

Prototypische Umsetzung eines Bau- und Engstellenassistenten

Dr.-Ing. Stephan Scholz¹, Dipl.-Ing. Sven Chlosta¹, Dipl.-Ing. Sönke Freter², Dipl.-Wirtsch.-Ing. Fabian Schuldt³

¹Volkswagen AG, Berliner Ring 2, 38440 Wolfsburg

²Carneq GmbH, Carnotstr. 4, D-10587 Berlin

³TU Braunschweig, IfR, Hans-Sommer-Straße 66, 38106 Braunschweig

Abstract

Im Rahmen des Förderprojekts UR:BAN (Urbaner Raum: Benutzergerechte Assistenz-systeme und Netzmanagement) arbeitet die Volkswagen AG unter anderem in der Projektsäule Kognitive Assistenz (KA) an der prototypischen Umsetzung eines Bau- und Engstellenassistenten. Zugeordnet ist die Engstellenassistenz dem Teilprojekt SQL (Sichere Quer- und Längsführung in der Stadt), in dem auch andere neuartige Assistenzsysteme mit dem Ziel entwickelt werden, in städtischen Umgebungen schwere Unfälle zu vermeiden, die Effizienz des Individualverkehrs zu steigern und gleichzeitig die Mobilität älterer Menschen zu erhalten. Der Bau- und Engstellen-assistent adressiert in diesem Sinne alle drei Zielsetzungen, da er über die aktive Unterstützung bei der Querführungsaufgabe ein sicheres und souveränes Durchfahren von Bau- und Engstellen maßgeblich fördert bzw. gewährleistet.

Der Konferenzbeitrag erläutert die erste prototypische Umsetzung eines Bau- und Engstellenassistenten der Volkswagen AG. Es wird auf die gesamte Verarbeitungskette des Assistenzsystems eingegangen und aufgezeigt, in welchen Szenarien das System bereits erfolgreich getestet werden konnte.

Die vorgestellte Umsetzungsvariante zeichnet sich im Wesentlichen dadurch aus, dass sie als Erweiterung des bereits in Serie befindlichen Lane Assist angesehen werden kann. Die Assistenz beschränkt sich hierbei konsequenter Weise ausschließlich auf die Querführung. Das System lässt sich zwar mit Längsführungsassistenzsystemen wie dem ACC kombinieren, die Längsführung ist aber nicht direkter Bestandteil der hier erläuterten ersten Generation der prototypischen Umsetzung des Bau- und Engstellenassistenten. Die Erweiterung um Längsführungsassistenz ist erst für die zweite Generation des Fahrerassistenzsystems geplant, auf die kurz im Ausblick des Konferenzbeitrags eingegangen wird.

Der Beitrag gibt einen Überblick über folgende Systembestandteile des Bau- und Engstellenassistenten:

- Sensormodell
- Belegungskarte
- Korridoranalyse
- Objektserver
- Systemeingriff

Hierbei wird insbesondere auch die Herausforderung eingegangen, die sich bei einer Folgefahrt durch eine Baustelle ergibt und erläutert hierzu den Lösungsansatz.

Motivation und Zielsetzung

Die Kernaufgabe eines Bau- und Engstellenassistenten liegt in der Realisierung eines Fahrerassistenzsystems zur Querführungsunterstützung in Fahrsituation, in denen der zur Verfügung stehende Fahrstreifen seitlich eingeengt ist. Die Einengung des Fahrstreifens kann unterschiedliche Ursachen haben und kann allgemein dadurch charakterisiert werden, dass entweder die Fahrbahnmarkierung oder aber statische und dynamische Objekte den zur Verfügung stehenden Fahrbahnbereich seitlich begrenzen.

Auf Autobahnen und Landstraßen sind Baustellen die häufigste Ursache für die Einengung des Fahrstreifens. Nicht zuletzt aufgrund der Vielzahl und der Länge von Baustellen, die teilweise mehrere Kilometer betragen kann, wird das Durchfahren von Baustellen generell als unangenehm und belastend empfunden. Die hier vorgestellte Fahrerassistenzfunktion hat entsprechend zum Ziel das Durchfahren von Bau- und Engstellen für den Fahrer sicherer und komfortabler zu gestalten. Zudem sollte eine auf die Bedürfnisse des Fahrers ausgerichtete Assistenz insbesondere auch unerfahrenen und älteren Fahrern genau die Assistenz zukommen zu lassen, die ihnen hilft in anspruchsvollen Fahrsituationen die Übersicht zu behalten und angemessen zu reagieren. Nicht zuletzt soll zudem erreicht werden, dass insbesondere bei ungeübten und älteren Fahrern die emotionale Unsicherheit beim Durchfahren von Eng- und Baustellenbereichen insbesondere auch im urbanen Bereich verringert wird.

Die genannten Ziele decken sich mit denen des Förderprojekts UR:BAN (Urbaner Raum: Benutzergerechte Assistenzsysteme und Netzmanagement), da im Rahmen der Projektsäule Kognitive Assistenz (KA) an der prototypischen Umsetzung von Fahrerassistenzsystemen gearbeitet wird, die in städtischen Umgebungen schwere Unfälle vermeiden, die Effizienz des Individualverkehrs steigern und gleichzeitig die Mobilität älterer Menschen erhalten. Zugeordnet ist die Engstellenassistenz dem Teilprojekt SQL (Sichere Quer- und Längsführung in der Stadt).

Systemvoraussetzung

Zur prototypischen Umsetzung eines Bau- und Engstellenassistenten ist es notwendig ein Sensorkonzept zur zuverlässigen und präzisen Umgebungserfassung in Baustellen aufzubauen. Das System muss bei ausreichender Vorausschauweite in der Lage sein, nicht nur die für Baustellen typischen Fahrbahnrandbebauung bestehend aus Elementen wie Fahrbahnteiler, Baken usw. robust zu erkennen, sondern auch Fahrbahnmarkierungen und Fremdfahrzeuge mit einer ausreichenden Güte zu erfassen. Dies ist notwendig, damit hierauf aufbauend ein zu entwickelndes Umfeldmodell dazu in der Lage ist, ein Situationsverständnis aufzubauen, auf dessen Grundlage die Assistenzfunktion umgesetzt werden kann. Hierzu zählen sowohl die Analyse der befahrbaren Straßenbereiche, als auch die dynamische Priorisierung der Fahrspur- und Randbebauungsinformationen sowie der dynamischen Objekte (Fremdverkehr).

Die eigentliche Querführungsassistentenfunktion erfordert die Umsetzung einer assistierenden Lenkempfehlung mit hoher Kundenakzeptanz und situationsabhängiger Eingriffscharakteristik. Der Ausgestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle kommt hierbei eine besondere Rolle zu, da nur durch eine adäquate Auslegung ein hoher Kundennutzen entsteht. Um die Assistenzfunktion im Fahrzeug prototypisch in Betrieb nehmen zu können, müssen die Systemkomponenten Umfeldsensorik, Sensordatenfusion, Situationserfassung, Fahrzeugregelung, Aktoransteuerung und HMI in den Gesamtsystemverbund integriert werden (Fahrzeugintegration).

Umsetzungsstrategie

Der Engstellenassistent wird im Rahmen des Förderprojekts UR:BAN-KA in erster Ausprägung als ein Fahrerassistenzsystem mit reiner Querführungsassistentenfunktion umgesetzt. Wie Abbildung 1 verdeutlicht, kann der Engstellenassistent als eine zweistufige Weiterentwicklung des Lane Assist verstanden werden. In der ersten Stufe, werden Baustellensituationen auf Autobahnen und Landstraßen unterstützt. Dies

geschieht nicht nur auf Basis von Fahrstreifenmarkierungen, sondern auch unter Berücksichtigung von gleichgerichtetem Fremdverkehr sowie Baustelleneinrichtungen wie Fahrbahnteiler, Warnbaken, Pylonen usw.

Der Engstellenassistent für städtische Umgebungen unterscheidet sich in verschiedenen Punkten von dieser Ausprägung, die als Baustellenassistent bezeichnet werden kann. Zum einen sind die Anforderungen für das assistierte Durchfahren von städtischen Baustellen bedeutend höher, als für Landstraßen und Autobahnen. Dies resultiert daraus, dass das entsprechende Regelwerk für die Errichtung von Baustellen im städtischen Bereich mehr zulässt. So können z.B. Querabsperungen (Wegfall eines Fahrstreifens) im Stadtgebiet aufgrund des niedrigeren Geschwindigkeitsniveaus abrupter erfolgen. Der Querversatz der Behelfsspur kann größer ausfallen und die Behelfsspur führt nicht selten auch über Bürgersteige, oder andere Unebenheiten.



Abbildung 1: Weiterentwicklung des Lane Assist hin zum Bau- und Engstellenassistent

Andererseits sind Engstellen nicht nur auf Baustellen begrenzt. Städtische Engstellen können auch durch die beengten Verkehrsverhältnisse durch den ruhenden und fließenden Verkehr entstehen (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Engstelle in städtischer Umgebung

Wie Baustellen in Deutschland auf den verschiedenen Straßentypen aufzubauen sind, ist den entsprechenden Richtlinien aufgeführt. Eine Aufstellung hierzu findet sich in Tabelle 1.

Tabelle 1: Übersicht zu Richtlinien für die Anlage von verschiedenen Straßentypen

| Abkürzungen für Richtlinien | Bedeutung |
|-----------------------------|--|
| RAA | Richtlinie für die Anlage von Autobahnen |
| RAL | Richtlinie für die Anlage von Landstraßen |
| RASt | Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen |
| RAS-L | Richtlinie für die Anlage von Straßen – Längsführung |
| RAS-Q | Richtlinie für die Anlage von Straßen – Querführung |
| RMS | Richtlinie für die Markierung von Straßen |
| RSA | Richtlinie für die Absicherung von Arbeitsstellen |

Die Konzernforschung der Volkswagen AG verfolgt bei der Umsetzung des Bau- und Engstellen im Rahmen von URBAN-KA eine zweistufige Umsetzungsstrategie, bei der im ersten Schritt der Baustellenassistent umgesetzt wird, bevor aufbauend auf diesem im zweiten Schritt der Engstellenassistenten für den urbanen Raum umgesetzt wird. Gegenstand dieser Veröffentlichung ist in diesem Sinne ausschließlich der Baustellenassistent mit einer aktiven Querführungsunterstützung. Der Ansatz der

hierbei zur Systemumsetzung gewählt wurde ist bewusst ein modellfreier Ansatz, der nur auf Basis der Onboard-Sensorik arbeitet und z.B. vollkommen auf georeferenzierte Daten (Karteninformationen) verzichtet.

Fahrzeug- und Systemaufbauaufbau

Die technische Realisierung basiert, wie Abbildung 3 zeigt, in der Kernfunktion auf der Nutzung einer nach vorne gerichteten Stereo-Kamera (hinter der Windschutzscheibe) und jeweils zwei seitlich ausgerichteten Ultraschallsensoren. Letztere dienen dazu den Abstand zu parallel fahrenden Fahrzeugen zu bestimmen.

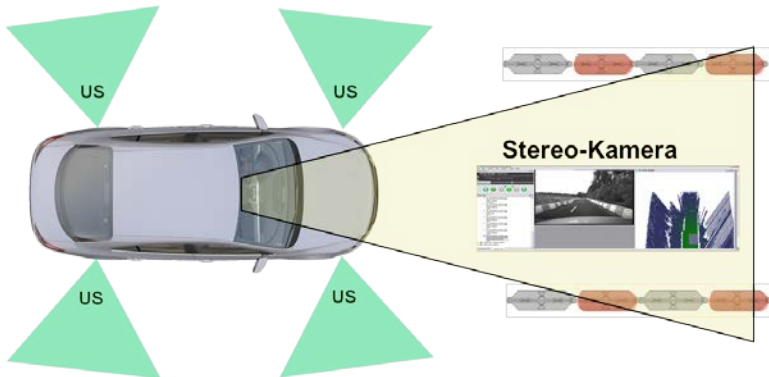


Abbildung 3: Fahrzeugaufbau Baustellenassistent

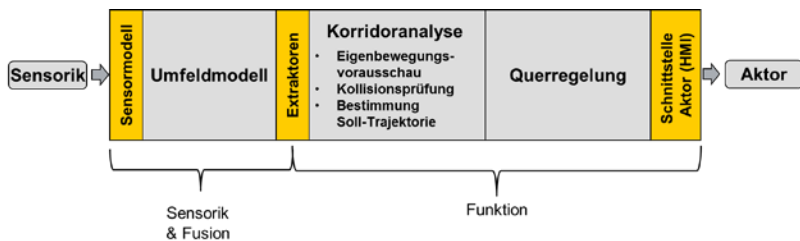


Abbildung 4: Systemarchitektur allgemein

Die zu Grunde liegende Systemarchitektur ist in Abbildung 4 dargestellt. Ein Sensormodell erstellt unter Berücksichtigung optischer Eigenschaften der Kamera kumulierend ein Modell des Umfeldes. Extraktoren bereiten die Daten des Umfeldmodells für die Bahnplanung der Funktion auf. Die Algorithmen zur Querregelung sind auf einer echtzeitfähigen Hardware umgesetzt (Mikroautobox, Abbildung 5), welche direkt über den Antriebs-CAN mit den Steuergeräten des Fahrzeugs kommuniziert.

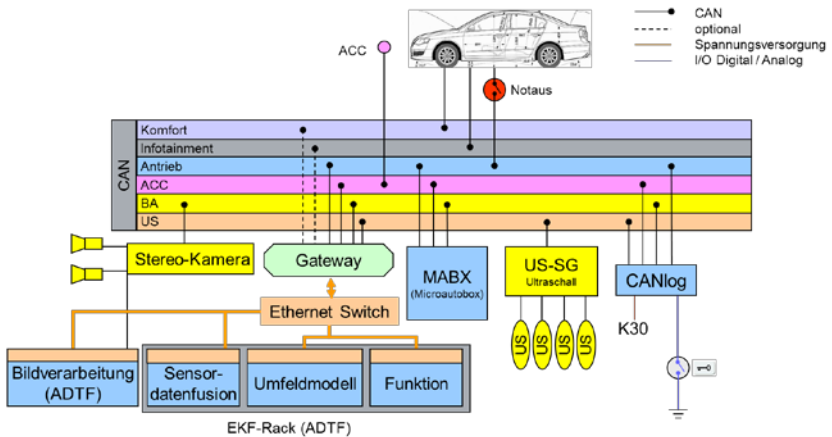


Abbildung 5: Vernetzungsplan Baustellenassistent

Abbildung 6 zeigt den grundsätzlichen Aufbau der Verarbeitungskette. Um das Ziel zu erreichen, dass die Umfeldkarte ausschließlich statische Objekte beinhaltet, werden die durch das Stereokamera-System generierten Objektsegmente zuerst von der Dynamikklassifikation bewertet. Die als „statisch“ identifizierten Objektsegmente werden mit Hilfe des Sensormodells in die Belegungskarte eingetragen. Der nachgeschaltete Korridor-Server ermittelt auf der Grundlage dieser „statischen Belegungskarte“ mögliche befahrbare Korridore. Diese als „möglich“ eingestuft Korridore werden dem BA-Bahnplaner zur weiteren Analyse zur Verfügung gestellt. Dieser entscheidet u.a. auch darüber, welcher der

möglichen Korridore in der derzeitigen Fahrsituation der relevante Korridor ist, bzw. welchen der Fahrer wahrscheinlich beabsichtigt zu befahren.

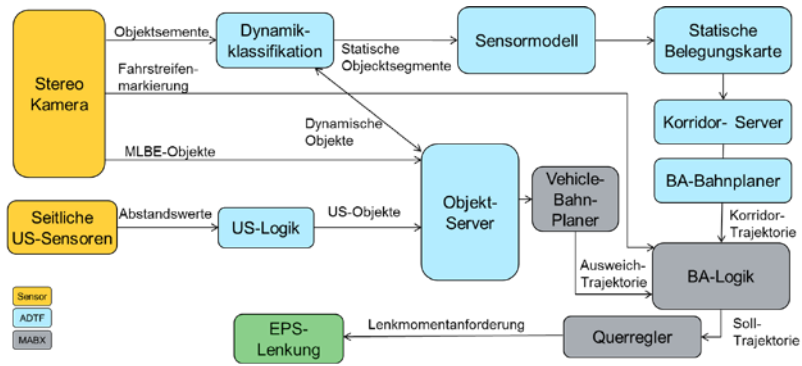


Abbildung 6: Verarbeitungskette Baustellenassistent

Der Objektserver hat innerhalb der Verarbeitungskette die Aufgabe auf Grundlage aller Objektinformationen die Objekte zu bestimmen, die in der aktuellen Verkehrssituation bezogen auf die gerichtete Einengung des Ego-Fahrstreifens (nach rechts bzw. links) vorrangig zu betrachten bzw. relevant sind. Als Objektinformationen dienen hierbei sowohl die als dynamisch klassifizierte und gruppierte Objektsegmente, als auch die direkt von der Kamera ausgegebenen Objektinformationen, sowie die Ultraschalldaten hinsichtlich der aktuell gemessenen seitlichen Abstände zu potentiell vorhandenen Nachbarobjekten. Die relative Position, Lage und Ausrichtung des bzw. der relevanten Objekte werden von dem sog. Vehicle-Bahn-Planer dazu benutzt eine Ausweichtrajektorie zu bestimmen. Diese wird der BA-Logik zur Verfügung gestellt.

Die BA-Logik übernimmt somit in der Systemkette die Aufgabe auf Basis der Korridor- und Ausweichtrajektorie im Zusammenspiel mit dem aktuellen Fahrstreifenverlauf die Solltrajektorie zu bestimmen. Diese wird an den Querreger übergeben, der daraus die Lenkmomentenanforderungen

generiert. Der Lenkaktuator (EPS-Lenkung) setzt diese Anforderung über die in Serie bereits eingesetzte Lane-Assist-Lenkmomentenschnittstelle um.

Sensormodell

Wie bereits dargelegt, werden die als „statisch“ klassifizierten Objektsegmente in eine Belegungskarte eingetragen. Die Eintragung erfolgt technisch gesehen über ein Softwaremodul, das als Stereo-Kamera-Sensormodell bezeichnet wird. Um eine möglichst hohe Reichweite bei der Planung eines freien Korridors zu erhalten, ist es notwendig Hindernisse möglichst früh zu erkennen. Um dies zu erreichen müssen die physikalischen Eigenschaften eines Sensors bei den zyklisch vorgenommenen Einträgen in die Belegungskarte möglichst gut abgebildet werden. Die für den Baustellenassistenten verwendete Stereo-Kamera hat die Eigenschaft, dass die Messungsgenauigkeit hinsichtlich der relativen Abstandsbestimmung mit der Objektentfernung stark zunimmt. Demzufolge streuen die Abstandsmesswerte in Abhängigkeit von der Objektentfernung verschieden stark. Um dieser entfernungsabhängigen Eigenschaft des Sensors Rechnung zu tragen, verwendet das Sensormodell beim Eintrag in die Belegungskarte das in Abbildung 7 gezeigte Stereo-Kamera-Fehlermodell.

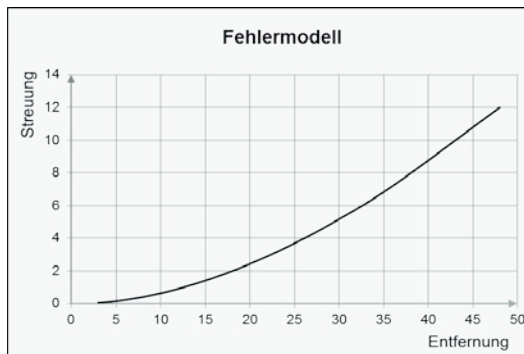


Abbildung 7: Dem Sensormodell Stereo-Kamera zugeordnetes Fehlermodell (allgemein)

In Abbildung 8 ist dargestellt, auf welche Weise ein Objektsegment unter Berücksichtigung des Fehlermodells in die Umfeldkarte eingetragen wird. Die blaue Linie entspricht dabei einem Sichtstrahl der Stereo-Kamera.

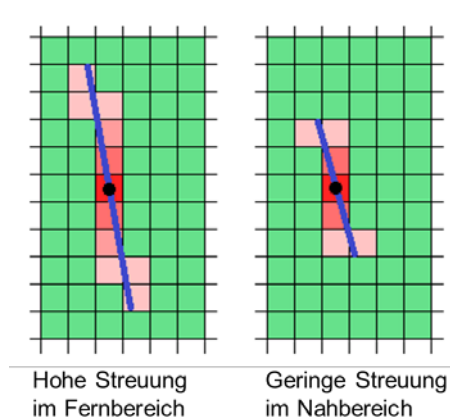


Abbildung 8: Auswirkung der Anwendung des Fehlermodells in der Belegungskarte

Diese Logik führt dazu dass ein eingetragenes Objektsegment innerhalb der Umfeldkarte schnell in Sättigung kommt. Gleichzeitig führt diese Verhalten aber auch dazu, dass einzelne Hindernisse wie Beispielsweise Baken oder Pylone viel größer in die Karte eingetragen werden, als sie wirklich sind. Dieser Effekt wirkt sich negativ auf die Berechnung freier Korridore durch den Korridor-Server aus, da es vorkommen kann, dass im Nahbereich kein freier Weg durch eine Baustelle ermitteln werden kann. Um diesen Effekt zu minimieren, werden wie in Abbildung 9 dargestellt bei jedem Eintrag eines Objektsegmentes belegte Zellen in der Umgebung abgeschwächt (erodiert), so dass sich bei Verringerung der Entfernung des Hindernisses eine Schärfung des Objektes ergibt.

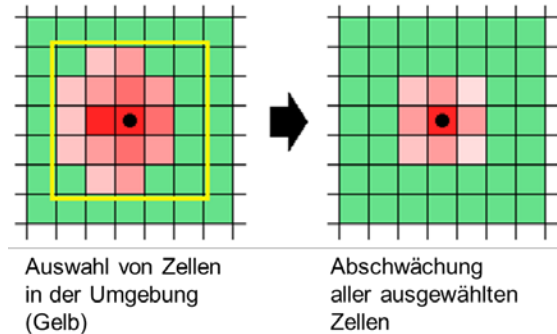


Abbildung 9: Schärfung von Zellen / Erosion pro Objektsegment

Dynamikklassifikation

Die Dynamikklassifikation hat die Aufgabe die von dem Stereo-System gelieferten Objekt-Segmente hinsichtlich ihrer Eigenbewegung in statische oder dynamische Segmente einzuteilen. Der Prozess der Dynamikklassifikation besteht aus mehreren Stufen, die nachfolgend erläutert werden:

1. Schritt: Clustering

„Zusammengehörige“ Objektsegmente werden zu Clustern zusammengefasst. (Kriterien: Abstand der Segmente zueinander, Qualität der Segmente). Zusätzlich wird die mittlere Position (Schwerpunkt) eines jedes Clusters berechnet

2. Schritt: Clustering der Segmente des Folge-Frames

Im Folge-Frame wird das Clustering der einzelnen Segmente erneut durchgeführt

3. Schritt: Assoziation der Cluster aus Frame n und n+1

Es wird der euklidische Abstand der Cluster-Schwerpunkte zueinander berechnet ($C1 \rightarrow C2$, $C1 \rightarrow CN$, ...). Liegen die Cluster unter Berücksichtigung der Ego-Geschwindigkeit innerhalb eines

Bewegungsfensters, werden diese korrespondierenden Cluster zusammengefasst (Assoziiert). Konnten Cluster mehrmals assoziiert werden, wird ein Qualitätswert erhöht und eine Geschwindigkeit für jeden Cluster abgeleitet.

4. Schritt: Klassifikation

Besitzt ein mehrmals assoziierter Cluster eine globale mittlere Geschwindigkeit wird dieser Cluster als dynamisches Objekt eingestuft. Zusätzlich wird jedes Objektsegment, dass einem dynamischen Cluster zugeordnet ist als „ungültiges Segment“ markiert und somit nicht im Sensormodell berücksichtigt.

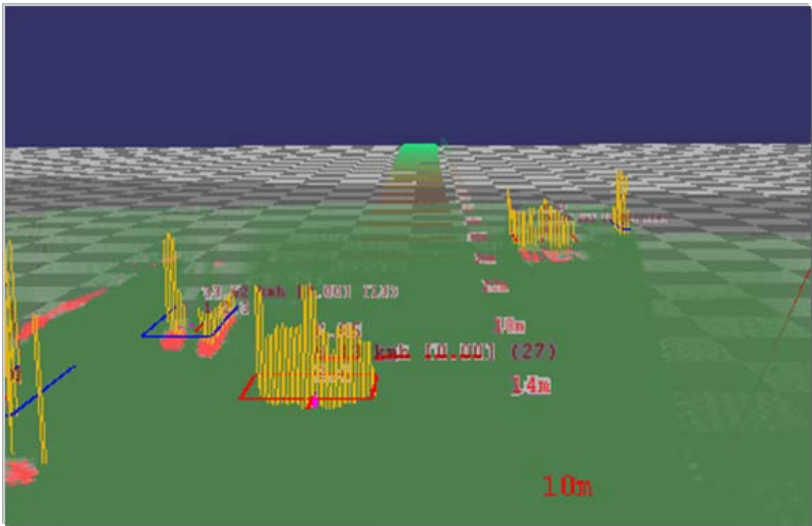


Abbildung 10: Ergebnis der Klassifikation (rot: dynamisch, blau: statisch)

Korridoranalyse

Die Korridor-Server übernimmt die Funktion, aus der Umfeldkarte befahrbare Korridore zu ermitteln. Auch diese Analyse erfolgt in mehreren Schritten, die nachfolgend erläutert werden:

1. Schritt:

Festlegung eines Suchfensters (Region of Interest) innerhalb der Umfeldkarte ausgehend von der Ego-Position bis zu einer festgelegten Distanz nach vorne und seitlich (Schwarzer Rahmen)

2. Schritt:

Suche nach Hindernissen (Belegten Zellen) innerhalb des Suchfensters (blaue Linien)

3. Schritt:

Auswahl der relevanten Übergangspunkte von belegt zu frei und umgekehrt (Gelb)

Berechnung einer Krümmung ausgehend von der Hinterachsenmitte bis zum relevanten Übergangspunkt (für links und rechts)

4. Schritt:

Bereitstellung der berechneten Krümmungsbereiche (Korridore) an nachfolgenden Filter (BA-Bahnplaner) mittels Client-Server Architektur

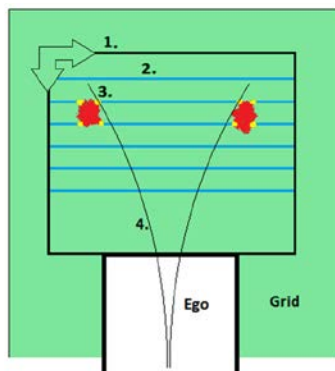


Abbildung 11: Korridor-Extraktion

Der Korridor-Server berechnet in der aktuellen Konfiguration maximal drei befahrbare Korridore. In der folgenden Abbildung wurden zwei befahrbare Korridore ermittelt.

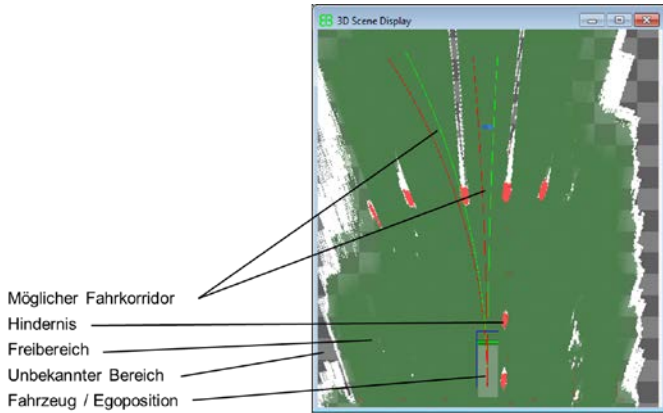


Abbildung 12: Korridor-Extraktion - zwei befahrbare Korridore (Jeweils linke Grenze: rote Linie, rechte Grenze: grüne Linie)

Objektserver

Der Objekt-Server dient als zentrale Sammel- und Bewertungsstelle für dynamische Hindernisse. Die eingehenden Daten bestehen aus den seitlichen Ultraschall-Daten, den durch die Dynamikklassifikation ermittelten Dynamischen Objekten und den vom Kamerasystem erzeugten Objekten.

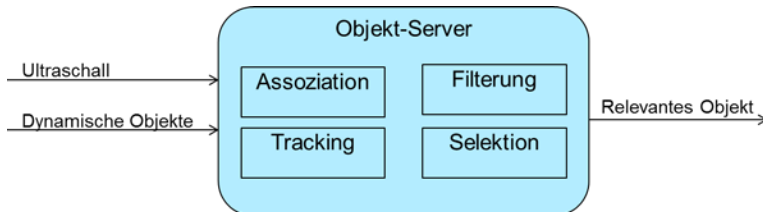


Abbildung 13: Funktionsmodule des Objekt-Servers

Die eingehenden Objekte werden im ersten Schritt Assoziiert. Die Informationen gleicher Objekte (Objekte aus der Dynamikklassifikation und Kamera-Objekte) werden auf ein resultierendes dynamisches Objekt reduziert bzw. zusammengefasst. Zusätzlich werden einmalig erfasste dynamische Objekte verfolgt (Tracking) sobald sie aus dem Sichtbereich des Kamerasystems verschwunden sind. Dies dient dazu, den Übergang von Objekten aus dem Kamerasystem so lange zu verfolgen, bis sie von den seitlichen Ultraschallsensoren bestätigt werden.

Werden mehrere dynamische Objekte durch das System erkannt, müssen die relevanten Objekte, auf die geregelt werden soll, ausgewählt werden. Zu diesem Zweck wurde wie in Abbildung 14 dargestellt eine spezielle Heuristik eingeführt. Zur Priorisierung eines Objektes wird der laterale Referenzpunkt des Objektes auf eine Dreiecksfunktion projiziert. In diesem Beispiel ist eindeutig zu erkennen, dass das 1. Objekt eine höhere Priorität besitzt als das 2. Objekt, da der Ergebniswert der Projektion auf die Dreiecksfunktion beim ersten Objekt größer ist, als bei dem 2. Objekt. Somit wird das 1. Objekt als relevant ausgewählt.

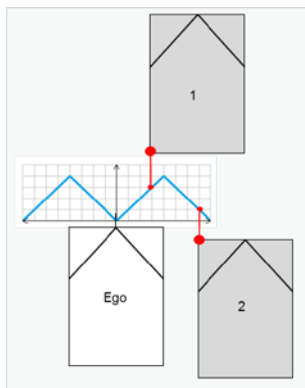


Abbildung 14: Auswahl des relevanten Objekts und Objektpunkts

Systemeingriff

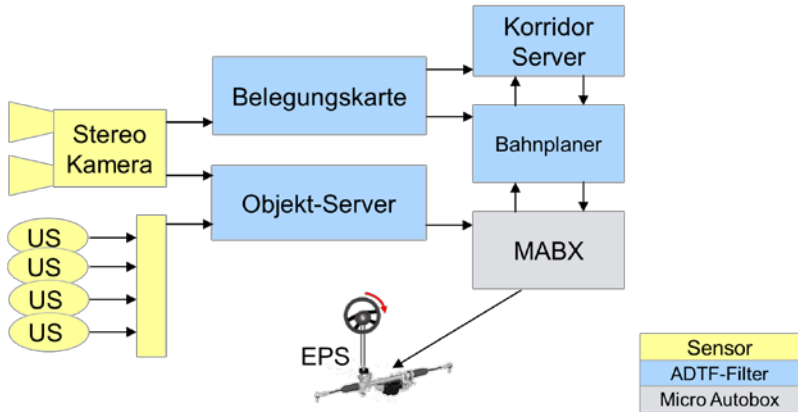


Abbildung 15: Systemübersicht aus Funktionssicht

Die Funktionsalgorithmen präzisieren den zukünftigen Fahrzeugverlauf in der Belegungskarte. Im Falle einer prognostizierten Kollision wird eine Fahrzustandsabhängige Scan-Anfrage an den Korridorserver gestellt, der eine Liste der kollisionsfrei befahrbaren Korridore erstellt. Der Bahnplaner wählt einen dieser Korridore aus und plant unter Berücksichtigung von Sicherheitsabständen eine Solltrajektorie innerhalb dieses Korridors. Parallel dazu werden die Daten des Objekt-Servers ausgewertet und eine Ausweichtrajektorie zur Vermeidung von Kollisionen mit (gleichgerichtetem) Fremdverkehr berechnet. Die Fahrstreifenmarkierungen werden durch den Lane Assist Algorithmus berücksichtigt. Eine situationsabhängige Priorisierung der Trajektorien führt zur Auswahl einer Solltrajektorie welche als Eingangsgröße an die Regelalgorithmen zur Ansteuerung der elektromechanischen Lenkung übergeben wird. Ähnlich wie beim Lane Assist wird das Handlenkmoment berücksichtigt und sichergestellt dass der Fahrer das System jederzeit übersteuern kann. In Abhängigkeit vom Gefährdungspotential werden hierzu unterschiedliche Schwellen benutzt, so dass der Fahrer eine Lenkempfehlung aufgrund von

Fahrstreifenmarkierungen leichter übersteuern kann, als eine kollisionsvermeidende Lenkempfehlung.

Anwendungsszenarien

Engstellensituationen und damit die Anwendungsszenarien eines Bau- und Engstellenassistenten sind sehr vielfältig. Die möglichen Anwendungsszenarien eines Bau- und Engstellenassistenten lassen sich zunächst dadurch unterscheiden, ob es sich um eine Baustellenabsperzung im Sinne der in Tabelle 2 aufgeführten Absperrungsarten handelt.

Darüber hinaus können Engstellenszenarien auch nach folgenden Kriterien unterschieden werden:

- Begrenzungstyp:
 - Fahrbahnmarkierungen,
 - statische Objekte / Fahrstreifenrandbegrenzung,
 - Parallelverkehr
- Korridorverlauf:
 - Gerade,
 - Kurve (konstanter Kurvenradius, Klothoide, S-förmig)
- Fahrsituation:
 - Freie Fahrt,
 - Fahrgefährt,
 - Parallelfahrt,
 - Überholen.

Da sich die einzelnen Kriterien noch beliebig miteinander kombinieren lassen und der Begrenzungstyp ohnehin noch seitenspezifisch ist, also rechts und links vom Fahrzeug unterschiedlich sein kann, ergeben sich eine Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten.

Auf Autobahnen spielt die sog. Mittelstreifenüberfahrt eine besondere Rolle. Bei dieser Art von Baustelle, wird der Verkehr auf die gegenüberliegende Fahrbahn geleitet. Das Verschwenkungsmaß darf bei einer regelkonformen Autobahnbaustelle in Deutschland nicht das Maß von 1:10 nicht überschreiten, was bedeutet, dass auf einer Länge von 10m nicht

mehr als 1m verschwenkt werden darf. Wie hierbei Schilder, Leitbaken, Behelfsfahstreifen usw. angeordnet werden müssen, wird in den sog. Regelplänen spezifiziert (siehe Abbildung 16).

Tabelle 2: Absperrungsarten einer Baustelle

| Absperrungen | Beschreibung |
|-----------------|--|
| Längsabspernung | Beschreibt die Abgrenzung der Arbeitsstelle in Längsrichtung. Üblicherweise werden Leitbaken ggf. mit Beleuchtung im Abstand von 20m oder Leitelemente für die Längsabspernung verwendet (RSA D 2.3.3, ZTV-SA Handbuch Def.26). |
| Querabspernung | Beschreibt die Abgrenzung der Arbeitsstelle in Querrichtung am Anfang oder Ende der Arbeitsstelle. Für die Abgrenzung werden Leitbaken mit Beleuchtung oder Schutzwände verwendet (RSA D 2.3.3, ZTV-SA Handbuch Def.25). Der maximale Abstand in Längsrichtung beträgt 10m, in Querrichtung 0,5m => daraus resultiert ein Verschwendungsmaß von 1:20, kann aber auch größer sein |
| Teilspernung | Spernung von Teilen der Verkehrsfläche, so dass diese noch eingengt von allen Verkehrsteilnehmern oder nur einem Teil (z.B. Anlieger, Verkehrsbetriebe) genutzt werden kann. |

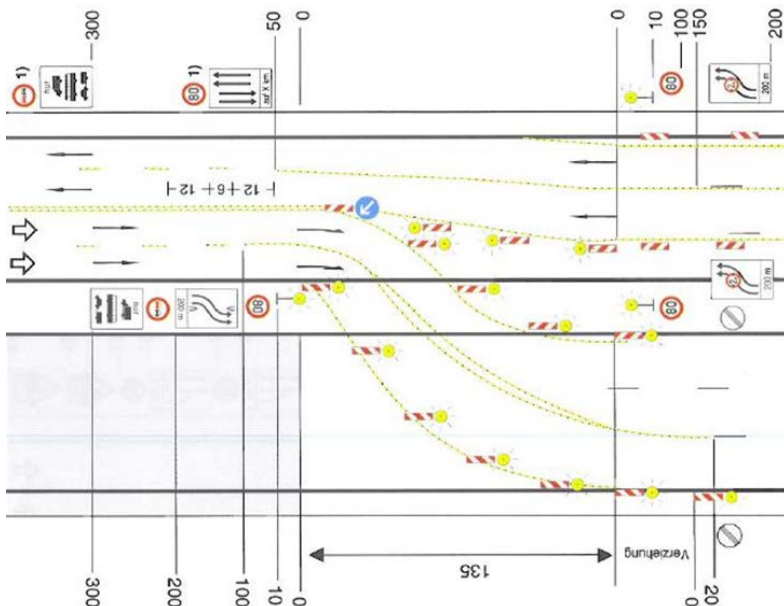


Abbildung 16: Regelplan D II / 7

Aus System Sicht stellt die Folgefahrt in engen verschwenkten Bereichen eine besondere Herausforderung dar. Wie in Abbildung 17 beispielhaft zu erkennen, werden die vorausliegenden Fahrstreifenbegrenzungen von dem vorausfahrenden Fahrzeug je nach Größe und Abstand zum Ego-Fahrzeug verschieden stark verdeckt, so dass ein optischer Sensor, wie die verwendete Stereo-Kamera, deutlich an Vorausschauweite verliert. Um bei dem zugrundeliegendem Systemkonzept mit nur einem nach vorne gerichteten bildgebenden Onboard-Sensor dennoch in Engstellen eine kontinuierliche Assistenz anbieten zu können, ist es erforderlich die Querführungsassistenz mit einer Abstandsregelung zu kombinieren die sicherstellt, dass die Vorausschauweite immer noch ausreichend ist. Unterstützt werden kann diese Maßnahme dadurch, dass die Solltrajektorie mit der Bewegungstrajektorie des bzw. der vorausfahrenden Fahrzeuge abgestimmt wird. Letzteres wurde bei dem hier vorgestellten System noch nicht umgesetzt.

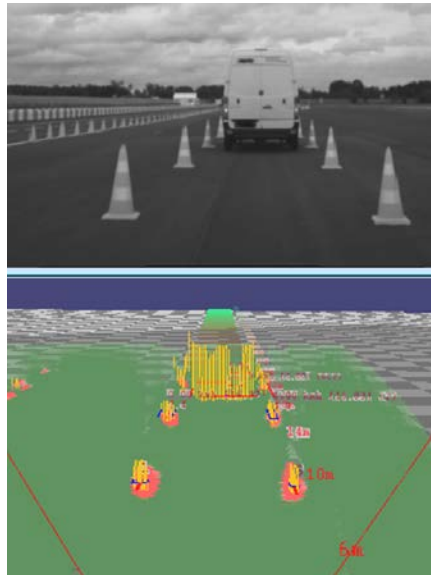


Abbildung 17: Sondersituation Folgefahrt in Baustellen

Zusammenfassung und Ausblick

Das im Rahmen dieses Beitrags vorgestellte Konzept zur prototypischen Umsetzung eines Bau- und Engstellenassistenten verfolgt einen modellfreien Ansatz zur aktiven Querführungsassistenz in beengten Fahrsituationen. Der Ansatz baut auf dem bereits in Serie eingesetzten Lane Assist System auf. Zur sensorischen Erfassung des Umfelds werden neben einer nach vorne gerichteten Stereo-Kamera auch vier seitlich ausgerichtete Ultraschallsensoren verwendet. Die Verarbeitungskette des Systems zielt darauf ab, die erfassten Objekt- und Linieninformationen so aufzuarbeiten, dass eine zentrale Logik fortwährend auf der Basis des Fahrstreifenverlaufs und den berechneten möglichen Korridor- und Ausweichtrajektorien situationsspezifisch eine Solltrajektorie bestimmen kann. Ob und wie stark der aktive Lenkeingriff erfolgt, hängt maßgeblich davon ab, wie stark der Fahrkorridor aktuell eingeschränkt ist und ob der Fahrer einen Kurs ansteuert, der innerhalb des befahrbaren Korridors liegt. Die Assistenzfunktion greift demnach nur ein, wenn davon auszugehen ist, dass das Fahrzeug in unmittelbarer Zukunft den befahrbaren Korridorbereich verlassen würde. In diesem Sinne verfolgt das System einen modellfreien reaktiven Ansatz, der nur eingreift, wenn es notwendig ist.

Im Rahmen des Förderprojekts UR:BAN-KA wird eine weitere Ausbaustufe des Bau- und Engstellenassistent angestrebt. Es ist vorgesehen den hier vorgestellten Systemansatz um eine vorausschauende Bahnplanungskomponente zu erweitern. Der Grund hierfür liegt darin, dass im Vergleich zu Autobahnen und Landstraßen Engstellen im Urbanen Bereich wesentlich unstetiger verlaufen können. Baustellenbedingte Längs- und Querabsperungen können z.B. im innerstädtischen Bereich viel abrupter ausfallen. Zudem sind dort häufig auch Fahrsituationen anzutreffen, in denen die Fahrbahn durch Fahrzeuge verengt ist, die am linken und/oder rechten Fahrbahnrand abgestellt sind.

Um auch in komplexen urbanen Engstellen eine fahrerzentrierte Querführungsassistenz umsetzen zu können, wird bei der Konzernforschung der Volkswagen AG im Rahmen des Förderprojekts UR:BAN-KA daran gearbeitet auf der Basis eines modularen Umfeldmodells eine geeignete urbane Situationsrepräsentation zu entwickeln, die es erlaubt Fahrtrajektorien über einen größeren räumlichen Bereich hinweg zu planen.

Literatur

- [1] M. Weilkes, L. Bürkle, T. Rentschler: „Lane Keeping Support: von haptischer Spurverlassenswarnung zu semi-autonomer Spurführung“, Tagungsband des 15. Aachener Kolloquiums ‚Fahrzeug- und Motorentechnik‘ (2006), Seite 909 – 920
- [2] Lüke, Darms, Komar, Waldbauer: *Ein Assistenzsystem zur Unterstützung des Fahrers in Baustellen* , Beitrag zur Tagung „11. Braunschweiger Symposium AAET 2010, Braunschweig 10./11. Februar 2010
- [3] M. Strauss, S. Lueke, M. Darms, M. Komar, D. Waldbauer: *Driver Assistance in Construction Areas* , proceedings of the international conference “Vehicle and Infrastructure Safety Improvement in Adverse Conditions and Night Driving”, Versailles, France, October 6./7., 2010
- [4] Thomas Eigel, Dr. Tobias Giebel (Volkswagen), *AKTIV IQF: Integrierte Längs- und Querverführung durch strukturvariable Regelung* Prof. Dr. Eckehard Schnieder (TU Braunschweig), 10. Braunschweiger Symposium AAET 2009
- [5] Gerrit Schmidt (Volkswagen); *Haptische Signale in der Lenkung: Controllability zusätzlicher Lenkmomente* Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Institut für Verkehrssystemtechnik, ISSN 1866-721X, DLR-TS 1.7, Braunschweig, Oktober 2009
- [6] Simon Karrenberg (Volkswagen): *Zur Erkennung unvermeidbarer Kollisionen von Kraftfahrzeugen mit Hilfe von Stellvertretertrajektorien*, Berichte aus dem DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik Band 2, ISSN 1866-721X, DLR-TS 1.2, Braunschweig 2008
- [7] Thomas Eigel (Volkswagen): *Integrierte Längs- und Querverführung von Personenkraftwagen mittels Sliding-Mode-Regelung*, ISBN-10: 3832524576, Logos Berlin 2010