

Eine flexible Architektur für Fahrerassistenzsysteme

Uwe Handmann*, Iris Leefken* und Christos Tzomakas*

Institut für Neuroinformatik, Ruhr Universität Bochum, 44780 Bochum

*Institut@neuroinformatik.ruhr-uni-bochum.de

Kurzfassung: *In diesem Artikel wird eine flexible Architektur vorgestellt, mit deren Hilfe eine modulare Lösung von Fahrerassistenzaufgaben in Kraftfahrzeugen gezeigt werden kann. Es wird eine Objektbezogene Analyse von Sensordaten, eine Verhaltensbasierte Szeneninterpretation und eine Verhaltensplanung vorgestellt. Eine globale Wissensbasis, auf der jedes einzelne Modul arbeitet, beinhaltet die Beschreibung physikalischer Zusammenhänge, Verhaltensregeln für den Straßenverkehr, sowie Objekt- und Szenenwissen. Externes Wissen (z.B. GPS – Global Positioning System) kann ebenfalls in die Wissensbasis eingebunden werden. Als Anwendungsbeispiel der Verhaltensplanung wird ein intelligenter Tempomat vorgestellt.*

Schlüsselworte: *Fahrerassistenzsystem, Architektur, Computer Vision*

1 Einführung

Beim Entwurf eines Systems zur Fahrerassistenz im Straßenverkehr ergeben sich vielfältige Probleme. Die aufgrund der Sensordaten ermittelten Informationen über die Umgebung sind oft fehlerhaft, widersprüchlich oder unvollständig. Um konsistente Aussagen über ein Szenario machen zu können, müssen die akquirierten Daten der Sensoren integriert und interpretiert werden. Eine höhere Konfidenz kann durch eine zeitliche Stabilisierung der Ergebnisse, sowie durch die Ausnutzung von Vorwissen erreicht werden.

In der Literatur wurden diverse Vorschläge für Einzelverhalten von Fahrerassistenzsystemen präsentiert. So haben Rossi et. al. [9] ein System zur Warnung bei Verlassen der Spur oder zu nahem Auffahren vorgestellt. Mit einem System, welches von Bertozzi und Broggi [1] entwickelt wurde, werden durch eine manuelle Auswahl aus einem vorgegebenen Repertoire Einzelaktionen zur Fahrerassistenz im Fahrzeug umgesetzt. Eine Veröffentlichung von von Holt und Baten [11] stellt eine Architektur für autonome Assistenzsysteme vor, die zur Repräsentation der Umgebung den 4D-Ansatz von Dickmanns et. al. [3] verwendet. Die vorgestellten Systeme wurden für den Einsatz auf Autobahnen entwickelt. Franke und Görzig präsentierten in [4] ein System für den Stadtverkehr.

Im Gegensatz dazu wird in diesem Artikel auf eine flexible, modulare Architektur für Fahrerassistenzsysteme eingegangen. Mit der vorgestellten Architektur können verschiedene Aufgaben bewältigt werden. Neue Anforderungen und Information können durch die Modularität einfach hinzugefügt werden. Als Beispiel für die Umsetzung dieser Architektur wird ein *Intelligenter Tempomat* (IT) vorgestellt. Es werden visuelle Sensoren und Radar-Sensoren verwendet. Andere Sensoren können leicht integriert werden [6].

2 Architektur

Die vorgestellte Architektur (Abb. 1) soll verschiedene Verhalten unterstützen, die zur Erfüllung der aktuellen Aufgabe dienen. Hierbei werden im Modul der *Objektbezogenen Analyse* die von den jeweiligen Sensoren gesammelten Daten verarbeitet. Die so erzeugten relevanten Daten werden an das Modul der ver-

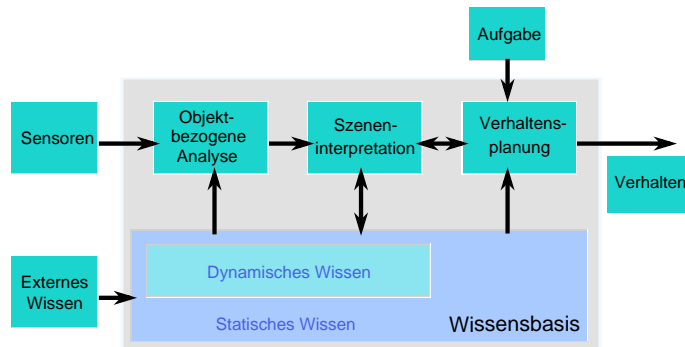


Abbildung1. Architektur für Fahrerassistenzsysteme

haltensbezogenen *Szeneninterpretation* weitergegeben. In diesem Modul werden die verschiedenen Ergebnisse der Sensoren interpretiert und integriert, um konsistente Informationen in einem gemeinsamen Datenformat zu erhalten. Auf dieser Basis werden die verhaltensrelevanten Daten bestimmt und an das Modul der *Verhaltensplanung* übergeben. Die Verhaltensplanung wird durch die aktuelle Aufgabe gesteuert. Alle Module arbeiten auf der *Wissensbasis*. Definierte Schnittstellen zwischen den Modulen garantieren flexible Anpassungsmöglichkeiten der Architektur an Aufgaben und Sensoren.

In den folgenden Abschnitten werden die Module näher erläutert.

2.1 Wissensbasis

In der Wissensbasis sind statisches und dynamisches Wissen repräsentiert. Sie beinhaltet die Beschreibung physikalischer Zusammenhänge (statisch), Verhaltensregeln für den Straßenverkehr (statisch, dynamisch), sowie Objekt- und Szenenwissen (dynamisch). Externes Wissen (z.B. GPS – Global Positioning System) kann ebenfalls in die Wissensbasis eingebunden werden.

2.2 Objektbezogene Analyse

In diesem Modul werden die akquirierten Sensordaten für die Szeneninterpretation aufgearbeitet (Abb. 2). Die Objektbezogene Analyse kann in eine *Sensorbe-*

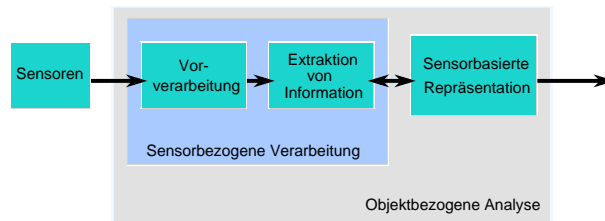


Abbildung2. Struktur der Objektbezogenen Analyse

zogene Verarbeitung und in *Sensorbasierte Repräsentationen* unterteilt werden. Die Verarbeitung der Sensorinformationen ist auf jeden Sensor spezialisiert. In den Repräsentationen werden über der Zeit konsistente Darstellungen der verarbeiteten Sensordaten in Sensorkoordinaten erzeugt.

Im Untermodul der sensorbezogenen Verarbeitung werden die Sensordaten vorverarbeitet (z.B. Segmentierung) und gemäß ihrer Eigenschaften Informationen extrahiert (z.B. Objekthypothesen, Objektklassen). Die Auswertung kann sowohl für jeden Sensor einzeln als auch für eine Gruppe von Sensoren über Fusion erfolgen [7]. Eine Realisierung einer solchen Objektbezogenen Analyse auf Basis von visuellen Sensordaten wurde in [5] vorgestellt. Objekthypothesen werden in der sensorbezogenen Verarbeitung durch eine initiale Segmentierung, eine Klassifikation und eine Verfolgung von ROIs (Region Of Interest) erzeugt (Abb. 3). Die

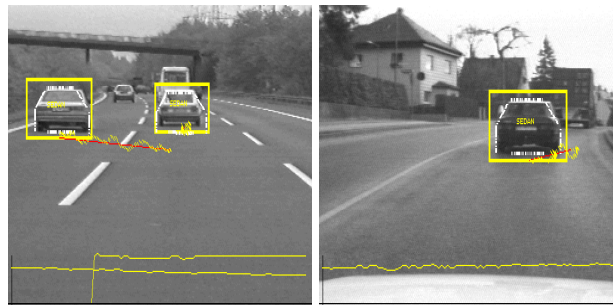


Abbildung3. Objektdetektion, -klassifikation und -verfolgung von Fahrzeugen

ermittelten Objekthypothesen werden an das Untermodul der sensorbasierten Repräsentationen übergeben, um mit Hilfe bewegungssensitiver Karten genauere Informationen über Objekte über der Zeit zu erhalten (Abb. 4).

Zur Ermittlung der Bewegungssensitivität werden die relative Geschwindigkeit und die Entfernung von Objekten zum Beobachter berücksichtigt. Gemäß der zu erwartenden Bewegungen der Objekte wird eine Prädiktion der Positionen

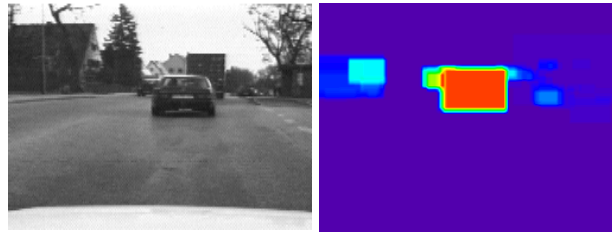


Abbildung 4. Vorausfahrendes Fahrzeug (Kamerabild und Repräsentation)

der Objekte geleistet. Mit Hilfe des winner-takes-all Ansatzes (Konkurrenz zwischen den bewegungssensitiven Karten) werden Objekthypothesen mit zugehöriger Bewegungsrichtung erzeugt. Durch die Bewegungsinformation der Objekte können einerseits Objektverfolgungsalgorithmen geeignet initialisiert (Effizienzsteigerung) und andererseits die Szeneninterpretation unterstützt werden. Beispielsweise ist es möglich, überholende Fahrzeuge von entgegenkommenden oder parkenden Fahrzeugen zu unterscheiden (Abb. 5, mitte). Die Einkopplung des aktuellen Straßenverlaufs (Abb. 5, links) durch GPS oder bildbasierte Ansätze (z.B. [2]), verbessert die Prädiktion (Abb. 5, rechts).

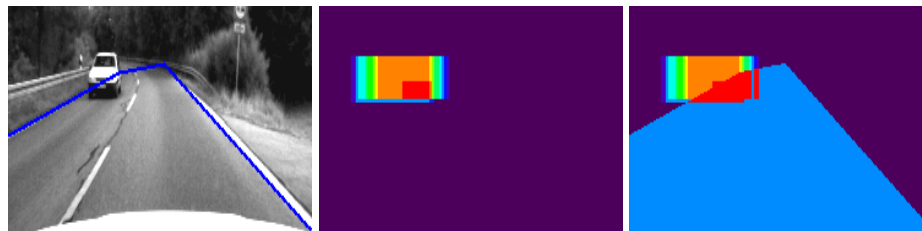


Abbildung 5. Entgegenkommender Verkehr (Kamerabild mit Straßenverlauf und bewegungssensitiver Repräsentation ohne und mit Voraktivierung)

2.3 Szeneninterpretation

Im Modul der Szeneninterpretation werden die Objekthypothesen der unterschiedlichen Sensoren interpretiert und auf einen konsistenten Stand gebracht. Verhaltensrelevante Informationen (z.B. Gegenverkehr) werden extrahiert. Das Modul der Szeneninterpretation kann in zwei Untermodule unterteilt werden (Abb. 6). Das Untermodul der verhaltensbasierten Repräsentation integriert die von dem Modul der objektbezogenen Verarbeitung bereitgestellten Objektinformationen, nach einer Konsistenzprüfung, in eine verhaltensrelevante Darstellung.

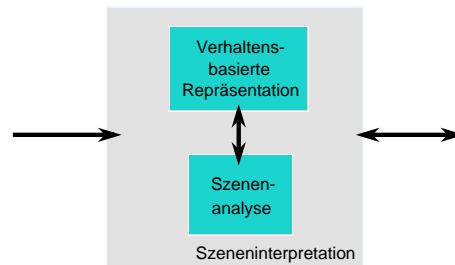


Abbildung6. Szeneninterpretation

Dieses erfolgt gemäß den Anforderungen, die zur Ausführung des gegenwärtigen Verhaltens bzw. zur Garantie der Fahrsicherheit erfüllt werden müssen. Mögliche Repräsentationen der Information sind TTC-Karten (Time To Contact [8]), Darstellungen des freien Fahrraumes, Geschwindigkeitsprofile, Trajektorien von Objekten oder, wie in Abb. 7 dargestellt, die Vogelperspektive. Eine Eigenschaftsliste der Objekthypothesen wird mitgeführt. Die Konsistenzprüfung der von den einzelnen Sensoren gelieferten Informationen wird unter der Einbindung von Szenenwissen (z.B. aktueller Straßenverlauf, GPS-Informationen) und Vorwissen (z.B. typische Ausmaße eines Objekts, Zuverlässigkeit einzelner Sen-

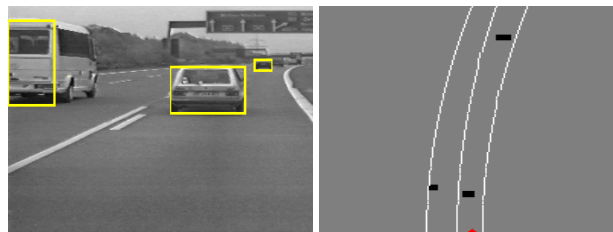


Abbildung7. Kamerabild und daraus ermittelte Vogelperspektive (Dargestellt sind der Spurverlauf und vorausfahrende Fahrzeuge)

soren, physikalische Regeln) sowie unter Ausnutzung der zeitlichen Entwicklung vorgenommen. Die Einzelinformationen der Sensoren werden genutzt, um Objekthypothesen zu verstärken oder, bei Widersprüchen, abzuschwächen.

Das Untermodul der Szenenanalyse interagiert mit der Verhaltensplanung und der verhaltensbasierten Repräsentation. In der Szenenanalyse erfolgt die Auswertung von Daten aus der Repräsentation und von Vorwissen bezüglich der aktuellen Verkehrssituation und der Fahrumgebung. Es kann z.B. bei der Planung von Aktionen ein Risikofaktor, der von der aktuellen Verkehrssituation (z.B. bei voller Fahrbahn und unübersichtlicher Straße) beeinflusst wird, bestimmt wer-

den. Die Verkehrssituation wird über die Anzahl der Objekte, die Auswertung der Relativgeschwindigkeiten und die Mobilität der Einzelobjekte mit Hilfe der Wissensbasis evaluiert.

2.4 Verhaltensplanung

Das mit der aktuellen Planung angestrebte Verhalten hängt ebenso von der Gesamtaufgabe wie von den Informationen der Szeneninterpretation ab. Für die Planung von Verhalten gibt es unterschiedliche Ansätze. Ein regelbasierter Fuzzy-Logik-Ansatz zur Abstandsregelung wurde in [12] vorgestellt. Ein Ansatz zur Lösung mittels eines Expertensystems wurde in [10] beschrieben. Ein wesentliches Problem in der Verhaltensplanung besteht jedoch darin, das Verhalten zu definieren und unterschiedliche Verhalten miteinander konkurrieren zu lassen. Für den IT wird dieses mittels eines Entscheidungsbaumes (Abb. 8) gelöst.

Andere Aufgaben können durch den flexiblen und modularen Aufbau der Architektur leicht integriert werden. Beispielsweise kann ein Ausscherassistent durch eine entsprechende Sensorauswahl (siehe Abb. 9) mit Hilfe eines Fuzzy-Logik-Ansatzes mit der vorgestellten Architektur realisiert werden.

3 Intelligenter Tempomat

Mittels des IT soll das Fahrzeug so geführt werden, daß es einem zuvor ausgewählten Objekt (FO – Führendes Objekt) in angemessenem Abstand folgt. Dieses umfaßt die Anpassung der aktuellen Geschwindigkeit, den Spurwechsel und die Auswahl eines neuen Objektes, falls das vorherige nicht verfolgt werden kann. Faktoren, die die Sicherheit des eigenen Fahrzeuges betreffen, werden ebenfalls in die Planung miteinbezogen. Die Verhaltensplanung (Abb. 8) wird mittels

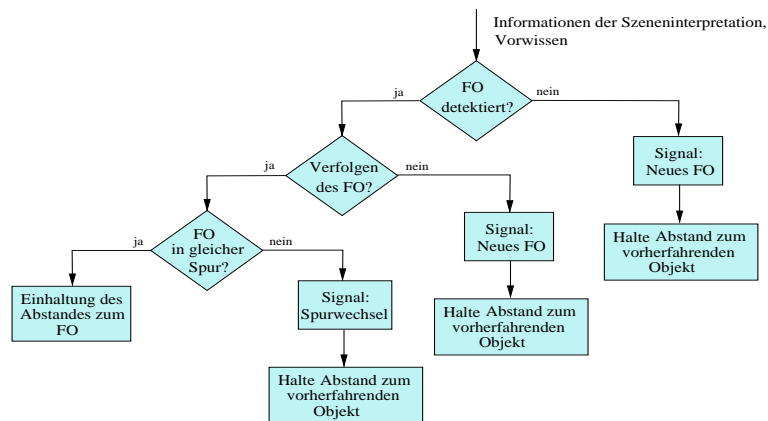


Abbildung8. Flußdiagramm für einen IT

der von der Szeneninterpretation bereitgestellten Informationen, die auf Daten von visuellen Sensoren und Radar-Sensoren basieren, vorgenommen. Abb. 9 veranschaulicht den simulierten Sensoraufbau in der Vogelperspektive (Abb. 9 (a)) in einem Fahrzeug (schwarz) mit drei Kameras (weiß) und zwei Radar-Sensoren (schwarz). Die zugehörigen Sensorausgaben sind ebenfalls dargestellt (Abb. 9 (b-f)). Für den IT werden die Kamera und der Radar-Sensor, welche am Auto vorne angebracht sind, eingesetzt. In Abb. 9 (b) ist das entsprechende Kamerabild und in Abb. 9 (e) sind die Objekthypothesen des Radar-Sensors dargestellt. Bei dem Radar-Sensor sind die Relativgeschwindigkeiten (in $\frac{m}{s}$) über der Distanz (in m) und der Winkelposition (in $Grad$) aufgetragen. Andere Assistenten, wie beispielsweise ein Ausscherassistent, können mit Hilfe der anderen Sensoren Abb. 9 (c,d,f) realisiert werden.

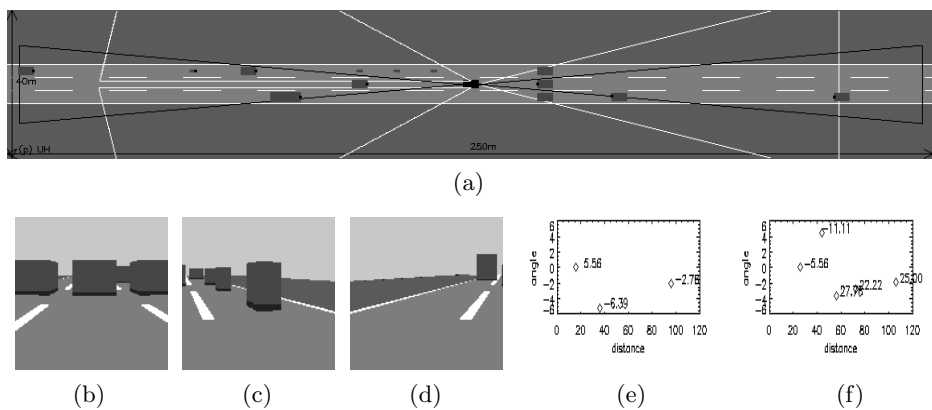


Abbildung 9. Sensoraufbau

Für den IT wird zuerst beurteilt, ob das führende Objekt detektiert werden kann. Ist dieses nicht der Fall, wird ein neues Objekt mit einer konsistenten Trajektorie in der aktuellen Spur ermittelt und der Sicherheitsabstand eingehalten. Wird kein neues Objekt akzeptiert, so werden Sicherheitsempfehlungen gegeben, die Objekte innerhalb des Sicherheitsabstandes betreffen. Ist das führende Objekt detektiert worden, muß überprüft werden, ob es weiterhin sinnvoll ist, diesem Objekt zu folgen. Dieses ist nicht der Fall, wenn sich das führende Objekt z.B. auf einer Abbiegespur befindet, während das aktuelle, eigene Fahrziel keine Richtungsänderung vorsieht. Wird das führende Objekt nicht akzeptiert, wird so gehandelt, als sei das Objekt nicht detektiert worden. Wird das Objekt akzeptiert, muß eine Spurzuordnung erfolgen, um zu entscheiden, ob ein Spurwechsel vorzunehmen ist. Befinden sich Objekt und eigenes Fahrzeug in derselben Spur, so wird die Einhaltung des Sicherheitsabstandes angestrebt, andernfalls wird ein Spurwechsel empfohlen und der Sicherheitsabstand zum vorherfahrenden Objekt eingehalten.

4 Zusammenfassung

In diesem Artikel wird eine Architektur mit einer flexiblen Datenintegrationsmöglichkeit und mehrschichtigen Repräsentationen (objektbezogen, verhaltensbezogen) vorgestellt. Unterschiedliche Sensoren können zur Analyse und Interpretation von Straßenverkehrsszenen genutzt werden.

Die vorgestellte Architektur erlaubt die flexible Einkopplung unterschiedlicher Aufgaben von Fahrerassistenzsystemen. Eine Modularisierung unterschiedlicher Aufgaben ist möglich. Die Funktionsfähigkeit wird anhand eines intelligenten Tempomaten demonstriert.

Literatur

1. M. Bertozzi und A. Broggi. GOLD: a Parallel Real-Time Stereo Vision System for Generic Obstacle and Lane Detection. In IEEE (Hrsg.), *IEEE Transactions on Image Processing*, Band 4(2), Seite 114–136, 1997.
2. A. Broggi. A Massively Parallel Approach to Real-Time Vision-Based Road Markings Detection. In *Proceedings of the Intelligent Vehicles '95 Symposium, Detroit, USA*, Seite 84–85, 1995.
3. E.D. Dickmanns et al. Vehicles capable of dynamic vision. In *15th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, Seite 1–16, Nagoya, Japan, 1997.
4. S. Goerzig und U. Franke. ANTS - Intelligent Vision in Urban Traffic. In *IV'98, IEEE International Conference on Intelligent Vehicles 1998*, Seite 545–549. IEEE, 1998.
5. U. Handmann, T. Kalinke, C. Tzomakas, M. Werner und W. von Seelen. An image processing system for driver assistance. In *IV'98, IEEE International Conference on Intelligent Vehicles 1998*, Seite 481 – 486, Stuttgart, Germany, 1998. IEEE.
6. U. Handmann, G. Lorenz, T. Schnitger und W. von Seelen. Fusion of different sensors and algorithms for segmentation. In *IV'98, IEEE International Conference on Intelligent Vehicles 1998*, Seite 499 – 504, Stuttgart, Germany, 1998. IEEE.
7. U. Handmann, G. Lorenz und W. von Seelen. Fusion von Basisalgorithmen zur Segmentierung von Straßenverkehrsszenen. In *Mustererkennung 1998*, Heidelberg, 1998. Springer-Verlag.
8. D. Noll, M. Werner und W. von Seelen. Real-Time Vehicle Tracking and Classification. In *Proceedings of the Intelligent Vehicles '95 Symposium, Detroit, USA*, Seite 101–106, 1995.
9. M. Rossi, M. Aste, R. Cattoni und B. Caprile. The IRST Driver's Assistance System. Technical Report 9611-01, Istituto per la Ricerca Scientifica e Tecnologica, Povo, Trento, Italy, 1996.
10. R. Sukthankar. *Situation Awareness for Tactical Driving*. Phd thesis, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, United States of America, 1997.
11. V. v. Holt und S. Baten. Perceptual architecture for a vision system of autonomous vehicles. In *IV'98, IEEE International Conference on Intelligent Vehicles 1998*, Seite 539 – 544, Stuttgart, Germany, 1998. IEEE.
12. Qiang Zhuang, Jens Gayko und Martin Kreutz. Optimization of a fuzzy controller for a driver assistant system. In *Proceedings of the Fuzzy-Neuro Systems 98*, Seite 376 – 382, München, Germany, 1998.