



AUTOR

**Martin Herrmann**

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

Im Bereich der automatisierten Fahrfunktionen für Lkw und mobile Maschinen ist die Umfelderfassung eine der größten Herausforderungen. Für den Test der Umfelderfassung in der Simulation sind ausschließlich Rohsignalschnittstellen geeignet, da sie die benötigten realistischen Eingangsdaten für die Sensoren bereitstellen. IPG Automotive beschreibt, wie die 3-D-Umgebung und das Sensormodell in der Simulationsplattform TruckMaker zusammenwirken, um automatisierte Fahrfunktionen schon frühzeitig im Entwicklungsprozess im Gesamtsystem testen zu können.

■ Automatisierte Fahrfunktionen gewinnen bei Lkw und mobilen Maschinen zunehmend an Bedeutung. Durch die Aufgaben, die dem menschlichen Fahrer abgenommen werden, können Logistikprozesse an vielen Stellen effizienter gestaltet werden und Unternehmen können unmittelbar wirtschaftlich davon profitieren. Die Funktionen sind dafür auf ein reibungsloses Zusammenspiel

von Soft- und Hardware angewiesen, was zu einem großen Test- und Absicherungsaufwand führt. In wirtschaftlicher Hinsicht ist daher vor allem die Wahl der richtigen Testmethode entscheidend, da es das Ziel ist, in kurzer Zeit umfangreiche Testkataloge bewältigen zu können.

Mit dem virtuellen Fahrversuch lässt sich eine Vielzahl von Tests automatisiert rund um die Uhr in realistischen



Simulationsgestützte Entwicklung von Umfelderfassungssystemen für automatisierte Fahrfunktionen

sierter Fahrfunktionen schon frühzeitig im Entwicklungsprozess des Gesamtsystems testen und absichern zu können.

ANWENDUNGSBEREICHE

Automatisierte Lkw und mobile Maschinen werden bisher und in naher Zukunft vor allem in abgegrenzten Gebieten eingesetzt, etwa bei der Containerverladung in Häfen oder in Logistik-Hubs, in Gruben oder Minen sowie in der Landwirtschaft. Diese Einsatzgebiete bieten den Vorteil, dass der Bereich, in dem das System reibungslos funktionieren muss (Operational Design Domain, ODD), begrenzt ist. Das Umfeld ist sehr gut kontrollierbar, und die Geschwindigkeiten sind vergleichsweise gering.

Auch im öffentlichen Straßenverkehr, insbesondere im Güterfernverkehr, haben automatisierte Fahrfunktionen ein großes Potenzial. Theoretisch wäre es mit ihnen möglich, Waren rund um die Uhr zu transportieren, ohne dass Pausen oder Ruhezeiten eingehalten werden müssen. Dies bietet die Möglichkeit großer wirtschaftlicher Einsparungen und könnte die gesamte Logistikbranche revolutionieren. Im Gegensatz zu abgegrenzten Gebieten stellt der öffentliche Straßenverkehr allerdings eine große Herausforderung dar, da eine Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern nötig ist und deutlich höhere Geschwindigkeiten gefahren werden. Da jeder Anwendungsfall eigene Herausforderungen mit sich bringt, beispielsweise eine eingeschränkte Sicht durch Nebel im Hafen oder Staub und Schmutz in Minen und Gruben, muss sichergestellt sein, dass zu jeder Zeit eine fehlerfreie Umfelderfassung gewährleistet ist.

SIMULATION AUTONOMER NFZ

Um eine fehlerfreie Funktion sicherstellen zu können, verfügen automatisierte Fahrzeuge über eine komplexe Software-Architektur, die sich aus verschiedenen Modulen zusammensetzt. Im ersten Modul erfolgt die Erfassung der Umwelt sowie die Lokalisierung über Sensoren. Anschließend findet die Entscheidungsfindung und Trajektorienplanung auf Basis der Fahraufgabe und des zuvor generierten Umfeldmodells statt. Abschließend wird bei der Bewegungsregelung die erzeugte Zieltrajektorie möglichst präzise umgesetzt. Die Simulation schließt den Regelkreis durch entsprechende Modelle. Das reale Fahrzeug wird durch den virtuellen Prototyp und die Umgebung durch einen digitalen Zwilling der realen Straße mitsamt ihrer Umgebung abgebildet. Die Eingangsschnittstellen liefern den Input für die Umfelderfassung, während die Ausgangsschnittstellen den Output für die Aktuatoren bereitstellen.

Die für die Entwicklung von Nfz konzipierte Simulationsumgebung TruckMaker bietet ein detailliertes, speziell angepasstes Fahrzeugmodell zur Simulation der Fahrdynamik von Nfz, ein intelligentes Fahrermodell sowie verschiedene Möglichkeiten zur Generierung von Straßen, Straßenetzwerken und Verkehrssituatiosn. Im Vergleich zu Pkw- gibt es bei Lkw-Prototypen einige Besonderheiten, die zu beachten sind. Bei Lkw sind etwa sowohl an der Fahrerkabine als auch am Anhänger oder Auflieger Sensoren verbaut. Die Relativbewegungen zwischen den Sensoren können Herausforderungen mit sich bringen, die ein völlig anderes Vorgehen als bei der Pkw-Entwicklung

Szenarien durchführen. Dies führt zu einer deutlich höheren Testabdeckung und somit zu einer besseren Qualität von automatisierten Fahrfunktionen sowie zu erheblichen Zeit- und Kosteneinsparungen im Vergleich zum realen Fahrversuch. Effekte von Software- oder Hardwareänderungen können schnell erkannt werden und frühzeitig in den Entwicklungsprozess einfließen.

Die korrekte Umfelderfassung (Perzeption) ist die Voraussetzung für die fehlerfreie Funktion von automatisierten Fahrfunktionen und stellt zugleich eine der größten Herausforderungen dar. Unvorhergesehenes Verhalten von Verkehrsteilnehmern oder schwierige Umweltbedingungen dürfen zu keinen Fehlfunktionen führen, da ab SAE-Level 4 der menschliche Fahrer nicht mehr als Rückfallebene fungiert und somit keine Verantwortung mehr trägt. Im Folgenden wird exemplarisch für einen Kamerasensor dargestellt, wie die 3-D-Umgebung und das Sensormodell in der Simulation zusammenwirken, um die Umfelderfassung automati-

© IPG Automotive

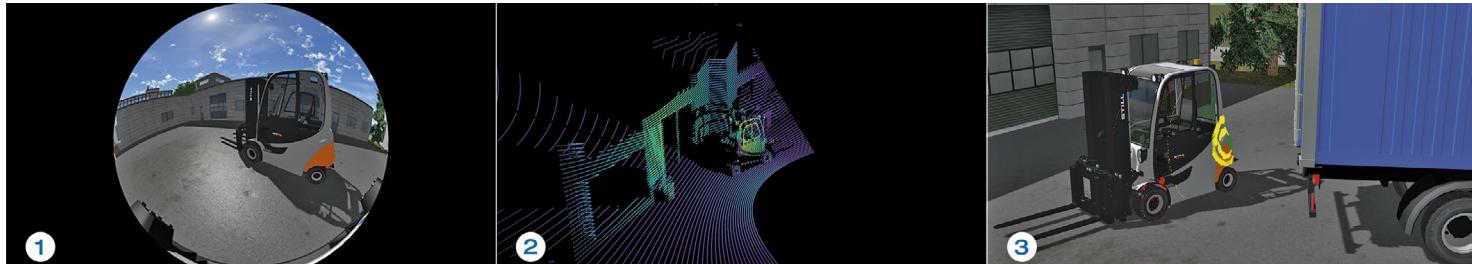


BILD 1 Kamera- (1), Lidar- (2) und Ultraschallsimulation (3) für Lkw (© IPG Automotive)

verlangen. Auch die Fahrzeugbewegung an sich unterscheidet sich signifikant von typischen Pkw und leichteren Nfz, weshalb die Planung und Bewegungsregelung speziell auf Lkw angepasst werden müssen. Nicht zuletzt ist die Durchführung entsprechender Tests nötig.

Dem Nutzer stehen verschiedenste Schnittstellen und Eingriffsmöglichkeiten zur Verfügung, um die in der Entwicklung befindlichen Systeme in die Simulation zu integrieren und unter Realbedingungen zu testen. Für die Entwicklung von Umfelderfassungs- und Lokalisierungsfunktionen sind entsprechende Sensormodelle als Abbild der realen Sensoren wie Kamera, Radar, Lidar und Ultraschall nötig, **BILD 1**.

SENSORMODELLE

Diese Sensormodelle kommen in drei Klassen zum Einsatz: als ideale und phänomenologische Sensormodelle sowie als Rohsignalschnittstellen (Raw Signal Interfaces, RSI). Letztere erfassen die Umgebung abhängig vom Sensor auf eine für die jeweilige Technologie typische Weise. Für den Test der Umfelderfassung sind ausschließlich die Rohsignale geeignet, da sie die benötigten realistischen Eingangsdaten für die Umfelderfassungsalgorithmen des jeweiligen Sensors bereitstellen, also Kamerabilder, Lidarpunktfolgen und Radardetektionen. TruckMaker verfügt über entsprechend hochgenaue Sensormodelle für alle relevanten Sensortechnologien. Neben der Qualität der Sensormodelle ist auch der Detailgrad des 3-D-Umgebungsmodells ausschlaggebend für die Simulationsgüte. Nur wenn dieses hochdetailliert die Realität inklusive aller Materialeigenschaften abbildet, können damit Grenzfälle (corner cases) für die Objektdetektion der Kamera getestet werden. Die neue Visualisierung MovieNX verfügt über

einen sehr hohen Detailgrad und bildet so die Grundlage für den Test von kamerabasierten Systemen.

SIMULATIONSGESTÜTZTE ENTWICKLUNG VON KAMERASYSTEMEN

Häufig kommen für Algorithmen von Umfelderfassungssystemen für die Kamera neuronale Netzwerke zum Einsatz. Das Training und der Test dieser Netzwerke ist sowohl mit realen als auch mit synthetischen Datensätzen möglich. Für immer komplexere und leistungsfähigere Algorithmen sind entsprechend größere Datenmengen nötig, die darüber hinaus mit Metainformationen annotiert werden müssen. Selbst KI-unterstützte Kennzeichnung der Daten mit 2-D-/3-D-Begrenzungsrahmen oder pixelgenauer semantischer Segmentierung ist sehr zeitaufwändig. Darüber hinaus ist dies insbesondere bei komplexen Aufgabenstellungen fehleranfällig, was sich negativ auf die Qualität der damit trainierten KI-Algorithmen auswirken kann.

Synthetische Daten bieten in dieser Hinsicht verschiedene Vorteile gegenüber realen Daten. Sie können in großen Mengen in einem automatisierten Prozess und mit vergleichsweise geringem Aufwand erzeugt werden. Die zugrunde liegenden (ground truth) Randbedingungen ermöglichen die automatische Generierung der benötigten Metainformationen. Durch die Automatisierung können Annotationsfehler vollständig vermieden werden, **BILD 2**.

Die Simulation bietet viele weitere Möglichkeiten, wie zum Beispiel kritische und/oder seltene Verkehrssituations gefahrlos und schnell erzeugen und reproduzierbar testen zu können. Des Weiteren können die Anlagen, auf denen später der Betrieb erfolgen soll, bereits virtuell aufgebaut werden, bevor reale

Prototypen zur Verfügung stehen, und die Systeme in diesem Kontext trainiert werden. Auch der Test von unterschiedlichen Positionen der Sensoren am Fahrzeug ist mit vergleichsweise geringem Aufwand möglich, was bei der Entwicklung besonders hilfreich ist. Sämtliche Trainings- und Testdaten stehen dann immer für die jeweilige neue Sensorposition zur Verfügung, was die Qualität der Objekterkennung steigert.

Synthetische Bilddaten werden reale Sensordaten beim Training kamerabasierter KI jedoch nicht vollständig ersetzen können. Es hat sich allerdings gezeigt, dass die Systeme vor dem ersten Einsatz in der Realität mithilfe von Simulationsdaten trainiert werden können. Zudem wird durch die Anreicherung realer Trainingsdatensätze mit synthetischen Daten insgesamt eine bessere Performanz erzielt [1]. Diese Erhöhung der Sicherheit wäre ausschließlich mit realen Daten kaum zu leisten, insbesondere da kritische Situationen (corner cases) nur selten auftreten und deshalb oft in Trainingsdatensätzen fehlen.

END-TO-END-PRÜFUNG

Auch für den Test des vollständigen Systems für das automatisierte Fahren (Automated Driving, AD) sind hochgenaue Sensormodelle für den Eingang nötig. Das detaillierte Fahrdynamikmodell von TruckMaker schließt dabei den Regelkreis. Durch die Echtzeitfähigkeit der gesamten Simulationsplattform inklusive der GPU-basierten Sensormodelle eignet sich die Simulationsplattform nicht nur für den Bereich Model-in-the-Loop (MiL) und Software-in-the-Loop (SiL), sondern auch für Hardware-in-the-Loop (HiL). Im MiL- und SiL-Bereich erfolgt die Weiterleitung der synthetischen Bilddaten direkt an das Umfelderfassungsmodul, das daraus mit den realen Algorithmen



BILD 2 Originales Kamerabild (1), Annotation 2-D-Box (2), Annotation 3-D-Box (3), semantische Segmentierung (4) (© IPG Automotive)

eine realitätsnahe Liste von Detektionen generiert. Diese wird dann in Sensorfusions- und Planungsmodulen weiterverwendet. Da die erzeugte Objektliste nicht fehlerfrei ist, kann so die Robustheit der Sensorfusion, Prädiktion und Planungsfunktion und der Einfluss auf das Gesamtsystem untersucht werden. Durch die Bewegungsregelung werden Beschleunigungsanforderungen und Zieltrajektorien in Gas-/Bremspedalstellungen sowie Lenkmomente überführt, die das hochgenaue Fahrdynamikmodell des virtuellen Prototyps in realistische Bewegungen umsetzt. Somit lässt sich eine Vielzahl von End-to-End-Tests in der Simulation durchführen. Hierdurch kann ein großer Prüfaufwand an einem realen Fahrzeugprototyp vermieden werden.

Auch die Verwendung realer Hardware im Testaufbau ist möglich: Für den HiL-Test kann ein Monitor mit einer realen Kamera abgefilmt werden, sodass auch die Kameraoptik Teil des Testsystems wird. Wenn dabei bereits in der elektronischen Kamerasteuerung (Kamera-ECU) die Objekterkennung erfolgt, wird entweder eine Objektliste oder das unverarbeitete Kamerabild an das zentrale AD-Steuergerät weitergegeben. Dieses Steuergerät ist wiederum mit dem Echtzeitsimulationsrechner verbunden, der die eigentli-

che Fahrzeug- und Sensorsimulation durchführt und weitere benötigte Signale beispielsweise per CAN erzeugt und weiterleitet. Eine weitere Möglichkeit ist die Nutzung einer direkten Injektion der Bilddaten in die Kamera-ECU beziehungsweise das zentrale Steuergerät durch die Video Interface Box von IPG Automotive. Damit werden Limitierungen des Monitor-HiL-Setups verhindert. Dies ermöglicht beispielsweise höhere Kontrastbereiche oder den Einsatz von Fischaugenlinsen. Voraussetzung dafür ist, dass die Kamera-ECU einen entsprechenden HiL-Modus aufweist.

Der Testaufbau, der einem realen Test am nächsten kommt, ist die Vehicle-in-the-Loop (ViL)-Methode: Hier wird der vollständige reale Prototyp in einem virtuellen Szenario getestet, indem die Simulation auf einem Echtzeitrechner an Bord sämtliche Sensordaten erzeugt. Das ermöglicht die Untersuchung kritischer virtueller Szenarien mit dem realen Prototyp, bevor der reale Testbetrieb startet.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBlick

TruckMaker ist eine offene Integrations- und Testplattform für Nfz, die den ge-

samten Entwicklungsprozess unterstützen kann. In den vergangenen Jahren wurden insbesondere im Bereich der Sensorsimulation große Fortschritte in Bezug auf den Detailgrad und die Performanz erzielt, was die Entwicklung von automatisierten Fahrfunktionen für Nfz erheblich vereinfacht. Zusammen mit einem detaillierten Fahrdynamikmodell und einer hohen Automatisierbarkeit wird so eine Grundlage für simulationsgestützte Entwicklungsprozesse geschaffen.

LITERATURHINWEIS

- [1] Pfeffer, R.: Szenariobasierte simulationsgestützte funktionale Absicherung hochautomatisierter Fahrfunktionen durch Nutzung von Realdaten. Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie, Dissertation, 2020



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

Test now for 30 days free of charge:
[www.emag.springerprofessional.de/
atc-heavyduty-worldwide](http://www.emag.springerprofessional.de/atc-heavyduty-worldwide)