

1 Einleitung

Wäre es nicht schön, bei der täglichen Fahrt zur Arbeit die Zeitung lesen zu können? — Wäre es nicht schön, den Familienurlaub schon während der Fahrt zum Reiseziel beginnen zu lassen? — Wäre es im Autobahnstau nicht schön, sich einfach auszuruhen, etwas zu lesen oder einen Film anzuschauen?

Für die meisten Autofahrer hören sich diese Wünsche nach Szenen aus einem Science-Fiction-Film an. Viele Leute können heute aber auch noch nichts mit den Begriffen „Adaptive Cruise Control“, „Heading Control“, „Side Assist“ oder „Lane Departure Warning“ anfangen. Diese Begriffe sind lediglich ein Auszug aus dem breiten Spektrum an Fahrerassistenzsystemen (FAS), die bereits in Oberklasse-Fahrzeugen verfügbar sind. Die neuen Entwicklungen im Bereich der Fahrerassistenz werden unter dem Begriff Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) zusammengefasst.

Eher bekannt sind die konventionellen FAS, wie z. B. das ABS und das ESP sowie die informierenden FAS, zu denen z. B. Radiostaumeldungen (RDS), Warnanzeigen in den Armaturen und Navigationssysteme gezählt werden. Zu den ersten Vertretern von FAS zählen bereits die Servolenkung, der Bremskraftverstärker und selbst die Geschwindigkeitsanzeige im Fahrzeug [64]. Die Systeme der ADAS zeichnen sich im Gegensatz zu den konventionellen FAS dadurch aus, dass sie durch den Einsatz umfelderfassender Sensorik neue Möglichkeiten im Automobil schaffen. Diese Arbeit beleuchtet einen Teil dieser Möglichkeiten und zeigt Entwicklungen zur maschinellen Wahrnehmung der Fahrzeugumgebung auf.

Im Folgenden wird in Unterkapitel 1.1 die Entwicklung neuer Fahrerassistenzsysteme motiviert, in 1.2 die Beiträge dieser Arbeit dargestellt, und abschließend wird in Kapitel 1.3 der Aufbau dieser Arbeit erläutert.

1.1 Motivation

Fahrerassistenzsysteme sollen den Fahrer bei der Führung seines Fahrzeugs entlasten und dafür sorgen, dass er entspannter am Ziel seiner Fahrt ankommt und auf dem Weg dorthin weniger Unfälle verursacht. Den Sinn der Entwicklung dieser Systeme zeigt die Statistik der Unfalltoten der letzten Jahrzehnte. Zusammen mit den Verbesserungen der Infrastruktur im Straßenverkehr haben die Weiterentwicklungen der Sicherheitssysteme im Fahrzeug dazu beigetragen, dass seit 1970 die Anzahl der getöteten Personen im Straßenverkehr stetig sinkt. Und das obwohl der Verkehr auf Deutschlands Straßen dichter wird

1 Einleitung

und die Fahrleistung zunimmt, was sich in einer immer höheren Anzahl an Unfällen pro Jahr widerspiegelt [59].

Die Systeme der ADAS setzen verstärkt Sensoren ein, die Informationen über das nahe Umfeld des Fahrzeugs liefern, so dass Aktionen vorausschauend geplant werden können. Dazu gehören auch die oben genannten ADAS aus dem Bereich der Komfort- bzw. warnenden Systeme sowie die neuesten Entwicklungen im Bereich der aktiven Sicherheitssysteme (z. B. Bremsassistent). Aktuell kooperieren und konkurrieren viele Forschungsinstitute und Automobilhersteller weltweit intensiv miteinander bei der weiteren Entwicklung moderner FAS, um das Automobil seiner ursprünglichen Bestimmung näher zu bringen – der autonomen Fortbewegung[44][34].

Vor dem Hintergrund der aktuellen Diskussionen um CO₂-Ausstoß und dessen Folgen für den Klimawandel und der allgemeinen Rohstoffknappheit, müssen sich auch die Entwickler von Fahrerassistenzsystemen die Frage stellen, wie sie konstruktiv auf die ökonomischen und ökologischen Probleme reagieren können. Im Bereich der Fahrerassistenz gibt es dazu viele Möglichkeiten. Beispielsweise kann durch eine optimierte Routenführung die Fahrzeit reduziert werden oder das Längsführungssystem ACC so ausgelegt werden, dass es unter Nutzung von digitalen Kartendaten vorausschauender und energiesparender fährt, als es der Mensch je könnte[5][75].



Bild 1.1: Stauassistenten

Eine weitere Möglichkeit wäre ein System, das das Fahrzeug automatisch durch einen Stau steuern kann – der so genannte Stauassistent (STA). Laut unabhängiger Studien kosten „Staus [...] täglich [...] 33 Millionen Liter Kraftstoff, 13 Millionen Stunden verlorene Zeit – und [...] 250 Millionen Euro [...]“ [25]. Abbildung 1.2 zeigt die Zeitanteile, die ein Fahrer statistisch in verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen verbringt.

Gerade die verlorene Zeit und die daraus resultierenden wirtschaftlichen Kosten könnten dadurch gemindert werden, dass sich der Fahrer nicht vollständig auf die monotone Fahrzeugführung konzentrieren muss, sondern bereits in seinem mobilen Büro im Fahrzeug, mit der Unterstützung drahtloser Kommunikationswege, seiner Arbeit nachgehen kann. Auch im Hinblick auf eine älter werdende Gesellschaft kann das Automatisieren

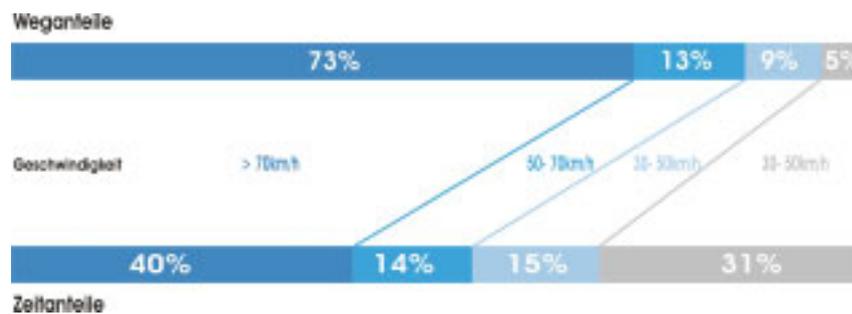


Bild 1.2: Zeitanteile in verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen (nach [25])

der Fahrzeugführung zu einer verbesserten Mobilität im Alter und zu einer Erhöhung der Sicherheit auf den Straßen beitragen.

Wieso gibt es noch keine autonomen Fahrzeuge? Die heute verfügbaren Assistenzsysteme lassen die langfristige Vision erkennen, dass sich Fahrzeuge in den kommenden Jahrzehnten zu autonomen Systemen weiterentwickeln. Diese werden sich von den heute in der Entwicklung befindlichen automatischen Systemen dadurch unterscheiden, dass der Fahrer nicht einmal mehr die Tätigkeit als Überwacher des Systems übernehmen muss. Autonome Systeme, wie auch automatische Systeme, bergen das nicht zu vernachlässigende Risiko eines Fehlverhaltens durch fehlerhafte Sensorinformationen oder -interpretation. Dies könnte z. B. das unerwünschte Verlassen der Fahrspur oder den Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeugs nach sich ziehen. Wegen der noch ungeklärten Frage nach der Haftbarkeit für solche Fehlerfälle müssen alle heute verfügbaren vorausschauenden Assistenzsysteme noch vom Fahrer überwacht werden und übersteuerbar sein. Das bedeutet, dass der Fahrer letztendlich noch die volle Verantwortung trägt. Der große Nutzen autonomer Systeme ist also zugleich die große Herausforderung. Zusätzlich werden, im Unterschied zu Fehlern herkömmlicher Systeme, die Fehler (teil-)autonomer Fahrerassistenzsysteme vom Menschen erst viel später oder auch gar nicht erkannt, da dieser aus der Fahraufgabe herausgenommen ist. Eine höhere Fremdbeschäftigung bewirkt unmittelbar längere Reaktionszeiten des Fahrers auf unvorhergesehene Ereignisse. Dies ist schon heute beim Führen wichtiger Telefonate während des Fahrens feststellbar.

Die Grundlage automatisch agierender Systeme ist somit eine fehlerlose Situationsanalyse mit anschließender Aktionsplanung und -durchführung, sowie eine ständige Selbstüberwachung, die es ermöglicht, den Fahrer frühzeitig zu warnen.

Abbildung 1.3 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines automatischen Fahrerassistenzsystems mit maschineller Wahrnehmung. Um die automatische Aktion durchführen zu können, muss zunächst die Szene richtig interpretiert und daraus ein adäquates Verhalten abgeleitet sein. Die Grundlage dafür bietet ein konsistentes Umfeldmodell, das auf der Merkmalsextraktion aus den Sensordaten mit anschließender Modellbildung basiert.

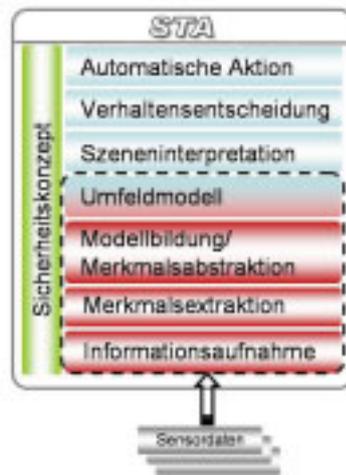


Bild 1.3: Systemaufbau der Stauassistentenfunktion

Somit ist die langfristige Entwicklung autonomer Assistenzsysteme von der Entwicklung robuster Wahrnehmungsalgorithmen, die speziell an die Anforderungen der autonomen Fahrzeugführung angepasst sind, abhängig.

1.2 Beiträge dieser Arbeit

Die Ziele dieser Arbeit wurden in dem sehr dynamischen Umfeld, bei der Entwicklung des Stauassistenten, an die sich ergebenden Problemstellungen ausgerichtet. Als grundsätzliches Ziel steht die Entwicklung von videobasierten Algorithmen im Vordergrund, welche der Erfassung des Umfeldes eines mit Sensorik ausgestatteten Fahrzeugs dienen. Die entwickelten Algorithmen müssen in C++-Modulen für die Entwicklungsumgebung ADTF¹⁾ gekapselt werden, welche dann den nachgeschalteten Teilsystemen zur Situationsanalyse, Verhaltensentscheidung und Regelung die nötige Information über Fahrzeuge und Fahrspuren im Fahrzeugumfeld liefert. Im Speziellen haben sich drei Entwicklungsschwerpunkte für diese Arbeit herauskristallisiert:

1. Erkennen und Verfolgen von anderen Fahrzeugen
2. Erkennen und Verfolgen von Fahrspurverläufen
3. Bewerten der entstandenen Verfahren

Aus den früheren Forschungsarbeiten von V. von Holt [49] und U. Hofmann [48] ist im Rahmen des Kooperationsprojekt FORBIAS [7] ein Kalman-Filter basierter Zustandsschätzer (im Folgenden auch „Tracker“ genannt) entstanden, welcher Fahrspuren und Fahrzeuge mittels Bildverarbeitung verfolgen kann. Die verwendete Kalmanfilter-

¹⁾ Automotive Data and Time Triggered Framework (siehe Kapitel 3.5)

Implementierung basiert auf der sequentiellen Methode nach [11]. Dieses System wird durch diese Arbeit um folgende Eigenschaften erweitert:

- Detektion neuer Fahrzeuge bei Tag und Nacht zum Initialisieren und Verifizieren des Fahrzeugtrackers
- Robusteres Verfolgen von Fahrspuren im Bereich komplexer Verkehrssituationen (z. B. Stau, Baustellenbereich)
- Stützung des videobasierten Fahrzeugtrackers durch andere Sensoren
- Detektion von Fahrspuren zum Initialisieren des Fahrspurtrackers

Um die Möglichkeiten der videobasierten Objekterkennung zu erweitern, werden spezielle Bildverarbeitungsoperatoren entwickelt. Diese werden dazu genutzt, um spezifische Objektmerkmale für die Erkennung von Fahrzeugen bei Tag- und Nachtszenarien zu extrahieren. Die Eignung dieser spezifischen Merkmale zur Fahrzeugdetektion wird statistisch untersucht und die wichtigsten Merkmale zu einem echtzeitfähigen und robusten Detektor kombiniert. Des Weiteren wird für die multisensorielle Fahrzeugverfolgung ein spezielles Sensormodell zur Verwendung des Laserscanners implementiert.

Zur letztendlichen Bewertung der Qualität des Zustandsschätzers bzw. des Detektors, sind verschiedene Verfahren umgesetzt:

- Softwaremodul zum Erzeugen von Referenzdaten im Videobild
- Vergleich der Schätzerangaben mit Ground-Truth-Daten aus Referenzsensorik

1.3 Struktur dieser Arbeit

Nach der Hinführung zum Thema der vorausschauenden Fahrerassistenzsysteme in diesem Kapitel, gibt die vorliegende Arbeit in Kapitel 2 einen Überblick über aktuelle Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten auf diesem Gebiet. Anschließend wird in Kapitel 3 der Aufbau des Versuchsfahrzeugs mit den verwendeten Sensoren beschrieben. Im gleichen Kapitel wird auch auf die Koordinatensysteme und die Softwareentwicklungsumgebung eingegangen.

Kapitel 4 führt den Leser zunächst in die theoretischen Grundlagen zum Thema der Bildverarbeitung ein und erklärt die Funktionsweise der verwendeten Operatoren und Detektoren. Der zweite Teil des Kapitels behandelt die Objektmodelle zur modellbasierten Objektverfolgung. In Kapitel 5 werden die zur Klassifikation verwendeten Maschinenlernverfahren beschrieben.

Die folgenden Teile der Arbeit beschreiben die entwickelten praktischen Anwendungen auf Basis der zuvor beschriebenen Verfahren. Dabei werden in den Kapiteln 6.3 und 6.4 die entstandenen Verfahren zur Fahrzeugdetektion für Tag- und Nachtsequenzen behandelt. Kapitel 7 stellt die Erweiterungen an ein System zur Verfolgung der Fahrspur und anderer Fahrzeuge dar.

1 Einleitung

Abschließend werden in Kapitel 8 die Schwerpunkte dieser Arbeit zusammengefasst, einige Problempunkte angesprochen und das Weiterentwicklungspotenzial der Algorithmen kurz diskutiert.