



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Anwendungen 1 – Bericht
Enrico Hensel
Führungskonzept eines autonomen Fahrzeuges

Enrico Hensel

Führungskonzept eines autonomen Fahrzeuges

Anwendung 1 – Bericht eingereicht im Rahmen des Masterstudiums
im Studiengang Informatik
am Department Informatik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer : Prof. Dr. B. Schwarz
Gutachter: Prof. Dr. von Luck
Gutachter: Prof. Dr. B. Schwarz

Abgegeben am 25. Juli 2008

Inhalt

1	Motivation.....	3
2	Fahrzeugführung und ihre Bestandteile.....	4
3	Bestandsaufnahme der vorliegenden Fahrzeugplattform.....	5
3.1	Hauptrecheneinheit.....	5
3.2	IO-Verarbeitung auf dem Carolofahrzeug.....	5
3.3	Sensorik.....	6
3.3.1	Ultraschallsensor.....	6
3.3.2	Infrarotsensor.....	6
3.3.3	Inkrementalgeber.....	6
3.3.4	Kamera.....	7
3.4	Relevante Sensoren für die Regelung.....	7
3.5	Stellgrößen und Aktoren.....	7
3.6	Signale und Kommunikation.....	8
4	Aufbau einer eigenen Fahrzeugplattform.....	8
4.1	Ausgewähltes Fahrzeugmodell.....	8
4.2	Auswahl der Sensoren.....	9
4.3	Planung und Entwicklung einer IO-Einheit.....	9
5	Erfassung der Bewegung im Raum – Kinematik.....	11
5.1	Ungenauigkeit durch Fahrzeugmechanik.....	11
5.2	Herausforderungen in der Sensordateninterpretation.....	11
6	Ansätze zur Anpassung der bestehenden Regelung.....	12
6.1	Implementierte Regelung.....	12
6.2	Alternative Lösungsansätze.....	13
7	Zusammenfassung.....	14
8	Ausblick auf Projekt und Masterarbeit.....	14
9	Anhang.....	15
9.1	Kommunikation zwischen IO-Einheit und Hauptrechner.....	15
10	Abbildungsverzeichnis.....	16
11	Bildnachweis.....	16
12	Literaturverzeichnis.....	17
13	Glossar.....	19

1 Motivation

Das vorliegende Dokument befasst sich im Rahmen der Veranstaltung Anwendung 1 (folgend AW1 genannt) mit dem Finden eines Themengebietes für die Schwerpunktbildung im weiteren Verlauf des Masterstudiengangs. Ziel dieser Veranstaltung ist es, eine Themenstellung zu finden, diese zu sichten und mögliche Aufgaben für aufbauende Veranstaltungen aufzuzeigen.

Im Bachelorstudium an der HAW-Hamburg legte der Autor seinen Schwerpunkt auf das Gebiet der autonomen und fahrerlosen Systeme. Hier wirkte er im Team FAUST [FAUST] an der Entwicklung des intelliTrucks [ITRUCK] mit und beschäftigte sich speziell mit dem Thema „Sicherheit im Betrieb autonomer Fahrzeuge“ [SICHAF]. Neben dem schon erwähnten intelliTruck finden in FAUST weitere Fahrzeugplattformen ihren Einsatz. Zu ihnen zählt das Carolofahrzeug (Abbildung 1), ein 1:10-Fahrzeugmodell der TU-Braunschweig. Die HAW-Hamburg erhielt dieses Fahrzeug im Herbst 2007 als Leihfahrzeug, um im Frühjahr 2008 an dem in Braunschweig stattfindenden CaroloCup [CCUP] teilnehmen zu können. Hierbei handelt es sich um einen Wettbewerb in dem Teams von verschiedenen Hochschulen gegeneinander antreten, um mit ihren Fahrzeugen Aufgaben wie Abfahren eines Rundkurses, Hinderniserkennung und Einparken zu bewältigen. Der erzielten Erfolg an diesem Wettbewerb führte dazu, dass sich ein eigener Zweig in FAUST bildete, der sich mit Fahrspur-, Hinderniserkennung, autonomen Einparken, Fahrzeugregelung, sowie Ausweichalgorithmen auf der Basis eines 1:10-Modellfahrzeuges beschäftigt.



Abbildung 1 - Carolo-Fahrzeug

Der aktuelle Schwerpunkt der Forschung im FAUST-Projekt beschäftigt sich mit der logischen Verarbeitung der gesammelten Sensordaten. Die autonome Regelung von Fahrzeugen ist ein zentrales Thema. Thema dieser Ausarbeitung ist das „Führungskonzept eines autonomen Fahrzeuges“. Der Schwerpunkt dieser Ausarbeitung wird die Analyse und Dokumentation des vorliegenden Systems, die Offenlegung der Herausforderungen in der Fahrzeugführung und eine erste Einschätzung für weitere Aufgaben und Arbeitsschritte sein.

2 Fahrzeugführung und ihre Bestandteile

Unter Fahrzeugführung versteht man die Navigation eines Fahrzeuges. Diese Aussage ist nicht präzise genug, da das Themengebiet der Fahrzeugführung mehrere Teilgebiete umfasst. Das folgende Schema (Abbildung 2) zeigt einen möglichen Aufbau einer Fahrzeugführung und verdeutlicht deren Komplexität.

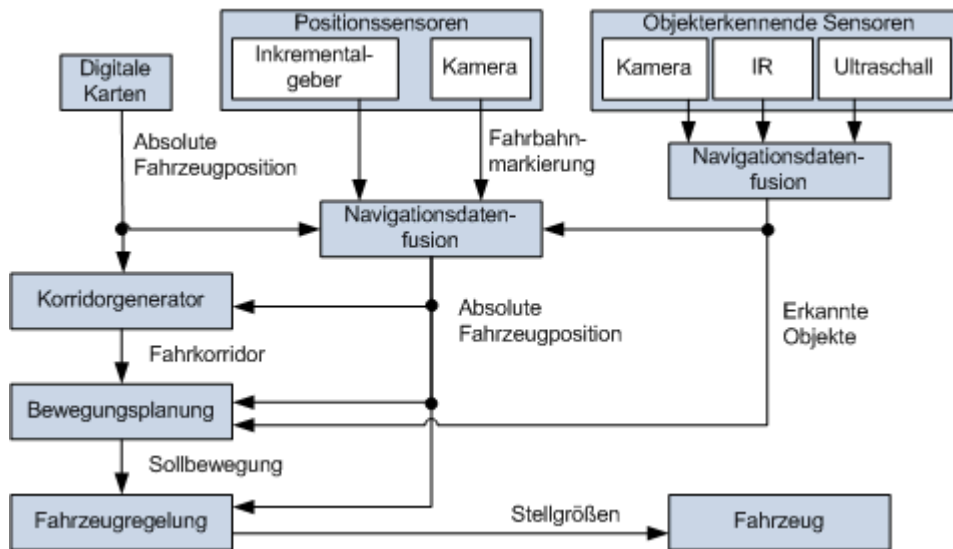


Abbildung 2 - Fahrzeugführung

Eine der Hauptaufgaben besteht in der Zustandsbestimmung des Fahrzeuges. Das Sammeln von Fahrzeug- und Umweltinformationen steht in dieser Phase im Fokus. Der zweite Aspekt mit der sich die Fahrzeugführung befasst ist die Bahnplanung, die beispielweise aus digitalen Karten und/oder aktuellen Sensordaten gewonnen werden kann. Die dritte Phase umfasst die Fahrzeugregelung, sie verwertet die Sollbewegung aus der Bewegungsplanungsphase und erzeugt Stellgrößen die an die Aktoren (Kapitel 3.5) des Fahrzeuges übermittelt werden. Die gemeinsame Betrachtung aller Phasen führt zu einer komplexen Regelaufgabe.

Eine weitere Möglichkeit der Darstellung einer Fahrzeugführung ist die in Abbildung 3 dargestellte 3-Ebenenunterteilung [HOPPE]. Die Navigationsebene, befasst sich mit dem Orientieren in einem Raum, der Fusion von Navigationsdaten und der Bestimmung der Fahrzeugposition und -ausrichtung. Die zweite Stufe befasst sich mit der Bahnführung bzw. Bahnplanung. Die Stabilisierungsebene beinhaltet die Regelung des Fahrzeuges bzw. dessen Aktoren.

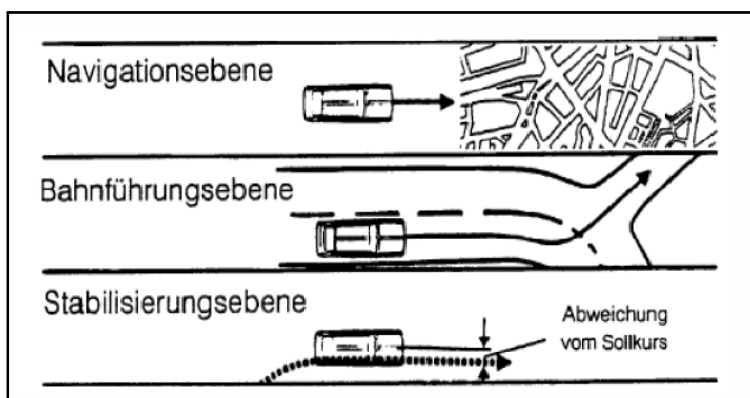


Abbildung 3 - Ebenen der Fahrzeugführung (Quelle: Dr.Ing. Ullrich Hoppe)

Das Ziel, ein Führungskonzept für ein autonomes Fahrzeug zu entwerfen, umfasst somit eine Vielzahl an Aspekten die bereits im Vorfeld betrachtet werden müssen. Neben den bereits genannten Teilaspekten, besteht im Vorfeld ein großer Arbeitsbereich in der Analyse der Fahrzeugplattform, mit dessen mechanischen Aufbau, den zur Verfügung stehenden Sensoren und Aktoren, sowie der Fahrphysik der Plattform. Aspekte wie Umweltbedingungen, Laufzeiten von Signalen und Verarbeitungsgeschwindigkeiten von Algorithmen sind weitere Punkte die für den Entwurf eines Reglers und eines Führungskonzeptes berücksichtigt werden müssen.

3 Bestandsaufnahme der vorliegenden Fahrzeugplattform

Das folgende Kapitel beschreibt das Carolofahrzeug, dessen Erweiterungen durch Sensoren, datenverarbeitender Einheiten und die Kommunikation auf dem Fahrzeug.

3.1 Hauptrecheneinheit

Für die Verarbeitung der erhaltenen Sensor- und Bilddaten und der daraus resultierenden Berechnung der Stellgrößen, kommt auf dem Fahrzeug ein PC-System auf Basis eines Nano-PCs VIA EPIA-NL zum Einsatz [NANO]. Dabei handelt es sich um einen Rechner mit einer Prozessorleistung von 1GHz und einem 512MB Arbeitsspeicher. Als Betriebssystem wird Windows 2000 eingesetzt.

3.2 IO-Verarbeitung auf dem Carolofahrzeug

Die digitalen und analogen Signale auf dem Fahrzeug, werden mittels einer Mikrocontroller-Plattform von Infineon verarbeitet. Dabei handelt es sich um das Modell TriCore TC1766 [INF3CORE] mit einem OSEK-Betriebssystem. Einige zu nennenden technische Eckdaten sind:

- 32-Bit-Mikroprozessor
- 1,5MB Flashspeicher
- 56kB RAM
- CAN-Schnittstellen (2-fach vorhanden)
- 96 16-Bit-Timer
- 32 Analog Digital Converter
- 81 digitale Ein- und Ausgänge

Neben dem TriCoreboard kommt eine von Thies Lauk-Reineke (Absolvent der TU-Braunschweig) [DIPL_TLR] entwickelte Platine zum Einsatz, die eine mechanische und elektrische Erweiterung darstellt und folgende drei Bereiche umfasst:

- Analoge Komponenten: Anpassung der analogen Spannung zur Weiterverarbeitung durch das TriCoreboard und Signalaufbereitung in Form von Tiefpässen
- Digitale Komponenten: hier wurden Schutz- und Anpassungsbeschaltungen vorgesehen
- Leistungskomponenten: Gewährleistung einer stabilisierten Spannungsversorgung für alle Schaltungsteile und Ausgänge. Der Schwerpunkt liegt beim Schalten von höheren Lasten.

Diese beiden Bausteine werden nachfolgend als IO-Einheit bezeichnet. Die Hauptaufgabe der IO-Einheit besteht darin, Sensordaten zu sammeln, aufzubereiten und dem System zur weiteren Verwendung zur Verfügung zu stellen. Zusätzlich erfolgt über die IO-Einheit die Ansteuerung der Aktoren.

Aufgrund vertraglicher Vereinbarungen ist die Entwicklung eigener Software auf dem Mikrocontroller nicht möglich. Somit ist die auf dem Fahrzeug implementierte IO-Einheit als eine Blackbox zu sehen.

3.3 Sensorik

Die folgenden Unterpunkte dienen als Überblick über die auf der Fahrzeugplattform zum Einsatz kommenden Sensoren. Hierbei können unterschiedliche Kategorisierungen der Sensoren vorgenommen werden. Die internen, propriozeptiven Sensoren sind Sensoren, die sich im eigentlichen Sinne mit der Eigenwahrnehmung des Fahrzeuges beschäftigen. Zu ihnen zählen Inkrementalgeber und die Spannungsüberwachung. Externe, exterozeptive Sensoren liefern Daten über der Umwelt. Vertreter sind hier Ultraschall-, IR-Sensoren und das Kamerasystem. Weitere Möglichkeiten der Kategorisierung sind die Bewertung der Signalführung (analog, digital) oder die Unterscheidung von aktiven und passiven Sensoren, wobei Ultraschallsensoren zu den aktiven, Kameras zu den passiven Systemen zählen.

3.3.1 Ultraschallsensor

Zur Umwelterfassung im Front- und Heckbereich des Fahrzeuges kommen jeweils zwei Ultraschallsensoren SRF05 der Firma Devantech Ltd. zum Einsatz (Abbildung 4) Diese Sensoren arbeiten in einer Frequenz von 40KHz und liefern Entfernungsinformationen im Bereich von 3 cm bis 4 m. Die Auswertung findet auf der Trägerplatine statt und wird mittels eines 5V TTL-Pegels, dessen Länge proportional zur Entfernung des Objektes ist, der IO-Einheit bereitgestellt.



Abbildung 4 - Ultraschallsensor

3.3.2 Infrarotsensor

Zur seitlichen Entfernungsmessung wird pro Fahrzeugseite ein Infrarotsensor GP2D120 [SHARPIR] der Firma Sharp (Abbildung 5) eingesetzt. Mit einem Öffnungswinkel von 15° und einer Reichweite von 35 cm erlaubt er das Erkennen von Hindernissen im seitlichen Fahrzeugbereich, was beim autonomen Einparken und beim Umfahren von Hindernissen genutzt wird. Diese analogen Sensoren liefern, abhängig von der gemessenen Distanz analoge Spannungen zwischen 0.4-2.6 Volt (30-4cm), die mittels der AD-



Abbildung 5 - Sharp GP2D120

Wandler der IO-Einheit auf dem Fahrzeug ausgewertet werden.

3.3.3 Inkrementalgeber

Zur Bestimmung der Raddrehbewegung sind Zweikanal-Inkrementalgeber (Abbildung 6) [SHARPIR] an den beiden Rädern der Vorderachse montiert. Diese liefern mittels der Abtastung einer Strichcodescheibe, die eine 120er Unterteilung aufweist, Fahrzeugbewegungen im Bereich von zirka 2mm. Der Sensor liefert zwei 5V-TTL-Pegel anhand deren

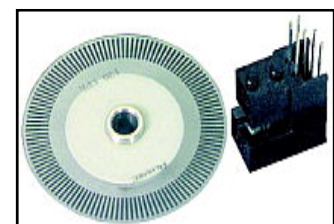


Abbildung 6 - Sharp GP1A71R

Phasenverschiebung die Drehrichtung der Strichcodescheibe erkannt und dadurch auf die Radbewegung geschlossen werden kann.

3.3.4 Kamera

Zur Erfassung von Bilddaten kommt eine monochrom μ Eye-Kamera (UI-1226LE-M) mit einem 1/3“-CMOS-Sensor und einer Auflösung von 752x480 Bildpunkten zum Einsatz. Diese liefert dem PC über USB-2.0 Bilddaten (Vollbild) mit einer maximalen Framerate von 87 fps. Bei Reduzierung der Area of Interest (AOI) sind Frameraten über 200 fps möglich.

Die Kamera wird in erster Linie zur Fahrspurenerkennung eingesetzt. Dafür werden die Bilddaten mittels eines Spurerkennungsalgorithmus [TFALDA], wie er in Abbildung 8 dargestellt ist, ausgewertet.

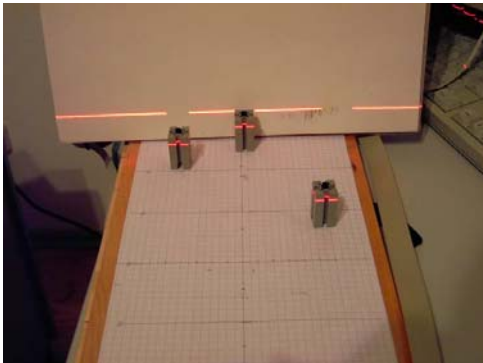


Abbildung 7 - Hinderniserkennung

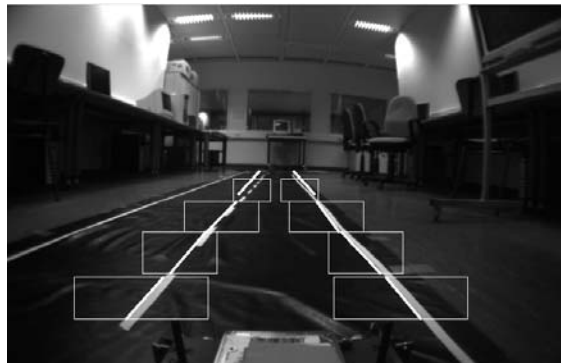


Abbildung 8 - TFALDA

Ein weiteres Aufgabenfeld ist die Erkennung von Hindernissen (Abbildung 7). Der aktuelle Stand nutzt einen im Frontbereich des Fahrzeugs integrierten Linienlaser, der eine rote Laserlinie auf alle vor dem Fahrzeug befindlichen Objekte projiziert. Die fest justierte Kamera und die gelieferten Bilddaten, die auch die rote Laserlinie enthalten, erlauben somit eine genaue Bestimmung der Entfernung und Lage von Hindernissen. [EBERT]

3.4 Relevante Sensoren für die Regelung

Nicht alle Sensoren werden für die Regelung des Fahrzeuges eingesetzt. Zu den relevanten Sensoreinheiten für die Fahrzeugführung zählen die Inkrementalgeber und die Kamera bzw. deren Bilddaten. Mittels der Kamerabilder ist wie zuvor beschrieben eine Orientierung anhand der Fahrbahnmarkierungen möglich, die Inkrementalgeber liefern Informationen über gefahrene Distanzen, aus denen sich über einen zeitlichen Vergleich die Geschwindigkeit ableiten lässt. Die Ultraschall- und IR-Sensoren finden ihren Einsatz in speziellen Fahrsituationen, wie das Finden von Parklücken, das parallele Einparken und das Umfahren von Hindernissen.

3.5 Stellgrößen und Aktoren

Stellgrößen bezeichnen in der Regeltechnik die Größen, die aus der Regeldifferenz zwischen Soll- (Zielparameter) und Istwert (aktueller Parameter) berechnet werden. Diese Größen werden zur Ansteuerung der Aktoren benutzt, um Regeldifferenzen auszugleichen. In dem speziellen Fall des Carolofahrzeugs sind dies die Lenkungs- und Motorsteuersignale in Form von PWM-Signalen. Sie beeinflussen über den Servomotor die Lenkung und über den Fahrtregler die Drehzahl des Motors.

3.6 Signale und Kommunikation

Ein weiterer Aspekt der bei der Bestandsaufnahme in Bezug auf das Carolofahrzeug betrachtet werden muss, ist die Kommunikation und die Signalübertragung auf dem Fahrzeug. Die Ansteuerung des Aktoren wird per PWM-Signal vollzogen. Sensorsignale liegen als TTL-Pegel oder analogen Spannung zwischen 0 und 5 V vor. Die Kommunikation zwischen dem RC-Fernbedienungsmodul, der IO-Einheit und dem Embedded PC findet mittels eines festgelegten Protokolls per RS232, die Übertragung der Bilddaten von der Kamera an den PC mittels USB-2.0 statt.

Die folgende Darstellung (Abbildung 9) zeigt die Kommunikationswege und die zwischen Sensoren und Verarbeitungseinheiten zum Einsatz kommenden Signale. Zur Vereinfachung wurde pro Sensortyp nur ein Sensor dargestellt.

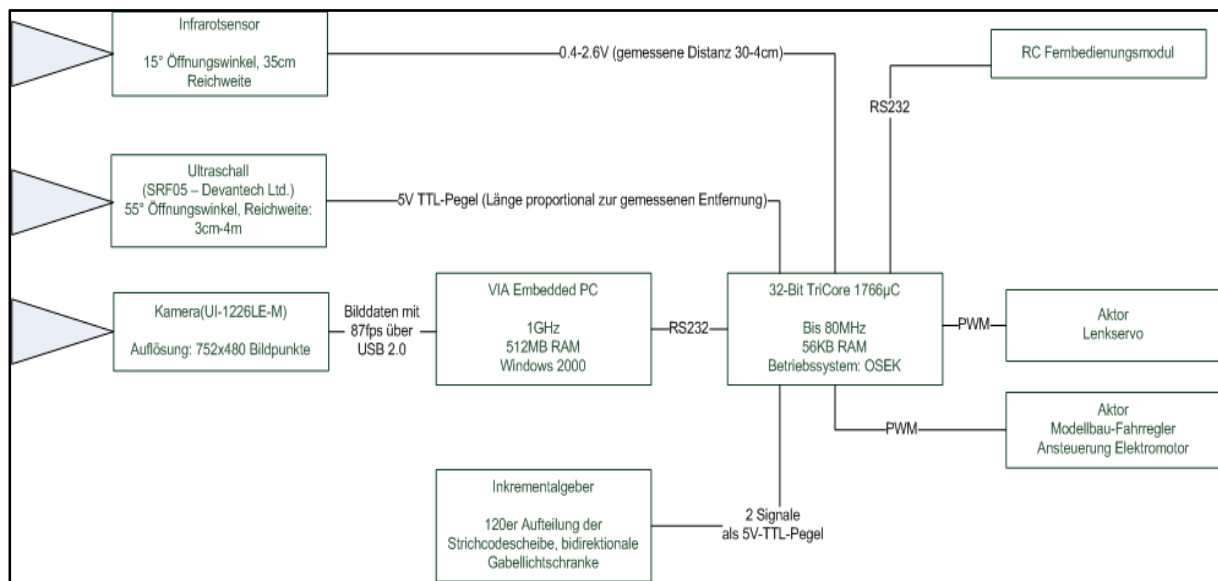


Abbildung 9 - Kommunikationswege

Sensordaten werden von der IO-Einheit zyklisch im Abstand von 50ms an die Hauptrecheneinheit gesendet. Die Daten zur Ansteuerung der Aktoren können asynchron zum Zyklus gesendet werden. Eine Kurzbeschreibung des Kommunikationsprotokolls zwischen dem Hauptrechner und der IO-Einheit findet sich im Anhang (Kapitel 9.1) wieder.

4 Aufbau einer eigenen Fahrzeugplattform

Die gesammelten Erfahrungen in Hinsicht auf den mechanischen Aufbau der Lenkung und des Fahrwerkes des Carolofahrzeugs, sowie der Wunsch nach einer hochschuleigenen Wettbewerbsplattform führten zu dem Entschluss ein eigenes Fahrzeug aufzubauen. Nachfolgend wird der erreichte Stand beschrieben. Die Auswahl einer Hauptrecheneinheit steht noch offen und wird hier nicht näher betrachtet.

4.1 Ausgewähltes Fahrzeugmodell

Ein erster Schritt war die Wahl einer geeigneten Modellbauplattform. Hierbei wurde besonders auf drei Eigenschaften geachtet, die Stabilität und Präzision des Fahrzeugs und dessen Aufbaus, sowie das Platzangebot, so dass spätere Erweiterungen wie IO-Einheiten, Rechereinheiten und Sensoren auf dem Fahrzeug untergebracht werden können.

Die Probleme, wie zum Beispiel das Spiel in der Anlenkung der Räder, sowie im Antrieb des Carolofahrzeugs, sollte von vornherein minimiert werden. Ziel war es spezielle und kosten-, sowie zeitintensive Nachrüstungen und Umbauten zu vermeiden, die eine Aufwertung des Fahrwerkaufbaus beinhalten. Zur Bewertung des benötigten Platzes wurde vergleichsweise vom Platzbedarf auf dem Carolofahrzeug ausgegangen.

Die Wahl fiel auf das 1:10-Modell eines Ford F350 High-Lift der Firma Tamiya (Abbildung 10) [FORD]. Dieses Modell eines Pickup-Geländewagen zeichnet sich durch sein robustes und steifes Metallchassis, seine doppelt ausgelegte Federung mittels Blattfedern und Luftdruckdämpfern, die direkte und präzise Ackermannlenkung [ACHSL], sowie durch Allradantrieb und Einzelradaufhängung aus.



Abbildung 10 - Neue FAUST-Plattform Ford F350

Die Fahrzeugabmessungen liegen in den festgelegten Grenzwerten des CaroloCup-Regelwerkes [CCR], wobei die Spurbreite um 0,5cm und die Gesamtlänge des Fahrzeuges ca. 2cm größer als die des Carolofahrzeugs sind. Somit bietet dieses Modell ausreichend Platz und dank der starken und einstellbaren Federung ausreichend Tragkraft für spätere Erweiterungen.

Eine Besonderheit dieses Modells ist das Dreigangetriebe, das während der Fahrt die Möglichkeit bietet die Getriebeübersetzung in drei Stufen zu wählen. Dieses Ausstattungsmerkmal des Fahrzeuges muss bei einem späteren Regelungsentwurf gesondert betrachtet werden, da sich bei gleichbleibender Motordrehzahl, mittels der drei Gänge unterschiedliche Geschwindigkeitsstufen ergeben.

4.2 Auswahl der Sensoren

Die Auswahl von Sensoren wurde anhand der Erfahrungen aus dem CaroloCup und den dort zu bewältigenden Aufgaben getroffen. Das bewährte Konzept der CaroloCup-Wagenausstattung wird weitestgehend beibehalten. So kommen im Front- und Heckbereich jeweils zwei Ultraschallsensoren (SRF10) [USSRF] mit I²C-Schnittstellen zum Einsatz, an den Flanken des Fahrzeuges jeweils zwei analoge IR-Sensoren und an den vorderen beiden Rädern SMD-Gabellichtschranken und Inkrementalgeberscheiben zur Messung der Radbewegungen. Eine Erweiterung stellt die Aufrüstung des Fahrzeuges mit einem Lenkwinkelgeber dar. Dieser soll zukünftig Informationen über den aktuellen Lenkeinschlag der Räder liefern.

4.3 Planung und Entwicklung einer IO-Einheit

Eine weitere Herausforderung ist die IO-Einheit, die die Sensordaten sammelt und verarbeitet. Recherchen nach entsprechenden Fertiglösungen ergaben kein zufriedenstellendes Ergebnis. Zwar bieten Hersteller wie zum Beispiel Keil fertige Boards an, jedoch sind diese bei entsprechenden Leistungsumfang von den Dimensionen für das Fahrzeug zu groß, es fehlen gewünschte Leistungsmerkmale oder es sind Komponenten

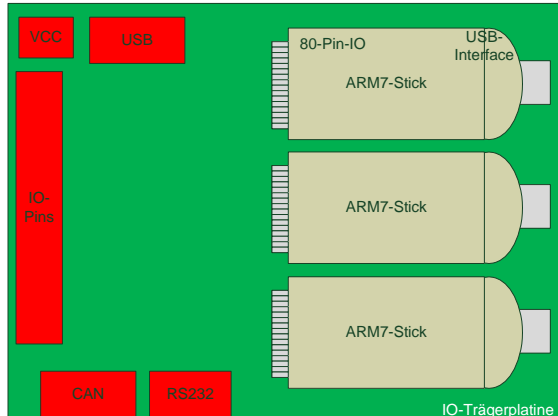
verbaut die in unserem Einsatzfeld keine Verwendung finden und somit wertvollen Platz belegen würden. Speziell bei namhaften Herstellern ergibt sich eine weitere Schwierigkeit. Hier müssen Entwicklungsumgebungen zum Einsatz gebracht werden, um mit deren Evaluierungsboards arbeiten zu können. Diese sind jedoch in der Regel lizenziert und liegen von den Kosten bei einigen hundert bis tausend Euro pro Arbeitsplatzlizenz. Diese Tatsache schränkt die Flexibilität in der Entwicklung auf einen kleinen Personenkreis ein, da aus Kostengründen nicht jedem FAUST-Mitglied an der Hochschule eine entsprechende Lizenz zur Verfügung gestellt werden kann.

Aus diesem Grund und dem im Projekt FAUST geäußerten Wunsch, wurde nach eigenen Lösungen gesucht. Der derzeitige Stand umfasst eine Lösung auf Basis des neu in den Laborbetrieb der Technischen Informatik, mit einer freien Entwicklungsumgebung, eingesetzten LPC-Sticks.

Dabei handelt es sich um eine Entwicklungsplattform in Form eines USB-Sticks inklusive eines 72MHz, 32-bit ARM7TDMI-S (Abbildung 11 links) [LPC]. Da die vier, auf den 80-Pin-Anschluss des Sticks nach außen geführten AD-Wandler für den Betrieb des Fahrzeuges und dessen Sensoren nicht ausreichend sind, entstand der Vorschlag ein Verbund mehrerer Sticks und eine Aufteilung der Aufgaben auf die unterschiedlichen Einheiten vorzunehmen, diese auf eine Basisplatine (Abbildung 11 rechts) zu vereinen und mittels eines CAN-Protokolls untereinander kommunizieren zu lassen. Mit diesem Konzept kann eine größere Anzahl an analogen und digitalen Eingängen zur Verfügung gestellt werden und bietet zusätzliche Ressourcen für spätere Entwicklungen. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit, unterschiedliche Aufgaben, zu denen die Auswertung von Sensoren oder die Ansteuerung der Aktoren zählen, auf getrennten Systemen ausführen zu lassen.



Abbildung 11 – LPC-Stick und IO-Trägerplatinentwurf



5 Erfassung der Bewegung im Raum – Kinematik

Ein auf der Analyse des Fahrzeuges aufbauendes Themenfeld ist der Bereich der Kinematik und die Erfassung der Bewegung im Raum. Die Kinematik beschäftigt sich mit der Geometrie und den zeitabhängigen Aspekten der Bewegung, ohne wie es in der Dynamik der Fall ist, die Kräfte, die für die Bewegung verantwortlich sind, zu berücksichtigen. Relevante Größen sind der zurückgelegte Weg, die Geschwindigkeit und die wirkende Beschleunigung auf ein Fahrzeug.

Die Bewegung eines Fahrzeuges lässt sich auf zwei verschiedene Arten beschreiben. Die „interne Bewegung“ ist auf die Beschreibung einer Bewegung eines Fahrzeugteils beschränkt, wobei sich keine Ortsänderung des Fahrzeuges an sich ergibt. Die „externe Bewegung“ betrachtet die Bewegung des gesamten Fahrzeuges im Raum bzw. entlang eines Weges [BEWEG]. Die interne Bewegung wird auf dem Carolo-Fahrzeug mit Inkrementalgebern an den Rädern in Form von Distanz- und Geschwindigkeitsmessung erfasst. Gleichzeitig steht für die externe Bewegungserfassung eine Distanzmessung zu nahe liegenden Objekten zur Verfügung.

5.1 Ungenauigkeit durch Fahrzeugmechanik

Ein Aspekt durch den Ungenauigkeiten in der Bewegung des Fahrzeuges auftreten können ist der Aufbau des Fahrwerks. Spiel in der Lenkung oder im Antrieb, verursacht durch ausgeschlagene oder minderwertige Gelenke, verringert die Präzision mit der das Fahrzeug bewegt werden kann. Mögliche Folgen sind unvorhersehbarer Drift und eine unsensible Lenkung. Diese auftretenden Phänomene schlagen sich als Störung in der Regelung des Fahrzeuges nieder.

5.2 Herausforderungen in der Sensordateninterpretation

Eine mögliche Quelle für Fehler in der Fahrzeugregelung ist die Auswertung und Interpretation von Sensordaten. Der Einsatz von einfachen oder sogar stark vereinfachten Fahrzeug- und Umweltmodellen birgt das Risiko, dass gesammelte Informationen unzureichend oder falsch analysiert und verwertet werden. Anhand zweier Beispiele, die sich mit der Bestimmung der Radbewegung und resultierend mit der Bewegung des Fahrzeuges befassen, soll die Herausforderung in der Verarbeitung von Informationen auf einen Fahrzeug und die Notwendigkeit von fundierten Modellen unterstrichen werden.

Bei der vorliegenden Plattform handelt es sich, in Bezug auf das Gewicht-Leistungs-Verhältnis, um ein stark motorisiertes Fahrzeug, bei dem die Möglichkeit besteht, dass je nach Untergrund und freigesetzter Leistung Schlupf [SCHLW] auftritt. Eine Unterscheidung zu treffen, ob es sich bei den von den Inkrementalgebern erhaltenen Messdaten um Schlupf, oder einer Vorwärtsbewegung des Fahrzeuges handelt, ist ohne weitere Informationen nicht möglich. (Die Korrektheit der Sensordaten wird in den Betrachtungen vorausgesetzt.)

Entsprechend gleich verhält es sich bei dem Überfahren von Bodenunebenheiten. Zwei Szenarien sind in diesem Zusammenhang möglich: Beide Räder aus Abbildung 12 bewegen sich mit der gleichen konstanten Geschwindigkeit. Somit legen beide eine gleich große Distanz zurück (interne Sicht), die sich bei der Betrachtung der Vorwärtsbewegung des Fahrzeuges im Raum (externe Sicht) unterscheidet. Es resultiert eine Lenkbewegung bzw. eine Drehung der Achse. Im Gegenzug ist es jedoch auch möglich, dass das linke Rad seine Drehgeschwindigkeit erhöht, da eine Änderung des Einschlagwinkels der Räder, somit eine Drehung der Achse nicht möglich ist und es bis zum gleichen Zielpunkt in gleicher Zeit eine

weitere Strecke zurücklegen muss. Ein einfaches zugrundeliegendes Fahrzeugmodell kann an dieser Stelle der Grund für eine Fehlinterpretation der Sensordaten sein. Das linke Rad dreht sich schneller, legt somit eine größere Distanz zurück. Diese Konstellation entspricht dem typischen Verhalten einer Kurvenfahrt nach rechts und wird entsprechend in der Auswertung der Daten so gewertet, was dem tatsächlichen Bewegungsablauf und der Bewegungsrichtung des Fahrzeuges jedoch nicht entspricht.

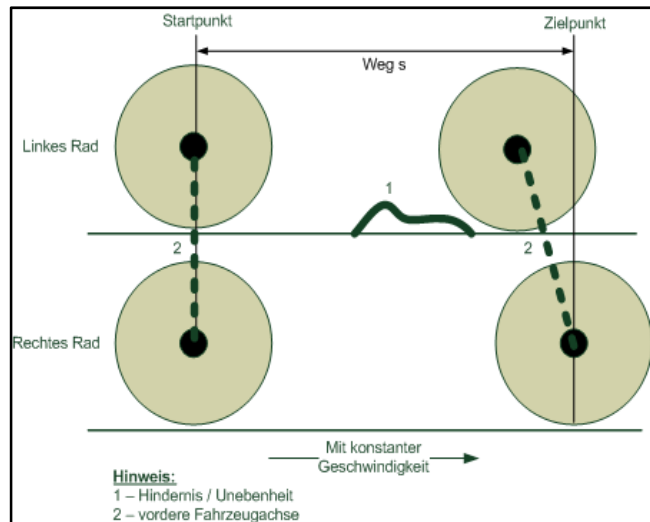


Abbildung 12 - Fehlerszenario bei der Dateninterpretation

Beide beschriebenen Szenarien verdeutlichen exemplarisch die Problematik in Bezug auf die Verarbeitung von Sensordaten. In Verbindung mit den mechanischen Gegebenheiten des Fahrzeugs ergeben sich Herausforderungen die sich speziell im Themengebiet der Odometrie [ODOM] und der Fahrzeugregelung ansiedeln. Themenstellungen wie die Fehlerbegrenzung und Driftkorrektur in der Odometrie [ODOM2], sowie die Entwicklung und Erweiterung von Fahrzeug- und Umweltmodellen befassen sich mit der Lösung der genannten Problemstellungen und den damit verbundenen Fehlerquellen.

6 Ansätze zur Anpassung der bestehenden Regelung

Die folgenden kurzen Ausführungen sollen den aktuellen Stand der Fahrzeugregelung im CaroloCup-Projekt und neue Ansätze und Ideen zur Verbesserung der Fahrzeugregelung und -führung aufzeigen.

6.1 Implementierte Regelung

Als erster Ansatz zur Fahrzeugregelung wurde die Idee verfolgt, das Fahrzeug in einem definierten Abstand zur äußeren Fahrbahnmarkierung zu bewegen [REG_REIM]. Ein einfacher Regelalgorithmus (Abbildung 13) wertet die Differenz zwischen der aktuellen und der festgelegten Distanz von der äußeren Fahrbahnmarkierung aus und errechnet die neue Stellgröße für die Lenkung. Die Motorleistung des Fahrzeuges wird in festgelegten Stufen gesetzt, die abhängig von der Weite der erkannten Fahrbahn gewählt werden. Je weiter weg die Fahrbahn noch erkannt wird, desto schneller fährt das Fahrzeug. Die Motorleistung wird unabhängig von der Geschwindigkeit eingestellt, d.h. der eingestellte Wert entspricht einer Prozentzahl der Motorleistung. Im Betrieb bedeutet dies, dass eine gesetzte Motorleistung von 20% bei unterschiedlicher Akkuleistung, unterschiedliche Geschwindigkeiten bewirkt. Zusätzlich können Störungen, die im Vorfeld schon beschrieben wurden, auftreten und das System in der Lenkung und des Antriebes beeinflussen.

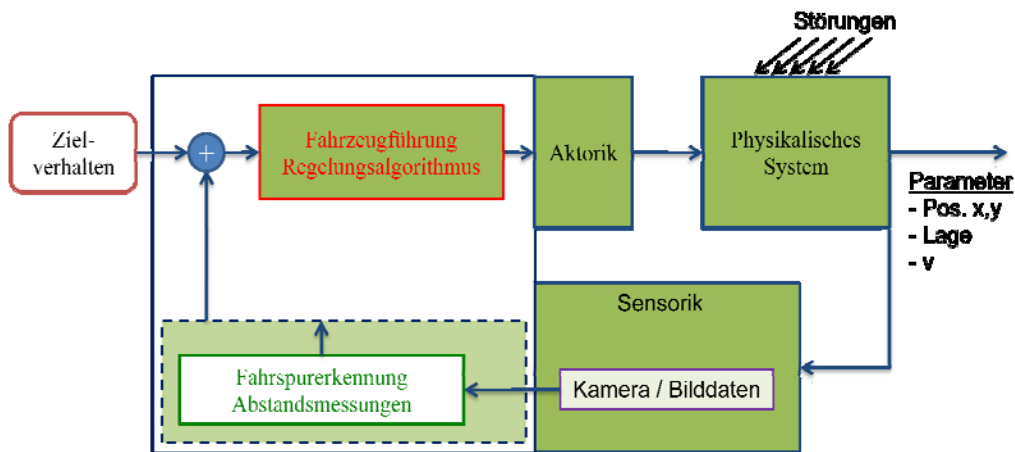


Abbildung 13 - aktueller Stand der Lenkregelung

Ein mathematisches Modell bzw. ein Regelungsentwurf wurde für die Umsetzung der Regelung nicht berücksichtigt. In der derzeitigen Form der Fahrzeugregelung werden wie bereits erkennbar nur wenige Informationen, hauptsächlich Abstandsinformationen zur Fahrbahnmarkierung genutzt, um das Fahrzeug entlang und auf einer Fahrbahn zu bewegen. Dadurch ergeben sich während der Fahrt diverse Problemstellungen, die keine Berücksichtigung finden. Fragestellungen die sich mit der weiteren Fahrzeugführung beim Verlust der Orientierung, die Prüfung der Orientierung anhand der korrekten Fahrbahnlinie oder der Orientierung bei teilweisem Fehlen von Fahrbahnabschnitten befassen, bleiben in diesem Zusammenhang unbeantwortet. Konsequenzen die sich daraus ergeben sind auftretende Orientierungs- und Kontrollverluste.

6.2 Alternative Lösungsansätze

Ein neuer Ansatz ist die Zuhilfenahme und Bündelung von mehr Informationen (Abbildung 14), die das System liefern und bereitstellen kann. So sind Informationen über die Fahrzeuglage und -Position [SYSIDENT] erste mögliche Erweiterungsstufen für eine präzisere Regelung und Fahrzeugführung. Im späteren Verlauf des Entwurfes sind ebenfalls Aspekte wie die Vorhersage von Fahrbahnverläufen, Mapping, die Korrektheit und Aussagekraft von Messdaten und die Betrachtung von zeitlichen Verläufen wie z.B. der Drift des Fahrzeuges vorstellbar und durchaus sinnvoll. Voraussetzung für eine stabile und präzise Regelung ist ein detaillierter, mathematisch fundierter Regelungsentwurf [REGTECH], [GRT] und in Gesamtheit ein entsprechendes Fahrzeugführungskonzept.

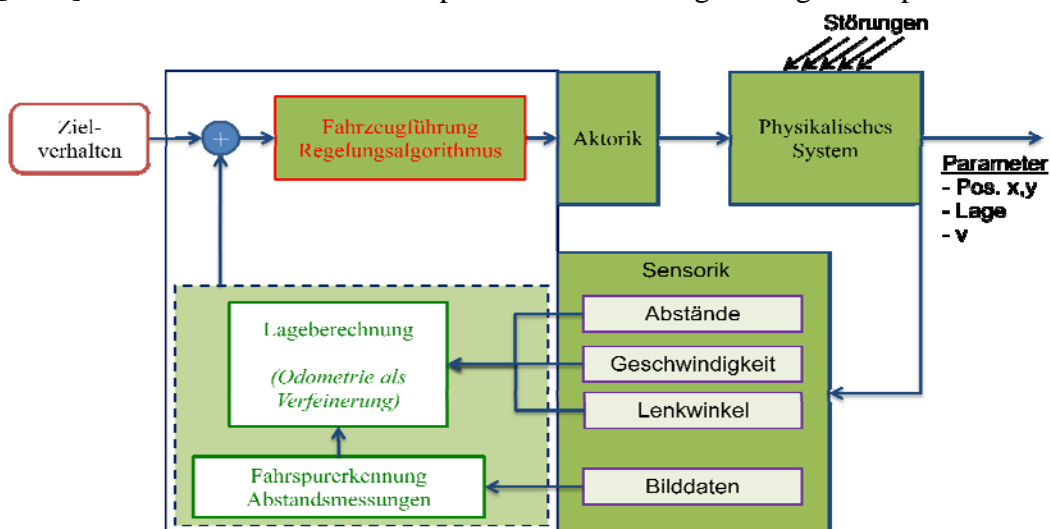


Abbildung 14 - Neuer Regleransatz

7 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Ausarbeitung wurde sich mit der Analyse und Dokumentation des Carolofahrzeugs in Hinblick auf das Themengebiet Regelung und Fahrzeugführung beschäftigt. Ein zentrales Thema ist die Beschreibung der Hardware, die den Aufbau der Fahrzeugplattform, die eingesetzte Sensorik und Aktorik, sowie die Kommunikation auf dem Fahrzeug beinhaltet. Die Analysephase ist einer der ersten Arbeitsschritte und Grundlage für den Entwurf eines Führungskonzeptes. Anhand der Plattformanalyse zeichnen sich Schwachstellen ab, die einen Einfluss auf eine Regelung des Fahrzeuges haben. Faktoren aus dem Bereich der Fahrzeugmechanik sind genauso zu berücksichtigen, wie Umwelteinflüsse und Laufzeiten von Signalen und Algorithmen.

Die Vielzahl von Aspekten die für ein Regelungsentwurf und Fahrzeugführungskonzept eine Rolle spielen zeigt den Umfang und die Komplexität des Themas. Hierin liegen auch die zu nennenden Risiken für weitere Aufgaben auf diesem Gebiet. Voraussetzung für weitere Arbeiten ist die Fertigstellung von Teilaufgaben aus den Aufgabenfeldern der Sensordatenerfassung, Bildverarbeitung und Softwarearchitektur. Da diese Aufgaben Bestandteil von Abschluss-, Projekt- und Seminararbeiten sind, lassen sich Termine der Fertigstellung nur begrenzt festlegen, was einen direkten Einfluss auf künftige Aufgaben aus dem Bereich Regelung und Fahrzeugführung haben kann.

Mit Hinblick auf den Entwurf eines Führungskonzeptes, wurde in dieser Arbeit ein erster Lösungsansatz aufgezeigt, der eine konzeptionelle Erweiterung des aktuellen Regelansatzes darstellt. Die neuen Ansätze bieten Potential für weitere Aufgaben in Hinblick auf zukünftige Veranstaltungen des Masterstudiums und Themen der Regelung und Fahrzeugführung.

Abgrenzung

Auf die Beschreibung des auf dem Hauptrechner zum Einsatz kommenden Softwarekonzeptes und den darin beinhalteten Teilmodulen, wurde aufgrund der Komplexität und aktuell laufender Abschluss- und Projektarbeiten und der damit verbundenen Umstrukturierung der Software verzichtet. [SYSIDENT], [EBERT], [REG_REIM]

8 Ausblick auf Projekt und Masterarbeit

Ein kurzfristiges Ziel ist die Umsetzung eines Grundreglers, der sich mit der Motoransteuerung befasst. Ziel ist es auf Basis des LPC-Sticks eine Regelung zu entwerfen, die sich mit dem Setzen und Halten von einer vom Rechnersystem vorgegebenen Geschwindigkeit befasst und aufbauend das Fahren von vorgegebenen Distanzen absolviert.

Mittelfristig stehen die Fertigstellung des Fahrzeugplattform (Kapitel 4) und der Einstieg in die Thematik der Fahrzeugmodellierung, sowie das Thema des mathematischen Regelungsentwurfes im Fokus.

Langfristiges Ziel in Hinblick auf eine Masterarbeit ist, die Erstellung eines Führungskonzeptes für das Carolofahrzeug, auf Basis eines Fahrzeug- und Umweltmodells. Hauptaufgabe soll die Bewältigung eines Rundkurses sein. Spezielle Fahrsituationen wie das Ausweichen von Hindernissen und Einparken sollen bei diesem Konzept vorerst keine Berücksichtigung finden und Bestandteil anderer Arbeiten werden.

9 Anhang

9.1 Kommunikation zwischen IO-Einheit und Hauptrechner

Kommunikation vom PC

Vor jedem Wert muss ein Start of Frame gesendet werden. Die Werte können voneinander getrennt übermittelt werden.

	<i>Paket ID</i>	<i>Daten</i>	<i>Bedeutung</i>
V_SOLL	0x02	Werte von -1000 bis +1000	Fahrgeschwindigkeit
ALPHA_SOLL	0x03	Werte von -1000 bis +1000	Lenkausschlag (negativ = links)
LIGHT_BREAK	0x07	!= 0 an, sonst aus	Bremslicht
LIGHT_LEFT	0x08	!= 0 an, sonst aus	Blinker links
LIGHT_RIGHT	0x09	!= 0 an, sonst aus	Blinker rechts
LIGHT_FRONT	0x0A	!= 0 an, sonst aus	Fahrlicht
LIGHT_BLUE	0x0B	!= 0 an, sonst aus	blaue "RC-Leuchte"

Kommunikation zum PC

Die Statusmeldungen werden alle 50 ms gesendet. Das Telegramm startet jeweils mit dem Startframe und Endet mit dem Endframe.

	<i>Paket ID</i>	<i>Daten</i>	<i>Bedeutung</i>
TRANSMIT_START	0x55	0x55,0x55,0x55	Start of Frame
TRANSMIT_X	0x01	Wert in cm mal 10 incl. Vorzeichenbit	Zurückgelegt Strecke
TRANSMIT_V	0x02	Wert in cm/s mal 10 incl. Vorzeichenbit	Aktuelle Geschwindigkeit
TRANSMIT_ALPHA	0x03	Wert in % mal 10 incl. Vorzeichenbit	Aktueller Lenkwinkel
TRANSMIT_X_VL	0x04	Wert in cm mal 10 incl. Vorzeichenbit	Zurückgelegte Strecke linkes Rad
TRANSMIT_X_VR	0x05	Wert in cm mal 10 incl. Vorzeichenbit	Zurückgelegte Strecke rechtes Rad
TRANSMIT_IR_LINKS	0x06	Wert in cm mal 10 incl. Vorzeichenbit	IR-Sensor Abstand links
TRANSMIT_IR_RECHTS	0x07	Wert in cm mal 10 incl. Vorzeichenbit	IR-Sensor Abstand rechts
TRANSMIT_ANTRIEBSAKKU_SPG	0x08	Wert in V mal 10 incl. Vorzeichenbit	Antriebsakku Spannung
TRANSMIT_SUPPLYAKKU_SPG	0x09	Wert in V mal 10 incl. Vorzeichenbit	Board-Akku Spannung
TRANSMIT_ANTRIEBSAKKU_STROM	0x0A	Wert in A mal 10 incl. Vorzeichenbit	Antriebsakku Strom
TRANSMIT_SUPPLYAKKU_STROM	0x0B	Wert in A mal 10 incl. Vorzeichenbit	Board-Akku Strom
TRANSMIT_US_VL	0x11	Wert in cm mal 10 incl. Vorzeichenbit	US-Sensor Abstand vorne links
TRANSMIT_US_HL	0x16	Wert in cm mal 10 incl. Vorzeichenbit	US-Sensor Abstand hinten links
TRANSMIT_US_VR	0x17	Wert in cm mal 10 incl. Vorzeichenbit	US-Sensor Abstand vorne rechts
TRANSMIT_US_HR	0x18	Wert in cm mal 10 incl. Vorzeichenbit	US-Sensor Abstand hinten rechts
TRANSMIT_TASTER	0x19	value2!=0 1.Taster gedrückt ; value3!=0 2.Taster gedrückt	Taster am Heck des Fahrzeuges
TRANSMIT_END	0xFF	0xFF,0xFF,0xFF	End of Frame

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Carolo-Fahrzeug	3
Abbildung 2 - Fahrzeugführung.....	4
Abbildung 3 - Ebenen der Fahrzeugführung (Quelle: Dr.Ing. Ullrich Hoppe)	4
Abbildung 4 - Ultraschallsensor	6
Abbildung 5 - Sharp GP2D120.....	6
Abbildung 6 - Sharp GP1A71R	6
Abbildung 7 - Hinderniserkennung	7
Abbildung 8 - TFALDA	7
Abbildung 9 - Kommunikationswege.....	8
Abbildung 10 - Neue FAUST-Plattform Ford F350.....	9
Abbildung 11 – LPC-Stick und IO-Trägerplatinenentwurf	10
Abbildung 12 - Fehlerszenario bei der Dateninterpretation	12
Abbildung 13 - aktueller Stand der Lenkregelung.....	13
Abbildung 14 - Neuer Regleransatz.....	13

11 Bildnachweis

Abbildung 15	Quelle: Dr.Ing. Ullrich Hoppe
Abbildung 4-6	Quelle: [DIPL_TLR]
Abbildung 7	Quelle: [EBERT]
Abbildung 8	Quelle: [TFALDA]
Abildung 10	Quelle: http://www.towerhobbies.com/products/tamiya/tamc0196/tamc0196_450.jpg
Abildung 11	Quelle: http://www.ehitex.de/produkt_bilder/lpc-stick-med.jpg

12 Literaturverzeichnis

- [ACHSL] <http://de.wikipedia.org/wiki/Achsschenkellenkung#Achsschenkellenkung>
WIKIPEDIA: Ackermannlenkung / Achsschenkellenkung
- [BEWEG] <http://bieson.ub.uni-bielefeld.de/volltexte/2003/388/html/tschander.pdf>
Bewegung und Bewegungsverben – Ladina B. Tschander, Universität Hamburg
- [CCR] <http://www.carolo-cup.de/wettbewerb/2008/regelwerk.html> CaroloCup-
Regelwerk 2007 und 2008 (TU-Braunschweig)
- [CCUP] <http://www.carolo-cup.de/> CaroloCup TU-Braunschweig
- [DIPL_TLR] Diplomarbeit Thies Lauk-Reineke „Aufbau einer Versuchsplattform für die
Implementierung und Erprobung von Fahrerassistenzsystemen auf Basis einer
TriCore-CPU mit einem OSEK-Betriebssystem“ 03/2007
- [EBERT] Bachelorarbeit 2008 – Aktives Mapping und Positionsbestimmung eines
autonomen Modellfahrzeuges (Fertigstellung August 2008)
- [FAUST] <http://www.informatik.haw-hamburg.de/faust.html> FAUST-Projekte der HAW
Hamburg
- [FORD] [http://www.tamiya.de/de/produkte/rcmodellautos/bausatzelektro/rtp/
58372/produktdetails.htm](http://www.tamiya.de/de/produkte/rcmodellautos/bausatzelektro/rtp/58372/produktdetails.htm) Tamiya Produktseite Bausatz Ford F-350
- [GRT] Grundkurs der Regelungstechnik L.Merz / H. Jaschek
Oldenbourg Verlag 14. Auflage
- [HOPPE] http://hoppecorp.de/FHTW/skripte/Skript_KFZT2_Teil1.pdf Vorlesung
Kraftfahrzeugtechnik 2, Dr.Ing. Ullrich Hoppe
- [INF3CORE] [http://www.infineon.com/cms/en/product/channel.html?
channel=ff80808112ab681d0112ab6b64b50805](http://www.infineon.com/cms/en/product/channel.html?channel=ff80808112ab681d0112ab6b64b50805) Infineon TriCore 1766
- [ITRUCK] <http://www.informatik.haw-hamburg.de/725.html> IntelliTruck der HAW
Hamburg
- [LPC] <http://www.hitex.com/lpc-stick/> Datenblatt, Handbuch, Pinbelegungsplan
- [NANO] [http://www.via.com.tw/en/products/mainboards/
motherboards.jsp?motherboard_id=361](http://www.via.com.tw/en/products/mainboards/motherboards.jsp?motherboard_id=361) VIA EPIA-NL Series Nano ITX
- [ODOM] Odometrie und lokale Karten – Thomas Röfer Universität Bremen
- [ODOM2] <http://www.informatik.uni-leipzig.de/~pantec/khepera/diffeq/> Echtzeit-
Lernverhalten zur Fehlerbegrenzung und Driftkorrektur für Odometrie-basierte
Lokalisierungsfahren, Ralf Der und Thomas Pantzer, 2000

- [REG_REIM] Bachelorarbeit 2008 – Fahrbahnverfolgung und Geschwindigkeitsregelung mittels eines Fuzzy-Logik Reglers für ein autonomes Modellfahrzeug (Fertigstellung September 2008)
- [REGSTRAT] Regelungsstrategien für automatische Fahrzeugführung – Längs- und Querregelung, Spurwechsel- und Überholmanöver R.Mayr 2000
- [REGTECH] Regelungstechnik Prof.Dr. Karl – Fachbereich Nachrichten- und Feinwerktechnik Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg 2001
- [SHARPIR] <http://document.sharpsma.com/files/GP2D120-DATA-SHEET.PDF>
Datenblatt Sharp GP2D120 Infrarotsensor
- [SHARPIN] http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/G/P/1/A/GP1A71R.shtml
Datenblatt Sharp GP1A71R Gabellichtbrücke / Inkrementalgeber
- [SICHAF] Design und Implementation eines Sicherheitskonzepts für den Betrieb eines autonomen Fahrzeuges, Bachelorarbeit 2007 Hensel, Enrico
- [SCHLW] <http://de.wikipedia.org/wiki/Schlupf> Wikipedia, Beschreibung von Schlupf an Reifen
- [SYSIDENT] Systemidentifikation eines autonomen Fahrzeuges mit einer robusten, kamerabasierten Fahrspurerkennung in Echtzeit – Eike Jenning, Fertigstellung Dezember 2008
- [TFALDA] http://issuu.com/db_nipsi.de/docs/studienarbeit_tfalda Studienarbeit Dennis Berger „Fahrspurerkennung mit Three Feature Based Lane Detection Algorithm (TFALSA)“
- [USSRF] <http://www.roboter-teile.de/datasheets/srf10.pdf> Beschreibung des Ultraschallsensors SRF10 Ultraschallsensoren SRF10 Beschreibung

13 Glossar

Steuern

Der Begriff steuern ist eng an den Begriff lenken angelehnt. Merkmale des Steuerns sind:

- Zielsetzung von außerhalb des Systems
- Auswahl zielgerichteter Maßnahmen von außen
- Keine automatische Berücksichtigung von Rückwirkungen der Ausgangs- und Eingangsgrößen

Somit lässt sich Steuern als ein Eingriff von außen in ein System beschreiben.

Regeln

Merkmale des Regelns sind:

- Laufende Messungen der IST- und Regelgrößen
- Rückkopplungsschleifen
- Sich selbst beeinflussende Regelgrößen
- Abweichungen (Regeldifferenzen) lösen automatisch eine Anpassung aus

Regeln bedeutet somit, es entsteht ein geschlossener Wirkungskreislauf.

AOI

Mit AOI (area of interest) lässt sich ein Ausschnitt aus einem Bild definieren, der bearbeitet werden soll. Durch dieses Verfahren lassen sich (Bild-) Datenmengen reduzieren, was eine schnellere Bearbeitung der Bilder ermöglicht. In der Literatur wird auch von ROI (region of interest) gesprochen, was denselben Sachverhalt beschreibt.

PWM

Die Pulsweitenmodulation (oft mit PWM abgekürzt) wird vornehmlich zum Ansteuern größerer Lasten wie z.B. Motoren verwendet. Mikrocontroller haben daher oft bereits spezielle PWM-Ausgänge integriert. Bei der Pulsweitenmodulation werden Impulse mit voller Spannung, aber variabler Breite an die Last gesendet. Ein Rechtecksignal mit konstanter Frequenz wird also mit einem bestimmten Tastverhältnis moduliert. Eine PWM ist also charakterisiert durch ihre Frequenz und ihr Tastverhältnis.

(Quelle: <http://www.roboternetz.de/wissen/index.php/Pulsweitenmodulation>)

SMD

Der Begriff oberflächenmontierbares Bauteil (englisch surface-mounted device, SMD) ist ein Fachbegriff aus der Elektronik. Diese Bauelemente (z. B. Widerstände oder Kondensatoren) haben im Gegensatz zur Durchsteckmontage keine Drahtanschlüsse, sondern werden mittels lötfähiger Anschlussflächen direkt auf eine Leiterplatte (Flachbaugruppe) gelötet. Diese Bauform zeichnet sich durch seinen geringen Platzbedarf aus.

(Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Surface_Mounted_Device)