

Analyse dynamischer Szenen

**UWE HANDMANN, IRIS LEEFKEN, CHRISTOS TZOMAKAS,
WERNER V. SEELEN & CHRISTIAN GOERICK¹**

Zusammenfassung: In diesem Artikel wird die Analyse dynamischer Szenen im Rahmen einer flexiblen Architektur zur Lösung von Fahrerassistenzaufgaben in Kraftfahrzeugen vorgestellt. Die Lösung unterschiedlicher Aufgaben mit verwandten Ansätzen bedingt einen hohen Grad an Modularität und Flexibilität. Nur so können die gestellten Aufgaben mit den vorhandenen Algorithmen optimal gelöst werden. In der vorgestellten Architektur wird eine objektbezogene Analyse von Sensordaten, eine verhaltensbasierte Szeneninterpretation und eine Verhaltensplanung durchgeführt. 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 ist ein intelligenter Tempomat realisiert.

1 Einführung

Beim Entwurf eines Systems zur dynamischen Szenenanalyse in realen Umgebungen 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.

Soll ein Fahrerassistenzsystem für den Straßenverkehr entworfen werden, ist zusätzlich von einem bewegten Beobachter, der aktiv in das Geschehen eingreift, auszugehen. Dieser Eingriff hat einen direkten Aufgabenbezug und muß folglich auch so analysiert werden. In der Literatur wurden diverse Vorschläge für Einzelverhalten von Fahrerassistenzsystemen präsentiert. So haben Rossi et. al. (ROSSI et al. 1996) ein System zur Warnung bei Verlassen der Spur oder zu nahem Auffahren vorgestellt. Mit einem System, welches von Bertozzi und Broggi (BERTOZZI und BROGGI 1998) entwickelt wurde, werden durch eine manuelle Auswahl aus einem vorgegebenen Repertoire Einzelaktionen zur Fahrerassistenz im Fahrzeug umgesetzt. Eine Veröffentlichung von von Holt und Baten (v. HOLT und BATEN 1998) stellt eine Architektur für autonome Assistenzsysteme vor, die zur Repräsentation der Umgebung den 4D-Ansatz von Dickmanns et al. (DICKMANNS et al. 1997) verwendet. Die vorgestellten Systeme wurden für den Einsatz auf Autobahnen entwickelt. Franke und Görzig präsentierten in (GOERZIG und FRANKE 1998) ein System für den Stadtverkehr.

In diesem Artikel wird auf eine flexible, modulare Architektur für Fahrerassistenzsysteme präsentiert. 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 (HANDMANN et al. 1998b).

¹Uwe Handmann, Iris Leefken, Christos Tzomakas, Werner v. Seelen, Christian Goerick, Institut für Neuroinformatik, Ruhr Universität Bochum, 44780 Bochum, Institut@neuroinformatik.ruhr-uni-bochum.de

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 verhaltensbezogenen *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.

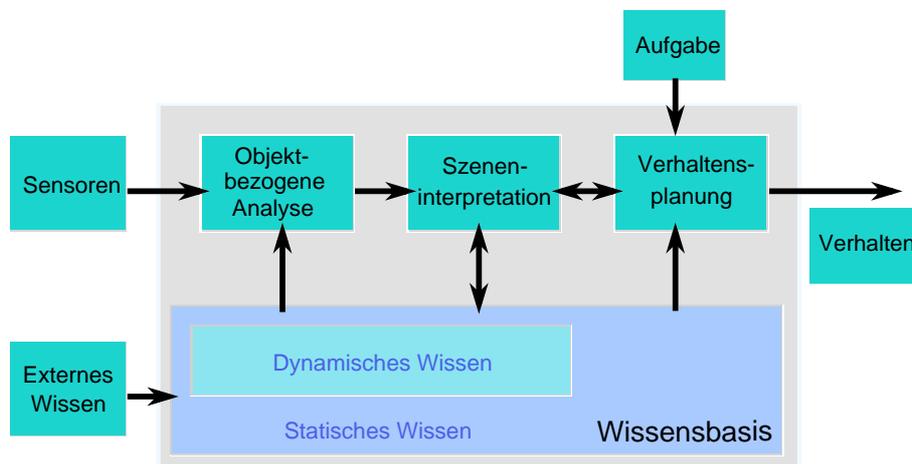


Abb. 1: Architektur für Fahrerassistenzsysteme

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 *Sensorbezogene 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

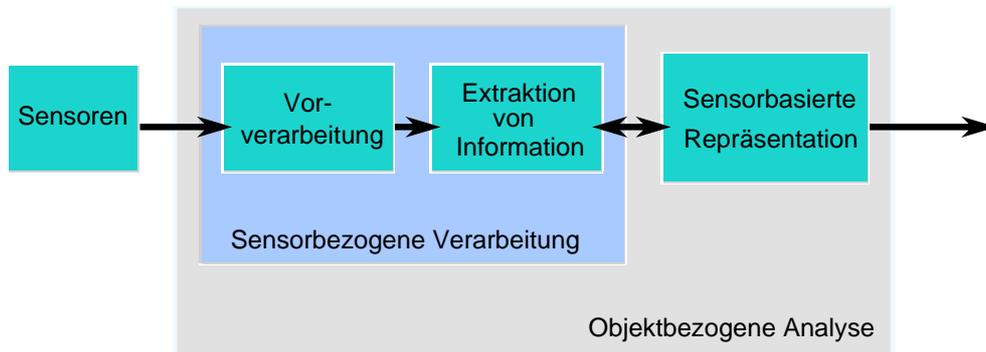


Abb. 2: Struktur der objektbezogenen Analyse

Sensoren über Fusion erfolgen (HANDMANN et al. 1998c). Eine Realisierung einer solchen objektbezogenen Analyse auf Basis von visuellen Sensordaten wurde in (HANDMANN et al. 1998a) vorgestellt. Objekthypothesen werden in der sensorbezogenen Verarbeitung durch eine initiale Segmentierung, eine Klassifikation und eine Verfolgung von ROIs (Region Of Interest) erzeugt (Abb. 3).

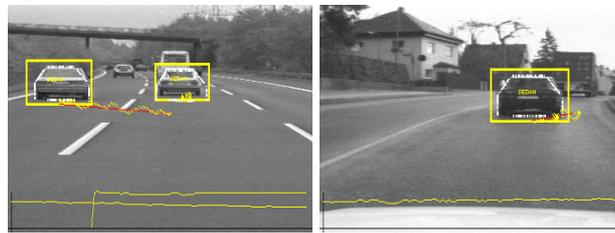


Abb. 3: Objektdetektion, -klassifikation und -verfolgung von Fahrzeugen

Die 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 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

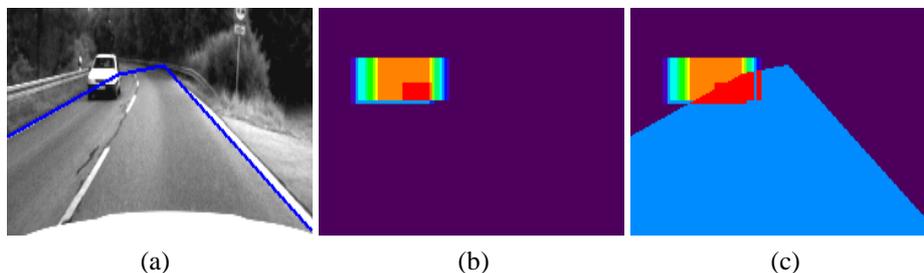


Abb. 4: Entgegenkommender Verkehr (Kamerabild mit Straßenverlauf (a) und Repräsentation ohne (b) und mit Voraktivierung (c))

andererseits die Szeneninterpretation unterstützt werden. Beispielsweise ist es möglich, überholende Fahrzeuge von entgegenkommenden oder parkenden Fahrzeugen zu unterscheiden (Abb. 4 (b)). Die Einkopplung des aktuellen Straßenverlaufs (Abb. 4 (a)) durch GPS oder bildbasierte Ansätze (z.B. (BROGGI 1995)), verbessert die Prädiktion (Abb. 4 (c)).

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. 5).

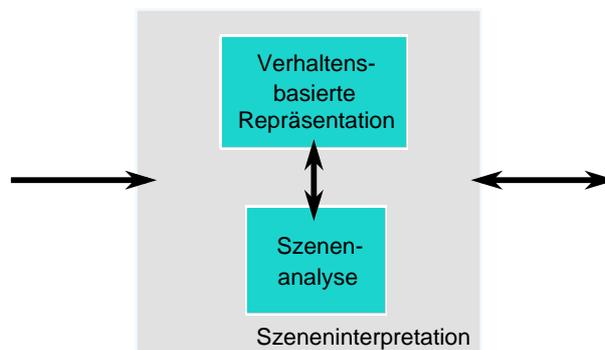


Abb. 5: Szeneninterpretation

Das Untermodul der verhaltensbasierten Repräsentation integriert die von dem Modul der objektbezogenen Verarbeitung bereitgestellten Objektinformationen, nach einer Konsistenzprüfung, in eine verhaltensrelevante Darstellung. 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 Collision (GOERICK et al. 1995)), Darstellungen des freien Fahrraumes, Geschwindigkeitsprofile, Trajektorien von Objekten oder, wie in Abb. 6 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 Sensoren, physikalische Regeln) sowie unter Ausnutzung der zeitlichen Entwicklung vorgenommen. Die Einzelinformationen der Sensoren werden genutzt, um Objekthypothesen zu verstärken oder, bei Widersprüchen, abzuschwächen.

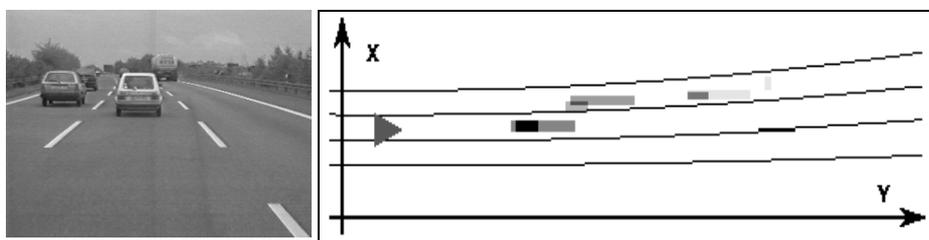


Abb. 6: Grauwertbild und Repräsentation in der Vogelperspektive.

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 werden. 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 (ZHUANG et al. 1998) vorgestellt. Ein Ansatz zur Lösung mittels eines Expertensystems wurde in (SUKTHANKAR 1997) 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. 7) gelöst.

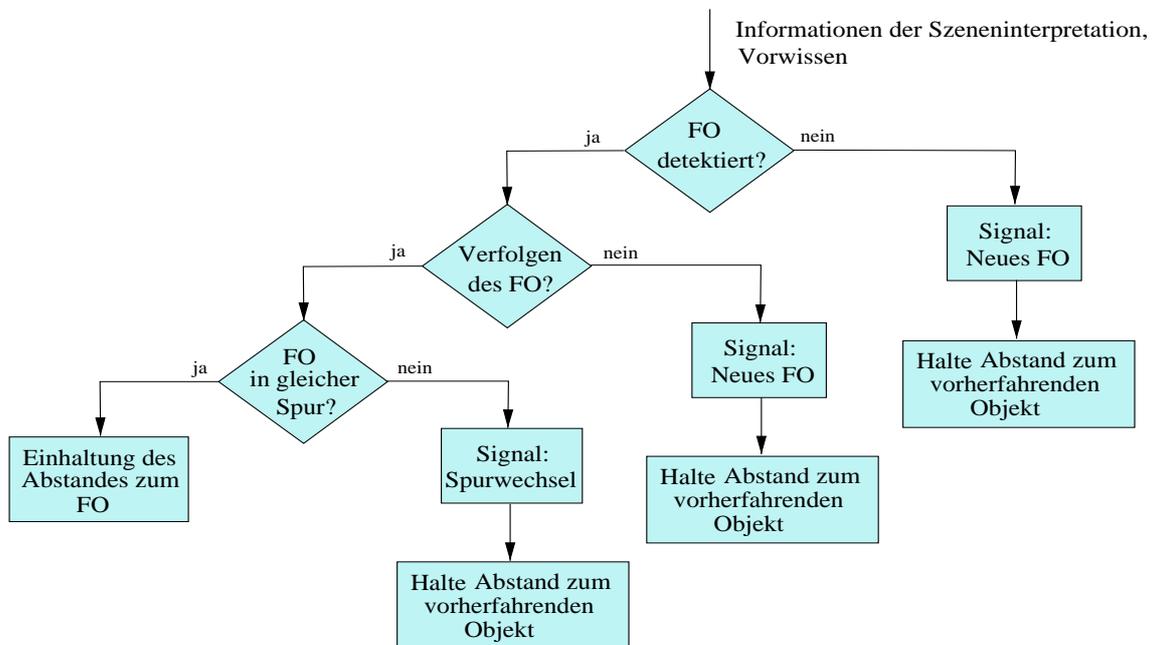


Abb. 7: Flußdiagramm für einen IT

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. 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.

Andere Aufgaben können durch den flexiblen und modularen Aufbau der Architektur leicht integriert werden. Beispielsweise kann ein Ausscherassistent durch eine entsprechende Sensorauswahl (siehe Abb. 8) mit Hilfe eines Fuzzy-Logik-Ansatzes mit der vorgestellten Architektur realisiert werden.

3 Simulationsumgebung

Die Verhaltensplanung wird mittels der von der Szeneninterpretation bereitgestellten Informationen, die auf Daten von visuellen Sensoren und Radar-Sensoren basieren, vorgenommen. Abb. 8 veranschaulicht den simulierten Sensoraufbau in der Vogelperspektive (Abb. 8 (a)) in einem Fahrzeug (schwarz) mit drei Kameras (weiß) und zwei Radar-Sensoren (schwarz). Die zugehörigen Sensorausgaben sind ebenfalls dargestellt (Abb. 8 (b-f)). Für den IT werden die Kamera und der Radar-Sensor, welche am Auto vorne angebracht sind, eingesetzt. In Abb. 8 (b) ist das entsprechende Kamerabild und in Abb. 8 (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. 8 (c,d,f) realisiert werden.

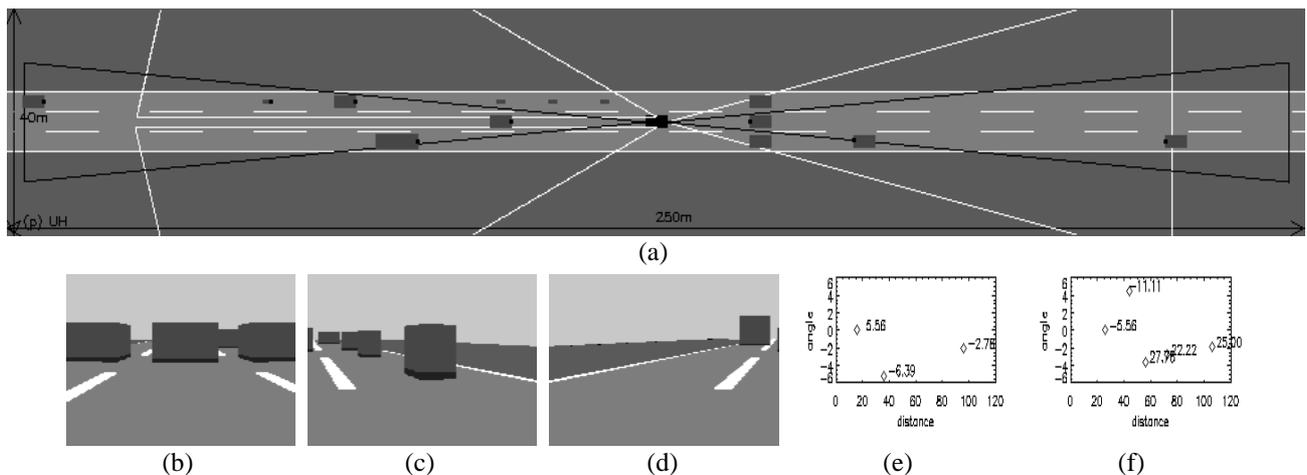


Abb. 8: Sensoraufbau

4 Ergebnisse

In Abb. 9 sind die Ergebnisse eines intelligenten Tempomaten für eine Autobahnszene dargestellt. Das beobachtende Fahrzeug erkennt ein vorherfahrendes Fahrzeug und folgt ihm unter Berücksichtigung der Vermeidung von Hindernissen, der Einhaltung des Sicherheitsabstandes und der Beibehaltung der Fahrspur. Ein Fahrspurwechsel des Führungsfahrzeugs wird erkannt und angezeigt. Die Objekthypothesen der Segmentierung (Abb. 9 (a)-(d)) und der Objektverfolgung (Abb. 9 (e)-(h)) sind mit Hilfe

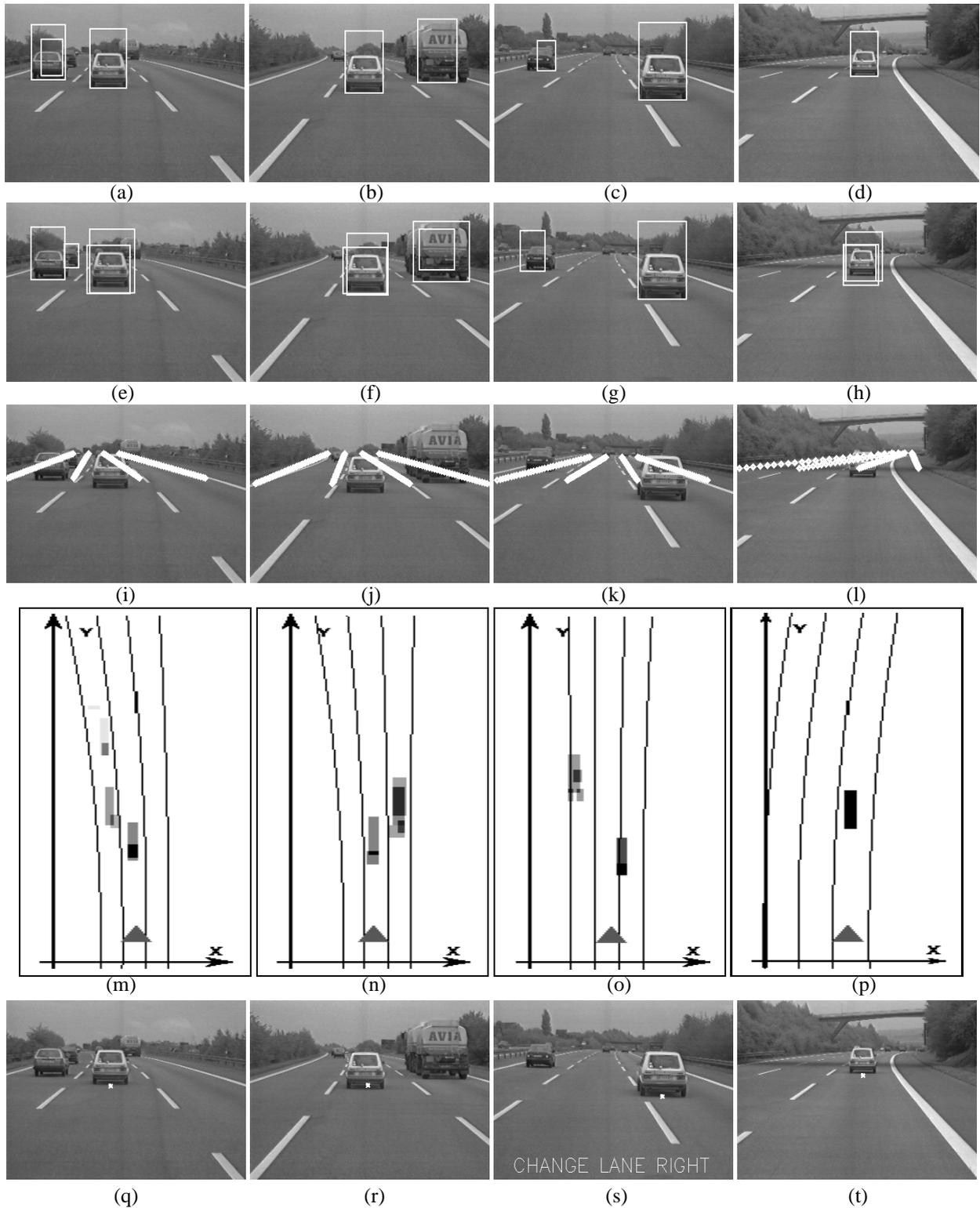


Abb. 9: Ergebnisse des Systems unter der Aufgabenstellung Intelligenter Tempomat (IT): Objektbezogene Analyse: Segmentierung (a)-(d), Objektverfolgung (e)-(h); Wissensbasis: Spurverlauf (i)-(l); Szeneninterpretation: Repräsentation in der Vogelperspektive (m)-(p); Verhaltensplanung: Aufgabenstellung IT (q)-(t).

eines Rahmens in das Grauwertbild eingezeichnet (objektbezogene Analyse). In der Repräsentation der Szeneninterpretation (Abb. 9 (m)-(p)) werden die Objekthypothesen dynamisch fusioniert und mit Hilfe der Fahrspurdaten aus der Wissensbasis (Abb. 9 (i)-(l)) eine Analyse der Situation durchgeführt. Das beobachtende Fahrzeug ist mit Hilfe eines grauen Dreiecks eingezeichnet. Außerdem sind die Ergebnisse der Verhaltensplanung dargestellt (Abb. 9 (q)-(t)). Wird ein führendes Objekt erkannt, wird es mit einem weißen Punkt markiert. Verhaltensvorschläge, wie in Abb. 9 (s), werden in das Grauwertbild eingeblendet.

5 Ausblick

In diesem Artikel wird die Analyse dynamischer Szenen am Beispiel einer Architektur für Fahrerassistenzsysteme durchgeführt. Aus einem bewegten Beobachter wird die Umwelt anhand von Sensordaten analysiert. Eine flexible Datenintegrationsmöglichkeit und mehrschichtige Repräsentationen (objektbezogen, verhaltensbezogen) werden vorgestellt und die Tragfähigkeit demonstriert. Die Zielsetzung dieses Ansatzes ist ein konstruktiver Entwurf eines Systems, welches verschiedene Aufgabenstellungen lösen kann, wie beispielsweise das Management von Unfällen zur Schadensminimierung. Mit Hilfe der Simulation können verschiedene Szenarien bei geschlossener Regelschleife getestet werden. Es ist der Einsatz neuronaler Dynamiken geplant.

6 Literaturverzeichnis

- BERTOZZI, M. und A. BROGGI (1998). *GOLD: a Parallel Real-Time Stereo Vision System for Generic Obstacle and Lane Detection*. In: IEEE, Hrsg.: *IEEE Transactions on Image Processing*, Bd. 7(1), S. 62–81.
- BROGGI, A. (1995). *A Massively Parallel Approach to Real-Time Vision-Based Road Markings Detection*. In: *Proceedings of the Intelligent Vehicles '95 Symposium, Detroit, USA*, S. 84–85.
- DICKMANN, E.D. et al. (1997). *Vehicles Capable of Dynamic Vision*. In: *15th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, S. 1–16, Nagoya, Japan.
- GOERICK, C., D. NOLL und M. WERNER (1995). *Artificial Neural Networks in Real Time Car Detection and Tracking Applications*. *Pattern Recognition Letters*.
- GOERZIG, S. und U. FRANKE (1998). *ANTS - Intelligent Vision in Urban Traffic*. In: *IV'98, IEEE International Conference on Intelligent Vehicles 1998*, S. 545–549, Stuttgart, Germany. IEEE.
- HANDMANN, U., T. KALINKE, C. TZOMAKAS, M. WERNER und W. VON SEELEN (1998a). *An Image Processing System for Driver Assistance*. In: *IV'98, IEEE International Conference on Intelligent Vehicles 1998*, S. 481 – 486, Stuttgart, Germany. IEEE.
- HANDMANN, U., G. LORENZ, T. SCHNITGER und W. VON SEELEN (1998b). *Fusion of Different Sensors and Algorithms for Segmentation*. In: *IV'98, IEEE International Conference on Intelligent Vehicles 1998*, S. 499 – 504, Stuttgart, Germany. IEEE.
- HANDMANN, U., G. LORENZ und W. VON SEELEN (1998c). *Fusion von Basisalgorithmen zur Segmentierung von Straßenverkehrsszenen*. In: *Mustererkennung 1998*, S. 101– 108, Heidelberg. Springer-Verlag.
- HOLT, V. v. und S. BATEN (1998). *Perceptual Architecture for a Vision System of Autonomous Vehicles*. In: *IV'98, IEEE International Conference on Intelligent Vehicles 1998*, S. 539 – 544, Stuttgart, Germany. IEEE.
- ROSSI, M., M. ASTE, R. CATTONI und B. CAPRILE (1996). *The IRST Driver's Assistance System*. Technical Report 9611-01, Istituto per la Ricerca Scientifica e Tecnologica, Povo, Trento, Italy.
- SUKTHANKAR, R. (1997). *Situation Awareness for Tactical Driving*. PhD thesis, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, United States of America.
- ZHUANG, QIANG, J. GAYKO und M. KREUTZ (1998). *Optimization of a Fuzzy Controller for a Driver Assistant System*. In: *Proceedings of the Fuzzy-Neuro Systems 98*, S. 376 – 382, München, Germany.