



© IPG Automotive

Sensormodelle für die Entwicklung und Absicherung automatisierter Fahrfunktionen

Fahrerassistenzsysteme unterstützen zunehmend bei komplexen Fahraufgaben. Bis jedoch die Verantwortung vom Fahrer gänzlich auf automatisierte Systeme übertragen werden kann, müssen diese Funktionen umfangreich getestet und abgesichert werden. IPG Automotive setzt dabei auf hochleistungsfähige Sensormodelle in Simulationsumgebungen, die einen sehr hohen Detailgrad der Umweltinformation abbilden, zugleich aber auch flexibel anwendbar sind.

MOTIVATION

Im realen Fahrversuch ist der Testaufwand aufgrund der gestiegenen Variantenvielfalt und der dafür nötigen Testszenarien kaum mehr zu bewältigen. Um dieser Herausforderung zu begegnen, werden Simulationslösungen ein-

gesetzt. Die effiziente Nutzung einer Simulationsumgebung ermöglicht es, die herkömmliche Fahrzeugentwicklung basierend auf realen Prototypen stark zu beschleunigen und zu vereinfachen. In der Simulation wird ein virtueller Prototyp verwendet, der aus Modellen der realen Fahrzeugkomponenten aufge-

baut ist. Testkataloge können durch Automatisierung und Parallelisierung trotz eines sehr großen Umfangs in kurzer Zeit ausgeführt werden.

Somit können Effekte von Software- oder Parameteränderungen schnell erkannt werden. Diese Vorgehensweise reduziert die Anzahl der benötigten rea-

AUTOR



Martin Herrmann
ist Business Development Manager
ADAS and Automated Driving bei
der IPG Automotive GmbH
in Karlsruhe.

len Prototypen stark und verkürzt die Zeit zur Markteinführung des betreffenden Fahrzeugs massiv. Jedoch steigt auch in der Simulation der Testaufwand für Entwicklung und Absicherung automatisierter Fahrfunktionen exponentiell an. Im Gegensatz zum klassischen Testen gibt es kein simples Testen der Anforderungen mehr. Insbesondere automatisiertes Fahren muss in möglichst allen denkbaren Situationen sicher und fehlerfrei funktionieren.

Eine vollständige Testabdeckung ist daher nahezu unmöglich, systematische Ansätze versprechen jedoch, Sicherheitsaussagen treffen zu können [1]. Dafür ist eine effiziente Teststrategie die Grundvoraussetzung, die Simulationsmethoden mit Prüfgelände- und Feldtests kombiniert. Für den simulativen Anteil bilden virtuelle Prototypen und Szenarienkataloge die Basis.

VIRTUELLER PROTOTYP

Der virtuelle Prototyp stellt ein Abbild des realen Prototyps dar, dessen Komponenten durch virtuelle Modelle dargestellt werden. Diese werden miteinander kombiniert und ergeben zusammen ein vollständiges virtuelles Fahrzeug. Bei geeigneter Parametrierung ergibt sich ein realitätsgetreues fahrdynamisches Verhalten, das beispielsweise für simulationsgestützte ESP-Homologation verwendet werden kann. Mit der Modellierung der einzelnen Subsysteme können sämtliche Abhängigkeiten und Einflüsse der verschiedenen, auch aktiven Fahrzeugsysteme untereinander abgebildet werden.

Dies ermöglicht das sogenannte szenarienbasierte Testen, das gegenüber dem herkömmlichen signalbasierten Testen diverse Vorteile bietet. Der größte Vorteil ist der Test im Gesamtfahrzeug unter realistischen Bedingungen in frei definierbaren Szenarien.

Der virtuelle Prototyp ist auch deutlich früher im Entwicklungsprozess verfügbar und kann daher in sämtlichen Entwicklungsphasen eingesetzt werden. Alle involvierten Abteilungen können jederzeit den tagesaktuellen Entwicklungsstand abrufen, sodass viele Tests früher durchgeführt werden können als bisher. Diese Vorteile tragen zu einer hocheffizienten Komponentenentwicklung bei.

Zur zielgerichteten Verifikation der Subsystemfunktionen und Reduktion

der Anzahl der benötigten Variationsparameter in den benötigten Tests wurde das Konzept der „funktionalen Dekomposition“ entwickelt [2, 3]. Dabei werden zuerst die Subsystemfunktionen durch Bereitstellung eines entsprechenden Inputs überprüft, um deren Funktion sicherzustellen und die Qualität zu erhöhen. Da nicht sämtliche relevanten Parameter für alle Systeme in einem Testkatalog vollfaktoriell variiert werden müssen, kann anschließend das Gesamtsystem schrittweise zusammengefügt und Tests im Systemverbund in geringerer Anzahl durchgeführt werden. So werden Tests von potenziell kritischen Situationen im Kompletverbund ermöglicht, die zuvor in Subsystemtests identifiziert wurden.

SENSOREN IN DER SIMULATION

Fahrerassistenz- oder automatisierte Fahrfunktionen (ADAS/AD-Funktionen) sind in der Regel ähnlich strukturiert: Zuerst werden relevante Objekte von Sensoren erfasst und gegebenenfalls findet die Eigenlokalisierung des Fahrzeugs statt. Bei der Sensorfusion werden die erfassten Daten verschiedener Sensoren kombiniert, um ein Umfeldmodell mit möglichst allen relevanten Informationen zu bilden. Auf Basis dieses Modells werden im Anschluss eine Situationsanalyse und eine Prädiktion durchgeführt. Diese resultieren in einer geeigneten Manöverplanung, die durch die Bewegungsregelung und Aktorik durchgeführt wird.

Einige dieser Subfunktionen benötigen lediglich eine generische Umfeldschnittstelle und können unabhängig

von der Sensorkonfiguration getestet werden, während andere auf eine möglichst exakte Abbildung der Realität angewiesen sind. Dies bedeutet ebenso eine detaillierte Modellierung des Umfelds mit komplexen Geometrien und Materialeigenschaften. Das führt zu einem erhöhten Aufwand für die Modellierung der Testszenarien.

Somit ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an den Detailgrad der Sensorsimulation. Einerseits ist es sehr wichtig, dass die verwendeten Modelle eine hohe Performanz aufweisen, um in kurzer Zeit eine große Testraumabdeckung zu ermöglichen, andererseits sollen sie Inputs mit geeigneten Detailgraden für das zu testende (Sub-)System bereitstellen. Dies kann bis hin zu realitätsgetreuer, physikalisch möglichst vollständiger Abbildung aller Sensoren führen. Um diesem Konflikt bestmöglich begegnen zu können, wurde die Methode „Purpose Driven Fidelity“ entwickelt. Sie gibt an, dass der virtuelle Prototyp in seinen Subsystemen je nach Anwendungsfall über unterschiedlich detaillierte Modelle verfügen kann.

Als Beispiel dient die Fahrdynamiksimulation: Für automatisierte Fahrfunktionen muss die Fahrphysik auch in fahrdynamischen Grenzfällen oder für Komfortuntersuchungen mit hoher Genauigkeit abgebildet werden. In fahrdynamisch einfacheren Anwendungsfällen kann jedoch auch mit simpleren Modellen gearbeitet werden, beispielsweise beim Test der Perzeption. Ein komplexer virtueller Prototyp wird spätestens aber dann benötigt, wenn die berechneten Sollgrößen für Lenk-, Antriebs- und Bremsmomente

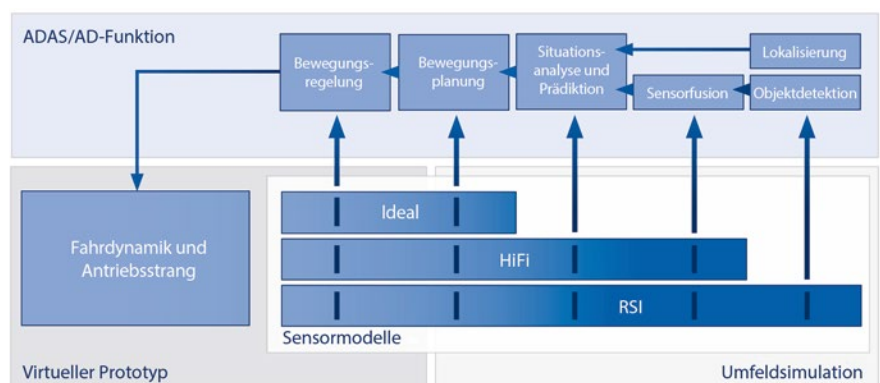


BILD 1 Methode „Purpose Driven Fidelity“ – verschiedene Sensormodellklassen bedienen Tests unterschiedlicher Subsysteme (© IPG Automotive)

ein korrektes Fahrzeugverhalten generieren sollen.

Auch für die Sensoren ist es notwendig, verschiedene Modellierungstiefen zu bieten, **BILD 1**. Für diesen Zweck stellt die offene Integrations- und Testplattform CarMaker drei verschiedene Sensorklassen zur Wahl, die Subsysteme mit speziell zugeschnittenen Informationen versorgen, aber auch stets die höchste Komplexität der Sensorsimulation für den Test des Gesamtsystems zulassen. Im Folgenden werden alle Klassen, ihre Einsatzgebiete sowie etwaige Vor- und Nachteile näher erläutert.

KLASSE 1 – IDEALE SENSORMODELLE

Ideale Sensormodelle, **BILD 2**, dienen dazu, eine Liste von relevanten detektierten Objekten auszugeben. Die dafür nötigen Informationen werden durch eine direkte Extraktion aus dem Simulationsmodell bereitgestellt. Damit erfolgt eine ideale und technologieunabhängige Umfelderkennung, ohne dass die Sensorphysik detailliert betrachtet wird oder sensortypische Fehler in der Objektliste abgebildet werden.

Vorteile der idealen Sensormodelle sind unter anderem die einfache Parametrierbarkeit sowie die hohe Performanz, während ihr Anwendungsbereich darauf fokussiert ist, Fehler in der Perzeption auszuschließen. Ideale Sensormodelle bieten sich daher für grundlegende Tests von Fahrzeugfunktionen an. Außerdem können sie als Referenz (Ground Truth) für den Test der Perzeption und Sensorfusionsalgorithmen eingesetzt werden. Eine aufwendige manuelle oder teilautomatisierte Annotation von Sensordaten kann damit vermieden werden.

Szenarien benötigen für die idealen Sensormodelle keinen hohen Detailgrad. Es reicht aus, wenn die zu detektierenden Objekte in geringer Modellgenauigkeit vorhanden sind, etwa Verkehrsobjekte, Schilder oder Markierungen.

KLASSE 2 – HIFI-SENSORMODELLE

Wie die idealen Sensormodelle liefern auch die Hifi-Sensormodelle eine Objektliste, **BILD 3**. Im Gegensatz zu der reinen Extraktion aus dem Simulationsmodell werden in diesem Fall die Informationen durch physikalische Effekte und/oder

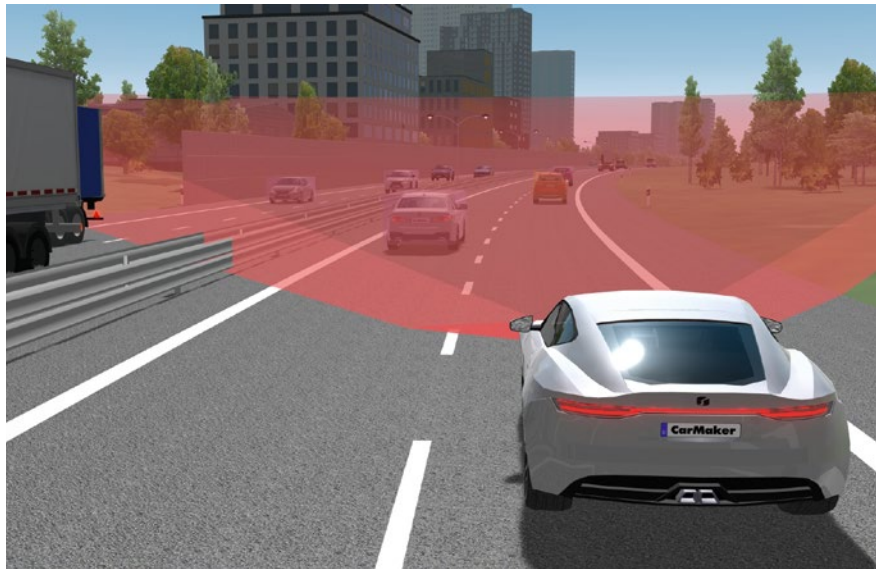


BILD 2 Objekt-Sensormodell (ideal) – alle Fahrzeuge im Erfassungsbereich werden ideal detektiert (© IPG Automotive)

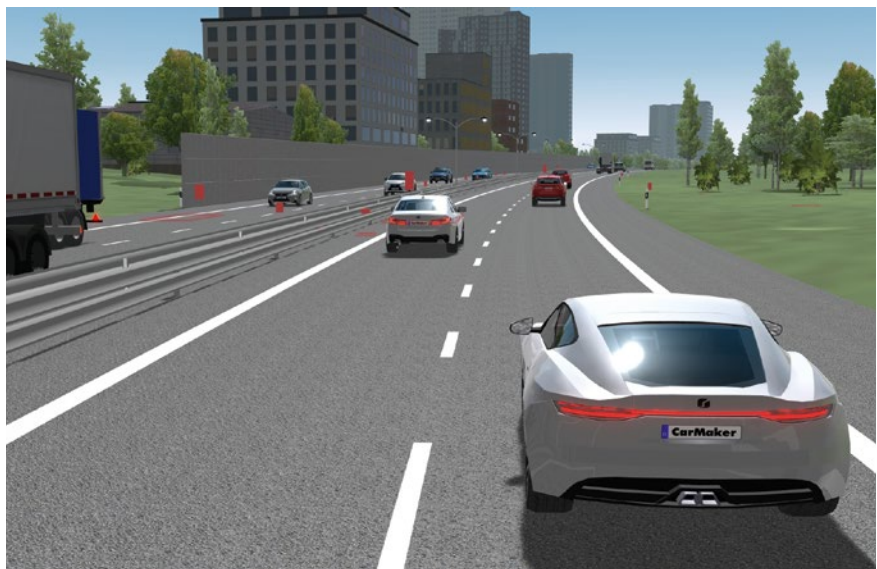


BILD 3 Radar-Hifi-Sensormodell – radartypische physikalische Effekte werden berücksichtigt. So ist beispielsweise links vom parallel zur Leitplanke fahrenden weißen Fahrzeug ein Geisterobjekt zu erkennen (© IPG Automotive)

technologiespezifische, teils stochastische Fehlermodelle angereichert. So ergibt sich eine realitätsnahe Objektliste für die verwendete Sensortechnologie. Die Performanz ist in der Regel dennoch hoch, da die Signalausbreitung und -verarbeitung durch vereinfachte Modelle abgebildet werden.

Physikalische Effekte werden im Mittel zwar korrekt abgebildet, im Einzelfall kann es allerdings zu Abweichungen kommen. Ein Einsatzzweck für

Hifi-Sensormodelle sind Robustheitstests von Fahrzeugfunktionen, die überprüfen, ob Funktionen korrekt ausgeführt werden, obwohl der entsprechende Sensor fehlerhafte Informationen bereitstellt. Die Untersuchung von Situationen, die für die Objektdetektion anspruchsvoll sind, ist mit dieser Sensormodellklasse aufgrund vereinfachter Signalausbreitungsmodelle oder zufälliger Effekte nicht oder nur eingeschränkt möglich.

In den entsprechenden Szenarien wird ein höherer Detaillierungsgrad vorausgesetzt. Es werden weitere Objekte benötigt, die die Detektion der Objekte beeinflussen beziehungsweise False Negatives und False Positives hervorrufen können. Für Radarsensoren sind zum Beispiel Leitplanken und Tunnel relevant, da sie unter anderem das Auftreten von Geisterobjekten begünstigen können.

KLASSE 3 – ROHSIGNALSCHNITTSTELLEN

Rohsignalschnittstellen (Raw Signal Interfaces, RSI), **BILD 4**, stellen Eingangsdaten für Perzeptionsalgorithmen des Sensors bereit, etwa Bilddaten für die Kamerasimulation oder die Kanalimpulsantwort für Radar. Bei der Generierung der Rohsignale werden die Materialeigenschaften der Objekte sowie detaillierte physikalische Effekte berücksichtigt. Die Umgebung muss also für die Verwendung von Rohsignalschnittstellen hinreichend detailliert modelliert und die einzelnen Oberflächen mit entsprechenden technologie-abhängigen Materialeigenschaften ausgestattet werden. Damit gehen höhere Hardwareanforderungen einher, insbesondere an die GPU (Graphics Processing Unit).

Ein Einsatzzweck der Rohdatenschnittstelle kann beispielsweise der Funktionstest einer Sensorkomponente beziehungsweise des dahinterstehenden Detektionsalgorithmus sein – und zwar mit dem höchsten Detaillierungsgrad, der noch in Verbindung mit einer Echtzeitsimulation möglich ist. Wenn die Rohdatenschnittstelle Radarsignale liefert, kann beispielsweise geprüft werden, ob die Signalverarbeitung daraus die korrekte Fahrzeugklasse sowie Abstands- und Geschwindigkeitswerte ableiten kann. Durch die Nutzung standardisierter Schnittstellen und Verschlüsselungsmechanismen können auch zugekaufte Sensoren beim Anwender eingebunden werden, ohne Zugang zum geistigen Eigentum des Zulieferers zu benötigen.

FAZIT

Eine geeignete Simulationsumgebung für den Test von Fahrerassistenzsystemen und automatisierten Fahrfunktionen muss Sensormodelle anbieten, die in der Lage sind, einen sehr hohen Detail-

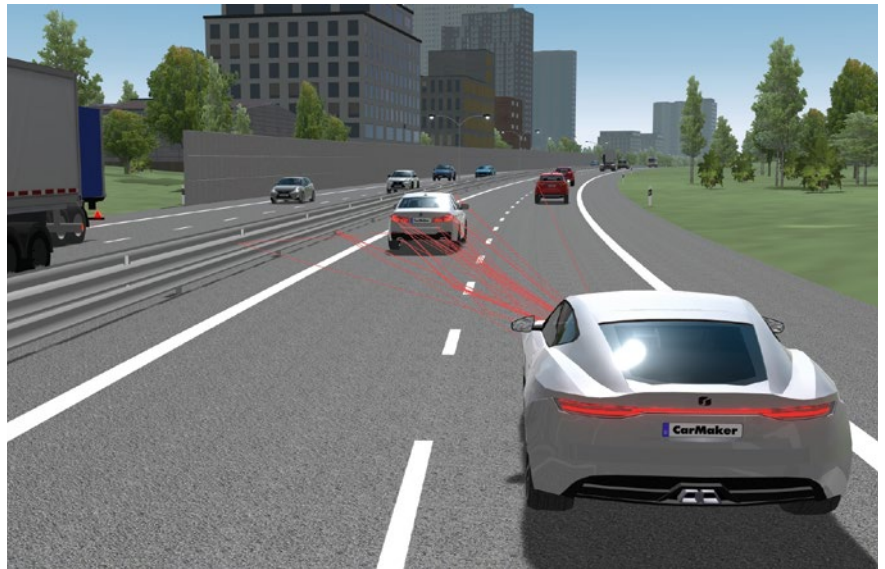


BILD 4 Radar-Rohsignalschnittstelle – die Ausbreitung der elektromagnetischen Welle wird detailliert simuliert; das überholende weiße Fahrzeug wird direkt, über Bodenreflektionen und die Reflektion über die Leitplanke, detektiert; dies kann zu Ungenauigkeiten und Geisterobjekten führen (© IPG Automotive)

grad der Umweltinformation abzubilden, jedoch auch flexibel anwendbar sind. Es muss sichergestellt werden, dass Funktionen wie Perzeption, Sensordatenfusion sowie Planung und Ausführung von Manövern in allen erdenklichen Szenarien abgesichert sind. Abhängig von der jeweiligen Funktionalität sollte die Simulationsumgebung dabei bestimmte Sensormodellklassen anbieten, die die relevanten Umweltinformationen für die Subsysteme bereitstellen.

Die verschiedenen Sensormodellklassen ermöglichen es, gezielt einzelne Elemente der automatisierten Fahrfunktionen zu testen, aber auch das Komplettsystem im Verbund abzubilden. Durch dieses Vorgehen können Subsysteme parallel entwickelt, gezielt getestet sowie der Test- und Modellierungsaufwand in der Simulation reduziert werden. Grundvoraussetzung ist dabei, dass die verwendeten Modelle die reale Welt für den jeweiligen Anwendungsfall hinreichend exakt abbilden.

Um die ordnungsgemäße Funktion der Sensormodelle zu gewährleisten, muss das Verhalten mit dem von realen Sensoren abgeglichen werden. Dies kann durch den Vergleich einer realen Fahrszene inklusive Sensordaten und der entsprechenden Nachbildung in der Simulation erfolgen. Besonders wichtig sind hier die Modellierungstiefe des Sensormodells sowie eine darauf abge-

stimmte Übertragung der realen Umgebung in die Simulation, um auf ein valides Sensor- und Umweltmodell inklusive deren Parametrierung zu schließen.

Für die simulationsgestützte Freigabe von automatisierten Fahrfunktionen ist es notwendig, ein einheitliches Gütemaß für die Modellierung sowie ein Vorgehen für die Validierung von Sensor- und Umgebungsmodellen zu erarbeiten, wie es für die Fahrdynamiksimulation für ESP-Systeme bereits geschehen ist [4, 5]. Um dies zu erreichen, müssen auf diesem Gebiet jedoch noch Erfahrungen ausgetauscht sowie Entwürfe entwickelt und diskutiert werden.

LITERATURHINWEISE

- [1] Herausforderungen eines Szenarien-basierenden Ansatzes, PEGASUS Halbzeitveranstaltung, Aachen, 2017
- [2] Eberle, U.: Automatisiertes Fahren und Entwicklungsprozesse – Ein Blick über den Tellerrand, PEGASUS Halbzeitveranstaltung, Aachen, 2017
- [3] King, J.; Fratzke, D.: Simulation-based Release of an Advanced Driver Assistance System, Apply & Innovate, Karlsruhe, 2018
- [4] ISO 19364:2016-10, Passenger cars – Vehicle dynamic simulation and validation – Steady-state circular driving behaviour
- [5] ISO 19365:2016-10, Passenger cars – Validation of vehicle dynamic simulation – Sine with dwell stability control testing



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

Test now for 30 days free of charge:
www.ATZelectronics-worldwide.com