



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Ausarbeitung: Anwendungen 2 Sommersemester 2012

Hauke Schröder

Human-biologisch motivierte Regelung autonomer
Systeme

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	2
1.1	Rückblick	2
1.2	Forschungsprojekt FAUST	3
2	Related Works	4
2.1	Where we look when we steer	4
2.1.1	Bewertung	5
2.2	Modeling of Human Behaviors in Real Driving Situations	5
2.2.1	Bewertung	6
2.3	Realization of Human Driving Skill Models Based on Embed Microcontroller	7
2.3.1	Bewertung	8
2.4	Design of a Universal Self-Driving System for Urban Scenarios - BIT-III in the 2011 Intelligent Vehicle Future Challenge	8
2.5	Modeling Driver Behavior in a Cognitive Architecture	10
2.5.1	Bewertung	10
3	Status quo	12
3.1	Projektplan und Ausblick	12
	Literatur- und Quellenverzeichnis	14

Zusammenfassung

Diese Ausarbeitung beschäftigt sich mit dem Ansatz, ein autonomes Fahrzeug mit einer human-biologisch motivierten Regelung zu steuern. In diesem Bericht werden schwerpunktmäßig Verknüpfungen zu verwandten Arbeiten hergestellt und eine thematische Einordnung geschaffen.

1 Einführung

In dieser Ausarbeitung für die Veranstaltung “Anwendungen 2“ werde ich, nach einem kurzen Rückblick auf die Ausarbeitung “Anwendungen 1“, verschiedene verwandte Arbeiten vorstellen, die jede für sich einen bestimmten Aspekt des durchzuführenden Projekts beinhalten und diese mit Hinblick auf meine eigene Arbeit bewerten.

1.1 Rückblick

In meiner Ausarbeitung zu der Veranstaltung “Anwendungen 1“ [8] habe ich einen Einblick in das Thema “Human-biologisch motivierte Regelung autonomer Systeme“ und meiner Idee zur Lösung der Problematik gegeben.

Ein Großteil der heute ausgelieferten Kraftfahrzeuge, speziell Personenkraftwagen, besitzen ein Antiblockiersystem, einige ein elektronisches Stabilitätsprogramm und wenige Spurhalte- oder Spurwechsel-, Notbrems- oder Toter-Winkel-Assistenten, Abstandsregelautomaten oder andere aktiv eingreifende Assistenzsysteme. Durch die Unterstützung des Menschen durch diese Assistenzsysteme ändert sich der Automatisierungsgrad von manueller hin zu teilautomatisierter Steuerung. Der nächste Entwicklungsschritt ist der Übergang zur vollautomatisierten Steuerung eines Fahrzeugs und ist unlängst viel komplexer als der vergangene Schritt. Hierbei ist die Anforderung an das System, dass es alle Aufgaben des Fahrers übernimmt und diese mindestens genauso gut durchführt wie ein Mensch. Dass diese Systeme keine Utopie sind, wurde in verschiedenen Forschungsprojekten [12][15] bereits nachgewiesen. In beiden Projekten ist neben viel Rechenleistung und diversen Sensoren auch eine sehr detaillierte Karte der Fahrstrecke notwendig, auf die das Fahrzeug zurückgreifen kann. Dies schränkt das Einsatzgebiet stark ein. Allerdings kann es selbst in diesen stark begrenzten Einsatzgebieten zu unvorhersehbaren Situationen kommen, die Menschen tadellos meistern können, während das autonome System nichts tun kann, außer zu versuchen einen Fail-Safe-Zustand zu erreichen.

Um den ständig neuen Anforderungen der realen Welt gerecht werden zu können, hat der

Mensch die Fähigkeiten erlernt, mit diesen Anforderungen umgehen zu können. Adaption und Abstraktion ermöglichen es uns bekannte Probleme zu erkennen, Unterschiede zu Vergangenen zu erkennen und eine speziell auf das aktuell vorliegende Problem angepasste Lösung zu entwickeln. Diese Fähigkeiten erscheinen uns selbstverständlich, doch sind sie alles andere als trivial.

Im Verlauf dieser Ausarbeitung soll auf Grundlage verwandter Arbeiten eine Idee zur Lösung der genannten Problemstellung erarbeitet werden. Zur Argumentation werden die genannten Arbeiten herangezogen.

1.2 Forschungsprojekt FAUST

Das FAUST-Projekt [5] des Departments für Informatik der Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg forscht im Bereich der **Fahrerassistenz-** und **autonomen Systeme**. Die entwickelte Hard- und Software kommt auf verschiedenen selbst entwickelten Hardwareplattformen zum Einsatz. Die Schwerpunkte der Forschung liegen hierbei auf:

- Sensorik und Telemetrie
- Bildverarbeitung
- Steuerung
- Hard- und Softwarearchitektur
- Algorithmik

Die Forschung in diesem Bereich ist in heutiger Zeit sehr wichtig, da die Zahl der Assistenzsysteme in modernen Fahrzeugen stetig wächst. Das Ziel dieser Systeme ist es, die Sicherheit und den Fahrkomfort beim Führen eines Kraftfahrzeugs zu erhöhen.

Die Carolo-Fahrzeuge der Forschungsgruppe FAUST nehmen regelmäßig am Carolo-Cup [4], der jährlich von der technischen Universität Braunschweig ausgerichtet wird, teil. Das Ziel dieses Studentenwettbewerbs ist es, in dynamischen und statischen Disziplinen möglichst viele Punkte zu erreichen. Hierzu gehört das Befahren eines Parcours mit und ohne Hindernissen, ein Einparkvorgang und ein Vortrag vor einer Fachjury, die aus Experten der Sponsoren und Lehrkräften verschiedener Hochschulen besteht.

2 Related Works

Die vier nachfolgend vorgestellten Arbeiten umreißen den Rahmen in dem das Projekt durchgeführt wird. Ein autonomes Vehikel nimmt Informationen, mit einer Kamera auf und verarbeitet diese direkt auf dem Fahrzeug. Die verwendeten Algorithmen übernehmen die Steuerung des Fahrzeuges. Diese basiert auf Hintergrundinformationen, die auf Grundlage von Tests mit Menschen entstanden sind, mit Hilfe von Entscheidungsalgorithmen ausgewählt und für neue Situationen angepasst werden.

2.1 Where we look when we steer

Diese Arbeit von Land & Lee [9] beschäftigt sich mit der Untersuchung der simultan aufgezeichneten Blick- und Lenkwinkel beim Befahren einer kurvigen Strecke.

Hierfür wurde ein PKW mit Sensorik ausgestattet, die es ermöglicht den aktuellen Lenkwinkel am Lenkrad und den Blickwinkel zu erfassen. Der Blickwinkel ist in diesem Fall die Summe aus Kopf- und Augenstellwinkel relativ zur Fahrtrichtung des PKWs. Die Winkel wurden gegen die Zeit aufgetragen und ergaben das in Abbildung 1 dargestellte Diagramm für zwei Testpersonen.

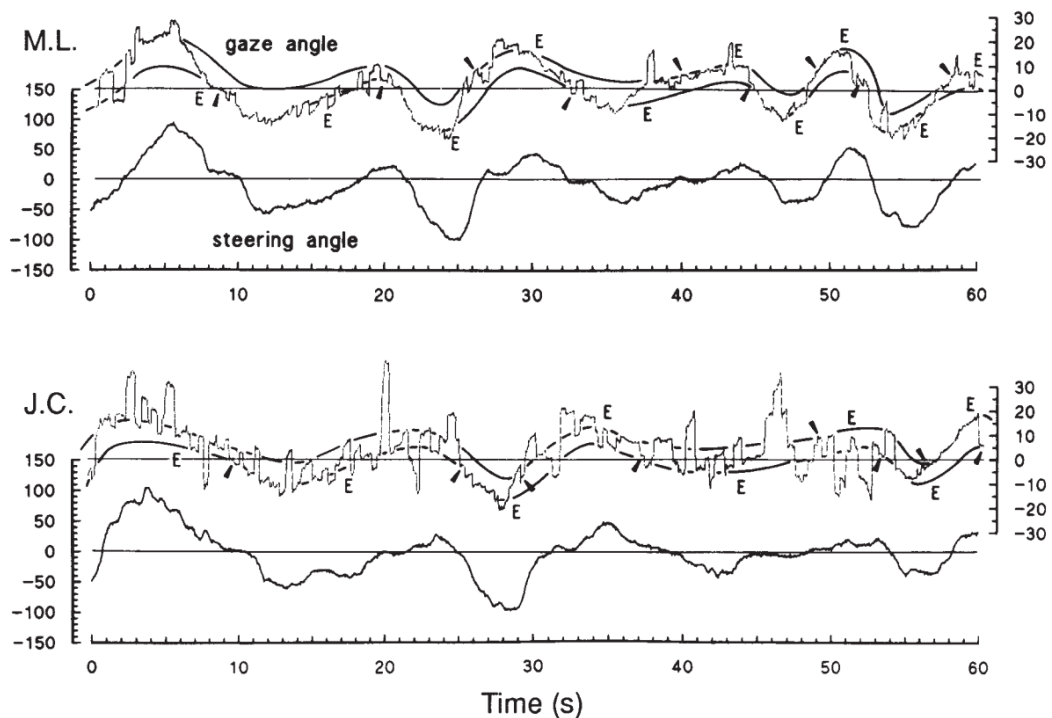


Abbildung 1: Simultane Aufnahme von Blick- und Lenkwinkel

Die Diagramme enthalten zwei Kurven. Die obere stellt den Blickwinkel in Abhängigkeit des Straßenverlaufs dar und die untere den Lenkwinkel. Eine direkte Abhängigkeit zwischen Straßenverlauf und Lenkwinkel ist deutlich zu erkennen. Kleine Pfeile markieren das erste bewusste Fixieren des Tangentenpunktes der Kurve. Ein *E* markiert dessen Verschwinden. Bei genauerem Betrachten fällt auf, dass Fahrer M.L. etwas schneller gefahren ist, als Fahrer J.C., wobei letzterer seinen Blick öfter von der Fahrbahn abgewandt hat. Allerdings gibt es bei beiden Fahrern Momente in denen diese ihren Blick nicht von der Straße abwenden (M.L. 48-51 s, J.C. 56-59 s), was auf schwierige oder unübersichtliche Fahrbahnabschnitte schließen lässt.

Weiter konnte auf Grundlage dieser Studie festgestellt werden, dass der Tangentenpunkt einer Kurve durchschnittlich ab der dritten Sekunde vor Erreichen der eigentlichen Kurve zunehmend fixiert wird.

2.1.1 Bewertung

Land & Lee haben den Zusammenhang zwischen Lenk- und Blickwinkel deutlich dargelegt. Die Erkenntnis, dass die Kurve bereits einige Sekunden vor dem Erreichen dieser mit abnehmender Distanz verstärkt wahrgenommen wird, kann bei der Entwicklung einer Software zur Steuerung eines autonomen Fahrzeugs berücksichtigt werden.

2.2 Modeling of Human Behaviors in Real Driving Situations

90% aller Unfälle von Personen- und Lastkraftwagen sowie Bussen resultieren aus Fahrfehlern. Diese Statistik ist die Begründung, die Miyazaki et al. [16] für die Analyse menschlichen Fahrverhaltens mit Hinblick das Bremsverhalten anführen. Das Ziel ist die Entwicklung eines Unfallverhütungssystems, das dem Fahrer Hinweise zu einem bevorstehenden Unfall geben kann oder aktiv durch Bremsen in das Fahrverhalten eingreifen kann. In diesem Artikel geht es um das, in Abbildung 2, dunkel eingefärbte Modul *Human behavior prediction*.

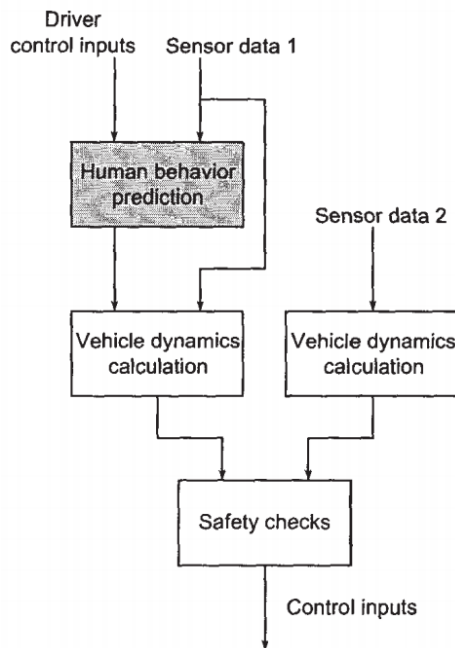


Abbildung 2: Blockdiagramm eines Systems zur Kollisionsvermeidung

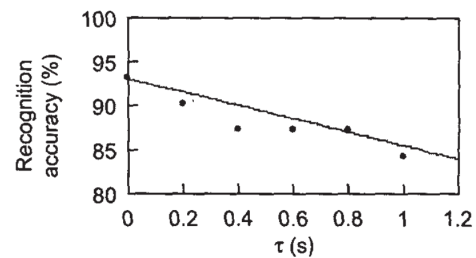


Abbildung 3: Durchschnittliche Klassifikationsgenauigkeit in Abhängigkeit der Zeit

Dieses Modul dient der Vorhersage der Absichten des Fahrers. Als Grundlage für diese Vorhersagen werden Lenk-, Brems- und Beschleunigungspatterns aus realen Daten erstellt. Das Ziel ist eine Aussage darüber machen zu können, ob ein Fahrer plant zu bremsen oder nicht. Für die Entscheidungsfindung werden ressourcenhungrige *discrete density Midden Markov Models* verwendet.

Das Ergebnis dieser Arbeit ist ein Vorhersagemodul, das mit einer Genauigkeit von etwa 85% voraussagen kann, ob der Fahrer des Testfahrzeuges plant in der nächsten Sekunde zu bremsen oder nicht. Diese Klassifikationsgenauigkeit steigt mit abnehmender Zeit bis zum Eintritt einer Aktion (siehe Abbildung 3).

2.2.1 Bewertung

Die Autoren dieses Artikels geben an, dass die verwendeten Hidden Markov Models untauglich für ressourcenschwache Systeme und somit für den von mir geplanten Zweck eines Vorhersagemodells untauglich sind.

2.3 Realization of Human Driving Skill Models Based on Embed Microcontroller

Die Arbeit von Shangchang et al. [14] ist durch zwei verschiedene Aspekte motiviert. Zum einen damit, dass für das Steuern eines Fahrzeugs diverse Hintergrundinformationen notwendig sind und zum anderen, dass die menschlich bedingte Unfallwahrscheinlichkeit altersbedingt fluktuiert. So sind junge Fahrer aufgrund mangelnder Fahrerfahrung und alte Fahrer bedingt durch abnehmende Fähigkeiten stärker unfallgefährdet als Personen anderer Altersgruppen.

Zur Vermeidung von Unfällen werden Systeme zur automatischen Steuerung von Fahrzeugen entwickelt. Wie beispielsweise bei der industriellen Produktion oder beim Spielen von Musikinstrumenten, so ist auch beim Steuern eines Fahrzeuges sehr viel Erfahrung bei der Manipulation von Wissen erforderlich. Gelingt der Schritt der Abstraktion dieser Fähigkeit, kann ein System entwickelt werden, mit dessen Hilfe eine bestimmte Tätigkeit nicht nur automatisiert, sondern auch verbessert werden kann. Da es bisher kein physikalisches Modell menschlicher Fähigkeiten gibt, richten Forscher ihre Aufmerksamkeit auf die Identifikation von Systemen bei der Modellierung der Manipulationsfähigkeiten von Menschen, so die Autoren. Es gibt bereits einige Ansätze [10][11] zur Modellierung dieser. Als Plattform wird hier ein PC eingesetzt, der die Flexibilität bei der Anwendung stark einschränkt.

In dieser Arbeit wurde ein ferngesteuertes Fahrzeug mit einem Mikrocontroller (OMAP3530), einer Kamera und weiterer Sensorik ausgestattet. Dieses dient als Plattform für die Anwendung der Algorithmen aus den beiden zuvor genannten Quellen. Nachfolgend ist links ein Modell dargestellt, bei dem ein PC die Berechnung der Algorithmen durchführt und rechts ein Strukturplan der zuvor genannten Plattform. Alle Berechnungen finden auf dem OMAP3550 statt.

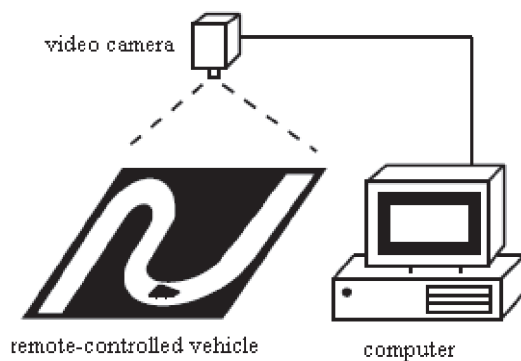


Abbildung 4: Schematische Darstellung der PC-basierten Versuchsumgebung

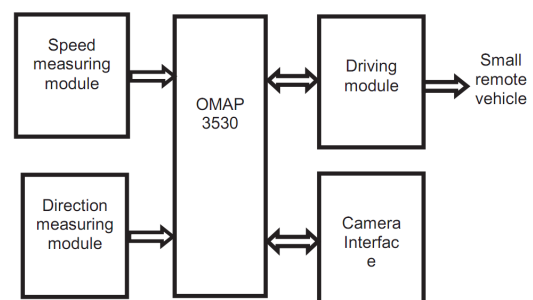


Abbildung 5: Strukturplan des Systems zur automatischen Steuerung des ferngesteuerten Fahrzeugs

2.3.1 Bewertung

Diese Arbeit zeigt, dass aufwendige Algorithmen auf Mikrocontrollern implementiert werden können. Dieser Einschränkung unterliegt die angestrebte Software nicht, da diese auf der Carolo-Plattform ein [2] eingesetzt, dessen Performance größer ist als die eines Mikrocontrollers.

2.4 Design of a Universal Self-Driving System for Urban Scenarios - BIT-III in the 2011 Intelligent Vehicle Future Challenge

Bei der *Intelligent Vehicle Future Challenge* treten Forschungsteams mit ihren Fahrzeugen gegeneinander an, um einen zehn Kilometer langen Weg mit verschiedenen Herausforderungen in unter 50 Minuten zu befahren. Die Arbeit von Yan Jiang et al. [17] beschreibt grundlegend die Architektur inklusive der vier Kernkomponenten und zeigt eine Analyse der Performance des Systems in verschiedenen Szenarien.

Nachfolgend ist die Architektur dargestellt, wobei die zuvor angesprochenen Kernkomponenten anschließend kurz beschrieben werden:

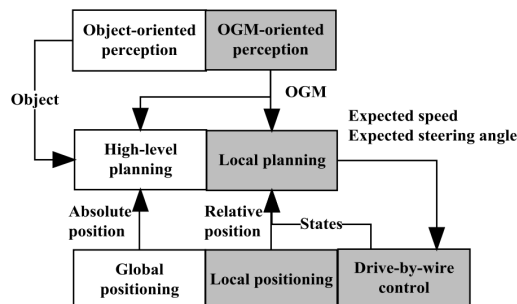


Abbildung 6: Architektur

- Perception:
Die Komponente *Perception* hat zwei Outputmodi, *Object-oriented perception* und *OGM-oriented perception*. Dieses Modul liefert den beiden Planungskomponenten Daten in Form von vorbestimmten Objekten (Fußgänger, Fahrzeuge, Hindernisse...) oder Occupancy Grid Maps.

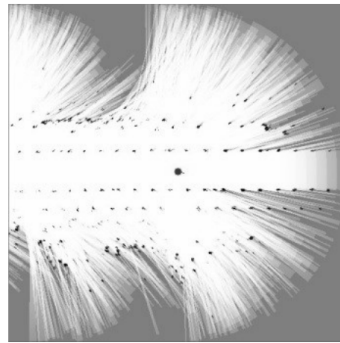


Abbildung 7: Beispiel einer Occupancy Grid Map

Das Befahren von Bereichen mit Objekten hat höhere Kosten als das Befahren freier Felder. Die Daten für beide Perzeptionsmodule werden von verschiedenen Sensoren aufgenommen und entsprechend einem Sensormodell zusammengefügt.

- **Planning:**
Die Planungskomponente besteht aus zwei Teilkomponenten, *local planner* und *high-level planner*. Der *local planner* sorgt dafür, dass das Fahrzeug den vom *high-level planner* vorgegebenen Pfad befahren kann ohne dabei mit Objekten, wie Fußgängern oder Fahrzeugen zu kollidieren. Hierbei werden mehrere mögliche Pfade, ausgehend vom Fahrzeug, bestimmt. Diese Pfade werden mit Hinblick auf den vom *high-level planner* vorgegebenen Pfad und möglichen Störungen untersucht und der beste wird als nächstes Fahrziel bestimmt.
- **Positioning:**
Der *local planner* benötigt zur Bestimmung des Pfades Fahrzeugkoordinaten, diese werden aus dem letzten Zustand und den Änderungen für den aktuellen Zustand ermittelt. Alle Planungen werden somit auf Grundlage von relativen Positionsdaten gemacht. Weiter werden dem *high-level planner* GPS Daten zur Verfügung gestellt.
- **Controlling:**
Vom *local planner* werden vorgesehene Geschwindigkeit und Lenkwinkel erzeugt. Die Aktuatoren zur Steuerung des Fahrzeugs werden getrennt betrachtet. Alle Komponenten des Automatikfahrzeugs sind durch drive-by-wire ansteuerbar. Die Lenkwinkel werden aus dem Input übernommen, da diese mit der geplanten Kurve direkt übereinstimmen. Für die Ansteuerung der beiden Signale (Brems- und Gaspedal) wurde eine selbst-regelnder PID-Regler entwickelt.

Im Kapitel Performanceanalyse wird beschrieben, dass es trotz ungleichmäßiger Lichteinstrahlung keine Probleme bei der Erkennung der Fahrbahn gab. Wenn sich Hindernisse

auf der Fahrbahn befunden haben, wurden diese umfahren und wenn ein Fahrzeug entgegen kam, konnte die gelbe doppelte Linie als Trennlinie zwischen den verschiedenen Fahrtrichtungen erkannt werden. Beim Befahren von Kreuzungen traten Probleme für den *local planner* aufgrund fehlender Fahrbahnmarkierungen auf, die allerdings erfolgreich vom *high-level planner* abgefangen werden konnten. Langsamer fahrende Fahrzeuge wurden erfolgreich überholt.

2.5 Modeling Driver Behavior in a Cognitive Architecture

Das Paper von Salvucci[13] stellt die *ACT-R Cognitive Architecture* [1] in Zusammenhang mit der Modellierung des Fahrerverhaltens eines PKWs dar. Dieses Frameworks wurde auf Grundlage von psychologischen Erkenntnissen entwickelt. Es werden grundlegende Fähigkeiten des Menschen zur Verfügung gestellt, genauso wie alle Aktionen Einschränkungen (sequentielle Verarbeitung, eingeschränktes Multitasking etc.) unterliegen.

Das entwickelte Modell des menschlichen Fahrerverhaltens basiert auf dem ETA Framework (Byrne, 2001[3]; Gray, 2000[6]; Gray & Boehm-Davis, 2000[7]). Dieses besteht aus drei Komponenten, wobei die erste dieser Komponenten der *Task*, also die Steuerung des Fahrzeugs (operationale, taktische und strategische Prozesse) ist. Die zweite ist das *Artifact*, also das zu steuernde Vehikel und dessen Interface (Lenkrad, Gaspedal, Radio, Außenspiegel etc.). Die dritte Komponente wird *Embodied Cognition* betitelt und beschreibt die Durchführung der *Tasks* im Umfeld des spezifischen *Artifacts*.

Wie bereits zuvor erwähnt, werden die Fähigkeiten und Einschränkungen des Menschen simuliert, so können zwar Wahrnehmung, motorische Tätigkeiten und kognitive Prozesse parallel durchgeführt werden, jedoch arbeitet der kognitive Prozessor nur seriell. Dies ermöglicht dem Prozessor lediglich eine aufeinander folgende Bearbeitung der Aufgaben. Dieser nimmt Informationen bei den wahrnehmenden Prozessen auf und initiiert entsprechende motorische Aktionen. Benötigtes Hintergrundwissen liegt als deklaratives Wissen (Berlin ist die Hauptstadt von Deutschland) oder als prozedurales Wissen (wenn ein Hindernis vor mir ist, muss gebremst oder ausgewichen werden) vor.

Entsprechend dem ETA Modell wurden drei Komponenten (Controlling, Monitoring und Decision Making) für das Modell des Fahrerverhaltens mit entsprechenden Aufgaben entwickelt.

2.5.1 Bewertung

Die in LISP entwickelte *ACT-R Cognitive Architecture* gewährleistet, dass entwickelte Algorithmen von der Hardware so bearbeitet werden, wie es ein menschliches Gehirn tun würde. Mit der Möglichkeit diese Simulationsumgebung zu nutzen, um Fahrzeuginterieur und Geräte in Fahrzeugen zu testen und nutzbarer machen zu können ist der Nutzen nicht nur theoretischer, sondern auch praktischer Art. Je größer die Usability eines Interfaces ist,

desto geringer ist der kognitive Aufwand und desto mehr Zeit kann der Fahrer seiner eigentlichen Aufgabe, dem Steuern des Fahrzeugs, widmen. Da im Rahmen des durchzuführenden Projekts keine Simulation der menschlichen Fähigkeiten und ihrer Einschränkungen erstellt werden soll, sondern ganz bestimmte menschliche Fähigkeiten in Algorithmen gefasst werden sollen, sind lediglich bestimmte Aspekte von vorhanden kognitiven Architekturen interessant.

Beim Lesen des Papers fällt auf, dass sehr viele Quellen aus den 90er Jahren zitiert werden. Nach Sichtung einiger dieser Quellen kann darauf geschlossen werden, dass essentielle Grundlagenforschung in diesem Bereich in dieser Zeit betrieben worden ist.

3 Status quo

In der Veranstaltung “Projekt 1“ habe ich eine Testsoftware entwickelt, mit deren Hilfe das menschliche Sehen und Fokussierverhalten untersucht werden soll. Hierfür wurden im Usability Labor der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg entsprechende Tests durchgeführt. Die Auswertung dieser Tests und eine darauf basierende Extraktion von Postulaten werden die nächsten Schritte sein. Alles weitere ist dem in Abbildung 8 dargestellten Projektplan zu entnehmen.

3.1 Projektplan und Ausblick

Nachfolgend wird ein Projektplan dargestellt, der die Einteilung des Projekts in Phasen und den aktuellen Stand des Projekts zeigt.

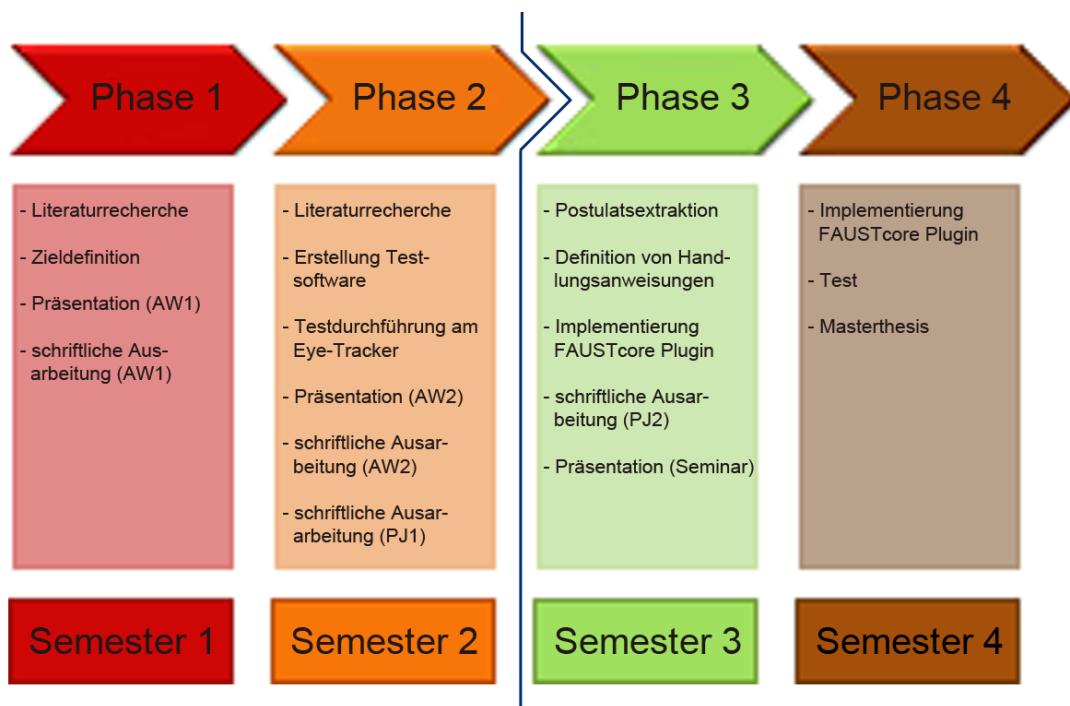


Abbildung 8: Projektplan

Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] ACT-R. URL <http://act-r.psy.cmu.edu/>.
- [2] Axiomtek. Pico-PC. URL http://http://www.axiomtek.de/produkt/79/Intel___Atom____Pico-ITX_SBC_with_CRT_LVDS_LCD___SATA___LAN_and_SDIO.
- [3] M. D. Byrne. Act-r/pm and menu selection: Applying a cognitive architecture to hci, 2001.
- [4] Carolo-Cup. Carolo-Cup. URL <http://www.carolo-cup.de/>.
- [5] Forschungsprojekt FAUST. URL <http://www.informatik.haw-hamburg.de/faust.html>.
- [6] W. D. Gray. The nature and processing of errors in interactive behavior, 2000.
- [7] W. D. Gray and D. A. Boehm-Davis. Milliseconds matter: An introduction to micro-strategies and to their use in describing and predicting interactive behavior., 2000.
- [8] Hauke Schröder. Ausarbeitung AW1: Human-biologisch motivierte Regelung autonomer Systeme, Februar 2012.
- [9] M. F. Land and D. N. Lee. Where we look when we steer. *Nature*, 369, 1994.
- [10] S. C. Ma, T. D. Zanma, and M. A. Ishida. Abstraction and implementation of human skill by hybrid dynamical system theory - application to an automatic driving system, 2006.
- [11] S. C. Ma, T. D. Zanma, and M. A. Ishida. Identification of switched systems with unknown switch points, 2006.
- [12] Pressestelle TU Braunschweig. Weltweit erstes automatisches Fahren im realen Stadtverkehr. 133, 2010. URL <https://www.tu-braunschweig.de/presse/medien/presseinformationen?year=2010&pinr=133>.
- [13] Dario D. Salvucci. Modeling driver behavior in a cognitive architecture, 2006.
- [14] Shangchang Ma, Bifeng Yang, Yanjun Zhan, Sujuan Zhang and Chao Wang. Realization of Human Driving Skill Models Based on Embed Microcontroller. *2nd International Symposium on Information Engineering and Electronic Commerce (IEEC) 2010*, 2010.
- [15] Stefan Grundhoff. Fährt sich wie von selbst. *Zeit online*, 2011. URL <http://www.zeit.de/auto/2011-09/automatisiert-fahren>.

- [16] Tomoaki Miyazaki, Tetsuji Kodama and Takeshi Furuhashi, and Hiroshi Ohno. Modeling of Human Behaviors in Real Driving Situations. *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings - Oakland (CA), USA - August 25-29, 2001*, 2001.
- [17] Guangmin Xiong Yong Zhai Xijun Zhao Shengyan Zhou Yanhua Jiang Yuwen Hu Yan Jiang, Jianwei Gong and Huiyan Chen. Design of a universal self-driving system for urban scenarios - bit-iii in the 2011 intelligent vehicle future challenge, 2012.

Abbildungsverzeichnis

1	Simultane Aufnahme von Blick- und Lenkwinkel	4
2	Blockdiagramm eines Systems zur Kollisionsvermeidung	6
3	Durchschnittliche Klassifikationsgenauigkeit in Abhängigkeit der Zeit	6
4	PC-basierte Versuchsumgebung	7
5	Strukturplan des Systems zur automatischen Steuerung	7
6	Architektur	8
7	Beispiel einer Occupancy Grid Map	9
8	Projektplan	12