarbeit sowie dem CaroloCup Wettbewerb.

4.1 Kurzfristige Ziele

In Hinsicht auf den nahenden Wettbewerbstermin im Februar 2009 ist angestrebt zunächst eine Grundfunktionalität zu implementieren. Das Verhalten des Fahrzeuges soll dabei fortlaufend durch das Sicherheits- und Navigationsmodul überwacht werden und in wirklichen Notfallsituationen eingreifen, indem das Fahrzeug zum stehen gebracht wird.

4.2 Mittelfristige Ziele

Mittelfristig ist zunächst eine Erweiterung des Moduls angestrebt, wodurch das Fahrzeug in der Lage sein soll nach einem Eingriff, durch das Sicherheits- und Navigationsmodul, wieder in eine Ausgangsposition zu gelangen, von der aus der normale Betrieb wieder aufgenommen werden kann. Beispielsweise bei Verlassen der Fahrbahn durch einen Steuerungsfehler, soll das Modul die Situation erkennen und einen möglichst schnellen Weg zurück zur Fahrbahn finden und das Fahrzeug dementsprechend navigieren.

4.3 Langfristige Ziele

Langfristiges Ziel in Hinblick auf die Masterarbeit ist, eine Verbesserung der Kontrolllogik für einen schnelleren, sicheren und reibungslosen Ablauf der Betriebsfahrt. Ein Lösungsansatz der möglicherweise zum Einsatz kommt ist der in Abschnitt 3.3 beschriebene Ansatz durch Vorhersage, wodurch sich Gefahrensituation frühzeitig erkennen lassen um rechtzeitig entsprechende Maßnahmen treffen zu können. Es ist ebenfalls angestrebt das Konzept des Sicherheits- und Navigationsmoduls auf andere Plattformen zu implementieren.

5 Zusammenfassung

Im Rahmen der Veranstaltung Anwendung 1 sollte durch eine zügige Themenfindung der Grundstein für die Masterarbeit gelegt werden. Diese Ausarbeitung beschäftigte sich mit den Vorüberlegungen zur Entwicklung eines Sicherheits- und Navigationsmoduls in Bezug auf autonom fahrende Systeme. Der konkrete Anwendungsfall ist in den Kontext des FAUST-Projekts an der HAW Hamburg einzugliedern. Beabsichtigt ist der Einsatz des Sicherheits- und Navigationsmoduls auf einem Modellfahrzeug, mit dem ein Team des FAUST-Projekts, repräsentativ für die HAW Hamburg, am CaroloCup an der TU Braunschweig im kommenden Februar teilnehmen möchte.

In Kapitel 2 wurde zunächst auf die Problemstellung autonomer Systeme, insbesondere für das CaroloCup Fahrzeug, näher eingegangen. Anschließend wurde der momentane Stand der Entwicklung am CaroloCup Fahrzeug, bezogen auf die Umgebungsidentifizierung, dargestellt.

Erste Überlegungen zu möglichen Lösungsansätzen wurden in Kapitel 3 präsentiert. Basierend auf einer gerasterten, globalen Umgebungskarte können die Umgebungsmerkmale (Fahrbahnmarkierungen und Hindernisse) abgespeichert werden. Ein globales Koordinatensystem ermöglicht die Abfrage der aktuellen Position des Fahrzeuges und dessen Umgebung. Mithilfe der Objekte können Wahrscheinlichkeitswerte angegeben werden, ob sich das Fahrzeug noch auf der Fahrbahn befindet oder nicht. Ein anderer Ansatz befasst sich mit der Vorhersage des Verhaltens des Fahrzeuges. Beide Möglichkeiten dienen zur Konzeptentwicklung und sind daher noch nicht erprobt.

Wissenschaftliche Quellen, die sich konkret mit diesem Thema und der in dieser Ausarbeitung genannten Problemstellung auseinandersetzen, konnten noch nicht gefunden werden. Daher wird voraussichtlich einige Zeit für Testzwecke und der eigentlichen Konzeptentwicklung nötig sein.

Literaturverzeichnis

- [CaroloCup] : *CaroloCup der TU Braunschweig*. – URL <http://www.carolo-cup.de>
- [Faust] : *FAUST-Projekt der HAW Hamburg*. – URL <http://www.informatik.haw-hamburg.de/faust.html>
- [Blanck 2008] BLANCK, Ilona: *Kartenerstellung und Navigation zur Positionserkennung autonomer Fahrzeuge*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Ausarbeitung, 2008. – URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master2008/blanck/bericht.pdf>
- [Ebert 2008] EBERT, Michael: *Aktives Mapping und Positionsbestimmung eines autonomen Modellfahrzeuges*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Bachelorarbeit, 2008
- [Hensel 2007] HENSEL, Enrico: *Design und Implementation eines Sicherheitskonzepts für den Betrieb eines autonomen Fahrzeuges*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Bachelorarbeit, 2007. – URL http://www.informatik.haw-hamburg.de/uploads/media/BA_Enrico_Hensel_2007.pdf
- [Hensel 2008] HENSEL, Enrico: *Führungskonzept eines autonomen Fahrzeuges*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Ausarbeitung, 2008. – URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master2008/hensel/bericht.pdf>
- [Jenning 2008] JENNING, Eike: *Systemidentifikation eines autonomen Fahrzeugs mit einer robusten, kamerabasierten Fahrspurerkennung in Echtzeit*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Masterarbeit, 2008
- [Rull 2008] RULL, Andrej: *Sensorbasierte Umgebungskartierung mit lokaler Positionskorrektur für autonome Fahrzeuge*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Bachelorarbeit, 2008. – URL http://users.informatik.haw-hamburg.de/~rull_a/Bachelorarbeit.pdf