



AUTOREN



Martin Herrmann

ist Business Development Manager
ADAS & Automated Driving bei der
IPG Automotive GmbH in Karlsruhe.



Chris Hoyle

ist Technischer Direktor
bei rFpro in Romsey (UK).

Einleitung

Situationen, die ausschließlich auftreten können, wenn viele verschiedene Umgebungsbedingungen gemeinsam zum gleichen Zeitpunkt eintreten und Parameterwerte annehmen, die sich außerhalb oder an den Grenzen normaler Betriebsbedingungen befinden, werden als sogenannte Corner Cases (Ausnahmefälle) bezeichnet.

Für kamerabasierte Systeme stellen insbesondere schwierige Wetterbedingungen wie eine tiefstehende Sonne oder starker Niederschlag Corner Cases dar, **BILD 1**. Auch können ungewöhnliche Texturen oder Materialeigenschaften, etwa stark verschmutzte Fahrzeugoberflächen, dazu beitragen, dass die Fahrzeuge von Kameras nicht korrekt identifiziert werden. Tests dieser Systeme sind vor allem in komplexen Verkehrssituationen und im fahrdynamischen Grenzbereich notwendig. Da diese Situationen in der Realität sehr selten eintreten, nicht reproduzierbar sind und die Vielzahl der möglichen Parametervariationen immens ist, bietet sich der virtuelle Fahrversuch als Lösung an.

ANFORDERUNGEN

Um Tests von kamerabasierten Systemen in die Simulation zu verlagern, ist es nötig,

die reale Welt möglichst realistisch und vollständig virtuell abzubilden. Dies betrifft nicht nur die Generierung von Bilddaten, sondern auch die Abbildung der Infrastruktur, der Verkehrsteilnehmer, der Fahrdynamik und des virtuellen Prototyps. Dieser setzt die berechneten Steuersignale der zutestenden Funktionen in eine entsprechende Fahrzeugreaktion um, was einen maßgeblichen Einfluss auf die Sensordaten hat – etwa beim Nicken des Fahrzeugaufbaus während eines starken Bremsmanövers.

Für die Generierung realistischer Bilddaten ist sowohl das Rendering der virtuellen 3-D-Umgebung, als auch die Modellierung der Kamera, bestehend aus optischen (Linsen) und elektronischen Komponenten (Bildprozessor) eine Voraussetzung. Für das Rendering bilden hinreichend detaillierte 3-D-Modelle, hochauflösende Texturen und physikalisch korrekte Materialeigenschaften die Grundlage. Außerdem werden detaillierte Beleuchtungseffekte mit mehreren Lichtquellen und die Abbildung von Witterungsbedingungen benötigt.

Relevante Effekte, die bei der Modellierung der optischen Effekte der Kamera berücksichtigt werden müssen, sind beispielsweise die Linsenverzerrung, Vignettierung und Verschmutzungen, **BILD 2**. Die Eigenschaften des Bildsensors sind

Untersuchung von Corner Cases für kamerabasierte Fahrfunktionen – Realistische Visualisierung in der Simulation

Beim Testen von Fahrerassistenzsystemen und automatisierten Fahrfunktionen liegt eine der Herausforderungen darin, auch solche Szenarien zu evaluieren, deren Eintrittswahrscheinlichkeit extrem gering ist. IPG Automotive und rFpro haben eine Simulationsumgebung entwickelt, in der sich solche Szenarien reproduzieren lassen.

bei der Bildwiederholfrequenz und Auflösung sowie der Abbildung verschiedener Farbfilter, wie des Bayer-Filters, zu berücksichtigen.

Auch diese Effekte müssen dynamisch abgebildet werden, da sie sich während eines Testlaufs verändern können. Beispielsweise können die optischen Eigenschaften der Scheibe vor der Kamera linse bei Regen variieren. Jeder Regentropfen führt zu Verzerrungen, die sich

verformen, während der Tropfen fließt. Zwischen aufeinanderfolgenden Kamerabildern können die Scheibenwischer die Tropfen beseitigen, was zu einer noch drastischeren Veränderung führt. Ebenso kann die Belichtung der Kamera zeitlich mit der Bewegung des Wischerblatts zusammentreffen, sodass es zu einer vollständigen oder partiellen Verdeckung des Kamerasichtfelds kommt. Weitere Beispiele sind die Variationen der Nebel-

dichte, die temporäre Verdeckung der Sonne durch Bewölkung, Objekte am Straßenrand oder vorbeifahrende Fahrzeuge.

EFFIZIENZSTEIGERUNG

Die Hauptanforderungen sind die Beseitigung der Nachteile der realen Fahrversuche und die möglichst effiziente Gestaltung der Testumgebung.



BILD 1 Aufgrund von Witterungsbedingungen und Sonnenstand ergeben sich Corner Cases für die Erkennung von Fahrbahnmarkierungen (© rFpro)

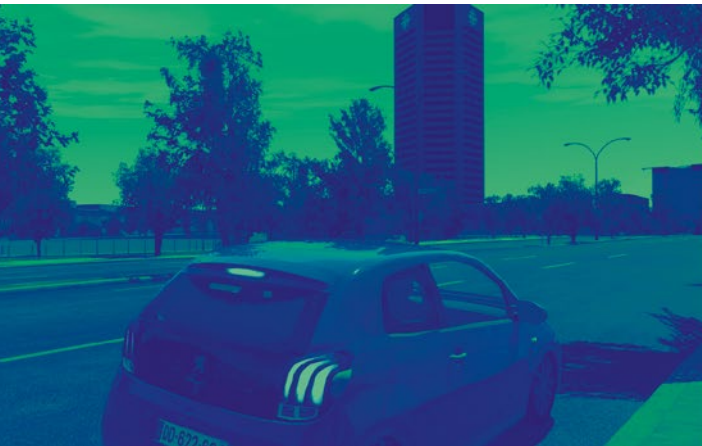


BILD 2 Abbildung typischer Ausgabeformate (YUV, links) und Modellierung von Linseneffekten (etwa Vignettierung, rechts) (© rFpro)

Der virtuelle Fahrversuch bietet diverse Vorteile, die die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen stark beschleunigen und vereinfachen können. An erster Stelle steht die vollständige Kontrolle über die Umwelt: Die Witterungsverhältnisse, die Tageszeit, sowie Verkehrssituationen können beliebig konfiguriert werden.

Durch die Zerlegung des zu testenden Komplettsystems in seine funktionalen Komponenten, die funktionale Dekomposition, kann der Testaufwand stark reduziert werden [1]. Die relevanten Komponenten werden anfangs unabhängig voneinander abgesichert, da die einzelnen Systeme nicht gleich sensitiv auf Änderungen der Testparameter reagieren. Durch die Simulation können Eingangsdaten für die Subsysteme generiert werden, **BILD 3**. Dies können etwa reali-

tätsnahe Bilddaten für den Test der Perzeption oder aber Objektlisten für die Manöverplanung sein. Beim Test des Komplettsystems sind hochgenaue, realistische Bilddaten unabdingbar.

Ein weiterer großer Vorteil betrifft die Sicherheit. Die Simulation ermöglicht die einheitliche Nachbildung von Tests, die ein erhebliches Verletzungsrisiko für Fahrzeuginsassen oder andere Verkehrsteilnehmer bergen. Des Weiteren können ohne nennenswerten Aufwand Tests erstellt werden, die die Bedingungen verschiedener Gebiete der Welt repräsentieren können. Der Aufwand ist im Vergleich zum herkömmlichen, realen Fahrversuch deutlich niedriger, zudem sind sämtliche Tests vollständig reproduzierbar. Die Simulation bietet die Möglichkeit, einen virtuellen Prototyp aufzu-

bauen. Dies ist ein vollständig parametrisiertes Fahrzeugmodell, das über alle Komponenten und Subsysteme des realen Vorbilds verfügt. Ein großer Vorteil ist hier die frühzeitige Verfügbarkeit im Entwicklungsprozess.

Wenn die zu testenden Systeme KI-Systeme verwenden, die auf Supervised Learning basieren, wie beispielsweise Deep-Learning-basierte neuronale Netze, kann die Simulation genutzt werden, um Trainingsdatensätze zu erzeugen, **BILD 4**. Manche Algorithmen des Supervised Learning sind sensitiv gegenüber der Qualität der synthetischen Trainingsdaten. Durch die Verwendung sehr detaillierter digitaler Zwillinge, also 3-D-Umgebungsmodellen, die die reale Welt wirklichkeitsgetreu nachbilden, wird die Simulation so stochastisch

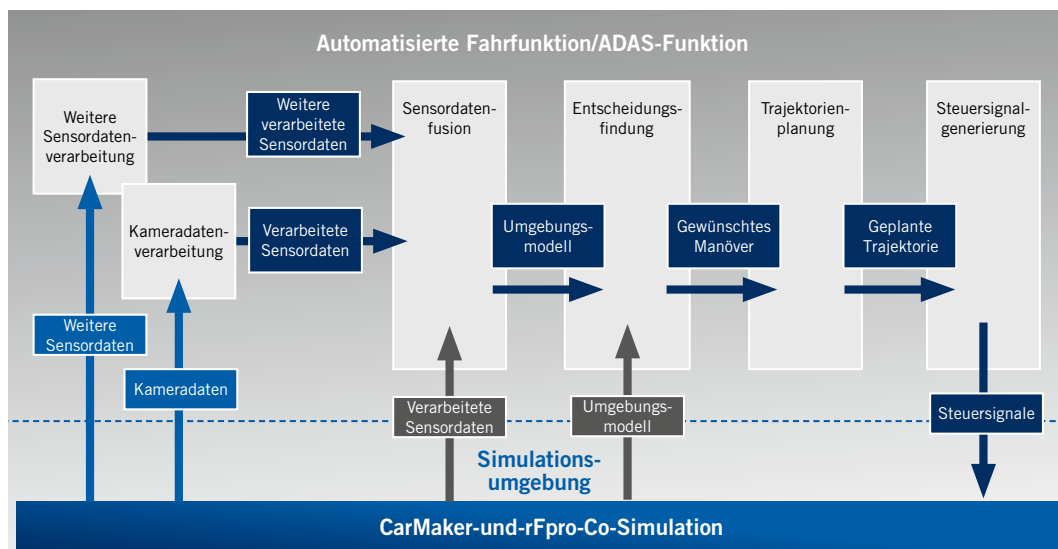


BILD 3 Die Co-Simulationsarchitektur aus CarMaker und rFpro ermöglicht neben der Einspeisung von verarbeiteten Sensordaten und des globalen Umgebungsmodells auch die Generierung und Verarbeitung von Sensor-Rohsignalen (© IPG Automotive)

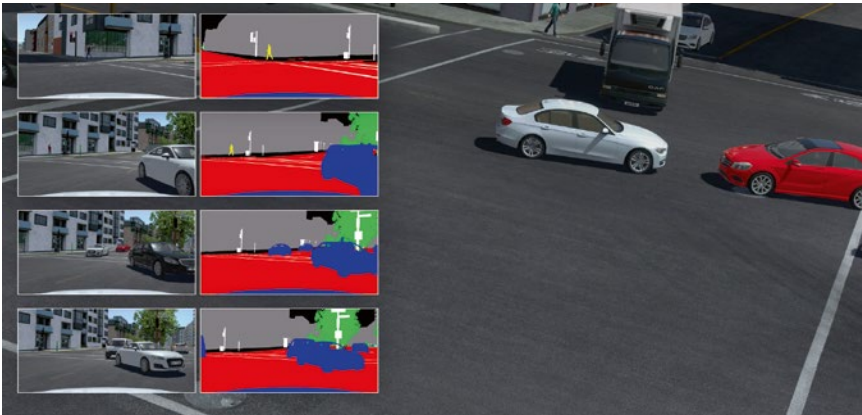


BILD 4 Generierung von Kamerabildern und zugehörigen Trainingsdaten mit semantischer Segmentierung
(© rFpro)

wie die reale Welt. Hierdurch werden die sich wiederholenden Muster und Videoartefakte vermieden, die die meisten computergenerierten synthetischen Modelle beeinträchtigen. Der Vorteil der Verwendung qualitativ hochwertiger Trainingsdaten ist, dass für das System nicht die Gefahr der Überanpassung (engl. Overfitting) besteht. Dadurch wird die Abhängigkeit von in der realen Welt erworbenen Trainingsdaten reduziert, deren Aufnahme und Annotation kostenintensiv ist. Von der Simulation erstellte Trainingsdaten ermöglichen außerdem die fehlerfreie und automatische Annotation der Bilder, während die manuelle Annotation zeitaufwendig und fehleranfällig ist.

Es ist zu erwarten, dass die Simulation Teil des regulatorischen Rahmens

für autonome Fahrzeuge werden wird. Das Simulationsframework, das zur Beschleunigung des Testprozesses implementiert wurde, kann dabei später als Teil eines automatisierten Validierungsprozesses wieder eingesetzt werden. Die beschriebenen Anforderungen, die die Ausweitung der Tests auf Corner Cases ermöglichen, bieten den zusätzlichen Vorteil, dass die Tests mit der realen Welt korrelieren und zur Validierung verwendet werden können. Es ist zu erwarten, dass statistische Stichproben dieser Testbibliotheken in realen Testeinrichtungen reproduziert werden.

Die reale Welt physikalisch abzubilden bedeutet, keine vereinfachten optischen Effekte zu verwenden, die bei Videospielen und Filmaufnahmen eingesetzt werden. Diese physikalische Abbildung

ist jedoch essenziell, um eine Korrelation zwischen der realen Welt und den virtuellen Tests sicherzustellen.

SZENARIENGENERIERUNG UND TESTAUTOMATISIERUNG

Im Folgenden wird die Kombination der offenen Integrations- und Testplattform CarMaker von IPG Automotive und der Simulationsumgebung rFpro beschrieben.

Testscenarien können aus diversen Quellen stammen, sie beinhalten die Definitionen der statischen und dynamischen Umgebung. Die statische Umgebung kann sowohl manuell im Szenarieneditor in CarMaker aufgebaut werden, als auch aus Kartendaten importiert werden. Sie lässt sich anschließend in das von rFpro benötigte 3-D-Format konvertieren. Dieser Prozess automatisiert die Nachbildung des 3-D-Umgebungsmodells für die Verwendung in rFpro, **BILD 5**. Außerdem können reale Strecken vermessen und darauf basierend ein digitaler Zwilling erzeugt werden. Dies ermöglicht eine Reproduktion von Corner Cases, die in der realen Welt an einer bestimmten Position auftreten, etwa spezielle Schatteneffekte, Verdeckungen realer Objekte, Bodenunebenheiten et cetera. So generierte Modelle sind besonders nützlich für die Erstellung von Trainingsdaten für Systeme des Supervised Learning.

Verkehrsobjekte können durch die Simulation eines realitätsnahen Verkehrsflusses, durch eine Co-Simulation

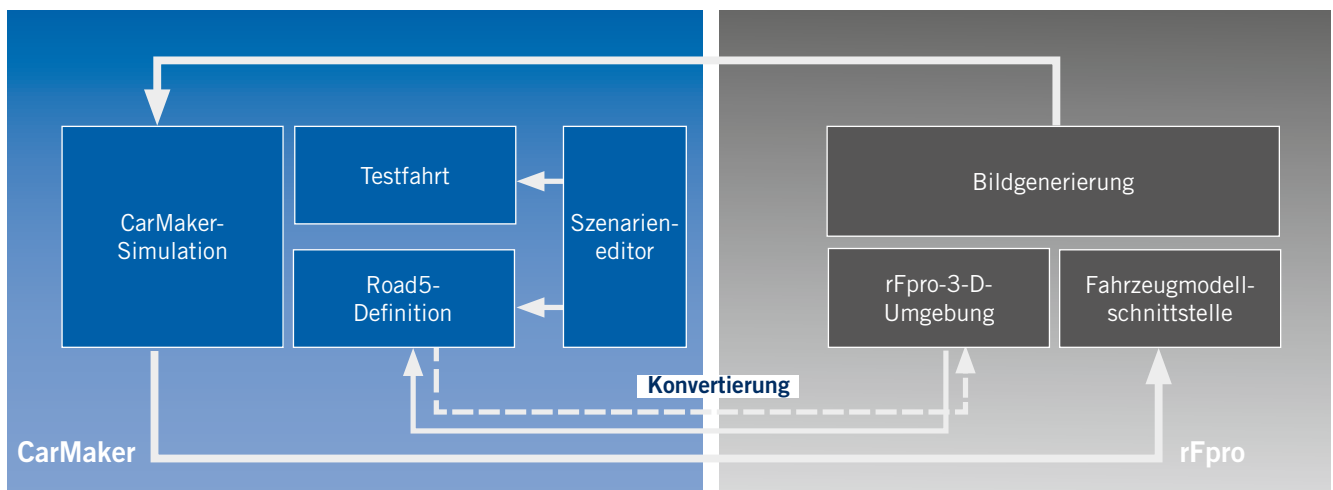


BILD 5 Vermessene 3-D-Umgebung in rFpro als Grundlage und Export der CarMaker Road5 oder Aufbau der CarMaker Road5 und Konvertierung nach rFpro
(© IPG Automotive)

mit PTV-Vissim [2], oder durch den Aufbau von event- und manöverbasiertem Verhalten in CarMaker, der die Verkehrsobjekte in rFpro kontrolliert, abgebildet werden, **BILD 6**. Letzteres ermöglicht die Variation einzelner Parameter, etwa Geschwindigkeiten oder Abstände. Diese Variationen sowie die Änderungen der Wetterbedingungen können mithilfe des in CarMaker integrierten Test Managers automatisiert durchgeführt werden, sodass Corner Cases durch den Test verschiedener Parametervariationen automatisiert identifiziert werden können.

EINSATZ DER TESTPLATTFORM IM ENTWICKLUNGSPROZESS

Es ist im gesamten Entwicklungsprozess möglich, die Entwicklungsplattform zu nutzen und Corner Cases zu identifizieren. Schon beim Training KI-basierter Algorithmen können automatisiert Trainingsdaten aus Sicht der Kamera aus der Einbauposition im Fahrzeug, mit korrekter Auflösung, Linseneigenschaften etc. aufgezeichnet werden. Durch das Hinzufügen dieser synthetisch erzeugten

Trainingsdaten zum Datensatz wird das Trainingsergebnis verbessert. Zudem wird durch eine hohe Varianz und die enthaltenen Corner Cases sichergestellt, dass das System in möglichst vielen Situationen zuverlässig funktioniert. Mit diesem Vorgehen können sogar Trainingsdaten erzeugt werden, bevor die Kamera physisch zur Verfügung steht. In Verbindung mit parallelisierter Simulation und automatisierter Annotation führt dies zu stark verkürzten Entwicklungszeiten.

Beim Test des Systems gibt es je nach Integrationsstufe zwei unterschiedliche Vorgehensweisen. Bevor das Steuergerät physisch vorhanden ist, kann das System als Modell (Model in the Loop) oder Software (Software in the Loop) eingebunden werden. Hier kann CarMaker als Integrationsplattform genutzt und das Bild über die rFpro-Simulink-Toolbox oder deren C++-API bezogen werden. Beim Einsatz von Hardware in the Loop liefert rFpro die generierten Bilddaten an die Video Interface Box von IPG Automotive; der Bildsensor der Kamera wird über sie emuliert und das Bildsignal in die Kamera-ECU eingespeist.

Die Ausgangsgrößen des Systems, etwa Lenk- oder Bremsanforderungen, werden an die Komponentenregler und anschließend an das Fahrdynamikmodell übergeben.

Die hier beschriebene Testarchitektur eignet sich auch für den Einsatz in Fahrsimulatoren mit einem menschlichen Driver in the Loop. Dies bietet weitere Vorteile, die den Testprozess beschleunigen und letztendlich zur Sicherung der Kundenakzeptanz des Systems beitragen können. Die folgenden Anwendungsfälle beschreiben die Nutzung eines Fahrsimulators, der in der Lage ist, die Fahrdynamik des Testfahrzeugs realitätsgetreu wiederzugeben. Die Verwendung der Video-Pipeline von rFpro verringert die Latenz zwischen dem simulierten Experiment und dem menschlichen Fahrer. Dies ist entscheidend für eine erfolgreiche Fahrsimulation, da jede Verzögerung zwischen der Fahrzeugsimulation und der Wahrnehmung des Nutzers zu Simulatorkrankheit führt und die Brauchbarkeit in hochdynamischen Manövern wie Notfallsituationen einschränkt.



BILD 6 Frei konfigurierbare und reproduzierbare Generierung von beliebigen seltenen Verkehrssituationen (© rFpro)

Der erste Anwendungsfall ist das Fahren im Testfahrzeug als Passagier oder Fahrer. Bei SAE-Stufe 4 und 5 ist der menschliche Proband ein reiner Passagier. Für das Testen von Fahrerassistenzsystemen soll das Experiment den Regelkreis durch den menschlichen Fahrer schließen. Menschliche Testfahrer werden hier zu einem früheren Zeitpunkt des Entwicklungsprozesses sowohl bei objektiven Messungen als auch subjektiven Bewertungen eingebunden.

Der zweite Anwendungsfall ist das Fahren eines oder mehrerer simulierter konventioneller Fahrzeuge in derselben virtuellen Welt wie ein zu testendes autonomes Fahrzeug der Stufe 4 oder 5. Das Verhalten menschlicher Teilnehmer ist etwas zufälliger und unvorhersehbar, außerdem machen sie Fehler. Daher stellt dies das optimale Vorgehen dar, neue Fehlerzustände beim automatisierten Fahren und in Sicherheitssystemen zu provozieren. rFpro ermöglicht dabei die simultane Anbindung von bis zu 50 Fahrsimulatoren an ein Experiment.

ZUSAMMENFASSUNG

Anhand der beschriebenen Vorgehensweise ist es möglich, kritische Testfälle und Corner Cases schon vor der Verfügbarkeit eines realen Prototyps im Gesamtfahrzeugkontext zu entwickeln und zu testen. Eine beispielhafte Testumgebung wurde vorgestellt, die diese Anforderungen erfüllt.

Mit dieser Testumgebung können Corner Cases nach Belieben erzeugt werden. Durch geeignete Suchstrategien ist es möglich, Systemgrenzen effizient aufzudecken. Dadurch können die Lücke zwischen der Simulation und der Realität für kamerabasierte Fahrerassistenzsysteme deutlich reduziert und die Entwicklungsprozesse stark beschleunigt werden.

LITERATURHINWEISE

[1] Amersbach, C.; Winner, H.: Funktionale Dekomposition – Ein Beitrag zur Überwindung der Parameterraumexplosion bei der Validation von höher automatisiertem Fahren. 12. Workshop Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren, Walting, 2018

[2] Frings, A.: Der virtuelle Fahrversuch unterstützt durch die mikroskopische Verkehrssimulation. 27. PTV-Traffic-Anwenderseminar, Karlsruhe, 2017



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

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



AVL SLIMLINE DILUTION SYSTEMS™

Fascination has a new dimension

Die Entwicklung neuer Antriebstechnologien und strengere Abgasvorschriften bringen zusätzliche Prüflasten mit sich und führen zu einem beispiellosen Höchststand in der Geschichte der Fahrzeugemissionsprüfung. Zusätzlich zu diesem exorbitanten Testaufwand wird der Platzbedarf zu einem limitierenden Faktor. Das revolutionäre, minimalistische AVL-Slim-Design ermöglicht selbst in sehr beengten Testumgebungen flexibelste Prüfstandsaufbauten. Kombiniert mit der hohen Energieeffizienz und der einfachen Bedienbarkeit bieten die AVL SlimLine Dilution Systems™ eine einzigartige Lösung.

IHRE VORTEILE

- Best-in-Class Testfelder mit innovativster Technologie
- Maximierte Frontloading-Fähigkeiten, auch in bereits bestehenden Antriebsstrang- und Motorenprüfständen
- Deutlich niedrigere Gesamtbetriebskosten und verbesserte Testleistung
- Umweltfreundliche und zukunftsichere Testlösung