



© metamorworks | stock.adobe.com

Virtuelle Absicherung

Datengetriebener Ansatz für die praxisnahe Fahrzeugentwicklung

Die Absicherung von ADAS- und ADS-Funktionen wird durch komplexe Software und Betriebsbedingungen immer anspruchsvoller. Ein datengetriebener Ansatz aus realen Fahrdaten und Simulation ermöglicht wiederverwendbare Szenarien. So beschleunigen IPG Automotive und b-plus die Validierung moderner Fahrfunktionen.

Reinhold Greifenstein, Martin Herrmann, Henning Kemper, Marius Reuther

Mit zunehmendem Funktionsumfang von Fahrerassistenzsystemen (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS) und automatisierten Fahrfunktionen (Automated Driving Systems, ADS) steigt auch die Systemkomplexität deutlich. Dadurch ergeben sich neue Anforderungen an die Absicherung und Validierungsprozesse. Klassische Tests im Realfahrzeug leisten nach wie vor einen zentralen Beitrag, sind jedoch mit einem großen Zeit- und Kostenaufwand verbunden und nur begrenzt reproduzierbar. Zudem decken sie meist nur einen kleinen Teil des relevanten Szenarienraums ab. Für eine umfassende, statistisch belastbare Bewertung sicherheitskritischer und selten auftretender Situationen (Corner Cases) sind sehr große Datenmengen erforderlich.

Virtuelle Absicherungsmethoden, insbesondere auf Basis von Sensorsimulation, ermöglichen eine skalierbare und effiziente Erweiterung des Testumfangs. In anspruchsvollen Testfällen für Perzeptions- und Fusionsfunktionen ist jedoch die realitätsnahe Abbildung physikalischer Effekte entscheidend. Die sogenannte „Reality Gap“ – also die Differenz zwischen simulierten und realen Sensordaten – lässt sich durch eine größere Modellierungstiefe reduzieren, erfordert jedoch entsprechenden Aufwand bei Entwicklung, Validierung und Rechenleistung.

Ein vielversprechender Ansatz ist die Kombination von realen und virtuellen Testmethoden. Durch die Wiederverwendung relevanter aufgezeichneter Sensordaten ermöglichen datengetrie-

bene Testansätze eine präzise Bewertung der Perzeptionsqualität, ohne dass eine aufwendige Sensorphysikmodellierung erforderlich ist. Die skalierbare Bewertung des Gesamtsystemverhaltens erfolgt in der Closed-Loop-Simulation mit realitätsnahen Sensormodellen, die neben der Umgebungswahrnehmung auch die Entscheidungsfindung und Bewegungsregelung einbezieht.

Datengetriebener Entwicklungsansatz

Ein datengetriebener Entwicklungsansatz nutzt überwiegend reale Fahrdaten aus dem Straßenverkehr, um die Entwicklung und Absicherung automatisierter Fahrfunktionen effizienter und pra-

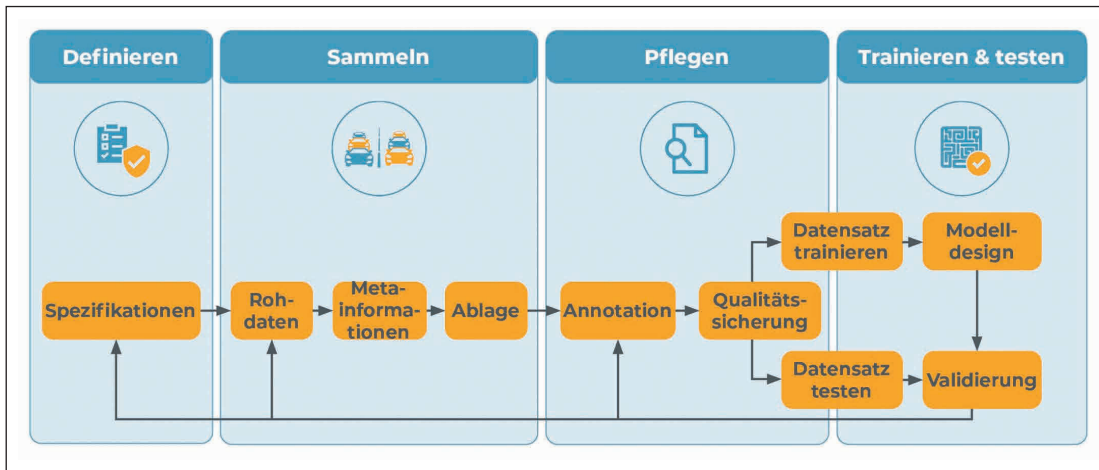


Bild 1: Erfassung und Nutzung realer Fahrdaten für Entwicklung und Absicherung automatisierter Fahrfunktionen

© IPG Automotive

xisnäher zu gestalten. Die Daten werden von Fahrzeugen der Testflotte mit Datenloggern aufgezeichnet und anschließend für Training oder Test von Perzeptions- und Fusionsalgorithmen verwendet (**Bild 1**). In diesem Beitrag liegt der Fokus auf dem Testprozess.

Zu Beginn erfassen Datalogger eine große Menge an Rohdaten aus der realen Welt. Dazu gehören Sensorinformationen von Kamera, Lidar und Radar sowie Fahrzeugbusdaten, die beispielsweise über CAN oder Automotive-Ethernet übertragen werden können. Diese bilden die Grundlage für alle weiteren Schritte. In einem nachgelagerten Verarbeitungsschritt werden die Daten gefiltert, annotiert und kategorisiert, um typische und sicherheitskritische Fahrszenarien – insbesondere Corner Cases – zuverlässig zu identifizieren. Diese Szenarien bilden die Basis für die anschließende Testfallgenerierung (**Bild 2**).

Aus den analysierten Daten werden gezielt Testfälle abgeleitet, die einen möglichst großen Anteil relevanter Fahrsituationen abdecken und sich für Resimulationen nutzen lassen. Optional können aus denselben Datensätzen auch Szenarien für die Closed-Loop-Simulation abgeleitet werden, die sich etwa zur Integration in synthetische Simulationsumgebungen eignen.

Im Rahmen der Resimulation werden die zuvor aufgezeichneten Sensor- und Busdaten innerhalb einer Simulationsumgebung zeitsynchron wiedergegeben und in die Algorithmen für Perception, Sensordatenfusion oder Trajektorienplanung eingespeist. Fehlen bestimmte benötigte Signale in der Aufzeichnung, die für den fehlerfreien Betrieb der Algorithmen vorausgesetzt werden, lassen sich diese mithilfe einer Restbussimulation ergänzen.

Die Bewertung erfolgt anhand definierter Metriken, die eine systemati-

sche Analyse der Performanz einzelner Teilfunktionen ermöglichen. Beispielsweise können die Genauigkeit der Objekterkennung (Position, Relativegeschwindigkeit, Objektklassifizierung) oder die Qualität des Objekttrackings auf Basis der Annotationen (Ground Truth) bewertet werden. Voraussetzung für aussagekräftige Ergebnisse ist dabei eine strenge Qualitätskontrolle während des Annotationsprozesses. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen direkt in den Entwicklungsprozess zurück. Dabei werden Schwachstellen identifiziert, Ursachen analysiert und Verbesserungsmaßnahmen wie Veränderungen in der Zusammenstellung von Trainingsdatensätzen oder in der Architektur von neuronalen Netzwerken abgeleitet.

Durch diesen datenbasierten und hochgradig automatisierten Testansatz lassen sich reale Fahrsituationen effizient und skalierbar in den Entwicklungsprozess integrieren und im weiteren Projektverlauf sowie in Folgeprojekten effizient wiederverwenden – ohne erneute, zeit- und kostenintensive Realfahrten. Auf diese Weise erhöhen sich Testabdeckung, Reproduzierbarkeit und Validierungstiefe im Vergleich zum realen Fahrversuch deutlich.

Open-Loop-Replay am HiL

Für die effiziente Validierung von ADAS und ADS hat sich das Open-Loop-Replay in Hardware-in-the-Loop-(HiL)-Umgebungen als eine unverzichtbare Testmethode etabliert. Diese nutzt zuvor aufgezeichnete Sensordaten und Fahrzeugbusnachrichten, die in einer realen Steuergeräteumgebung wiedergege-



Bild 2: Annotation von Sensor-Rohdaten © b-plus

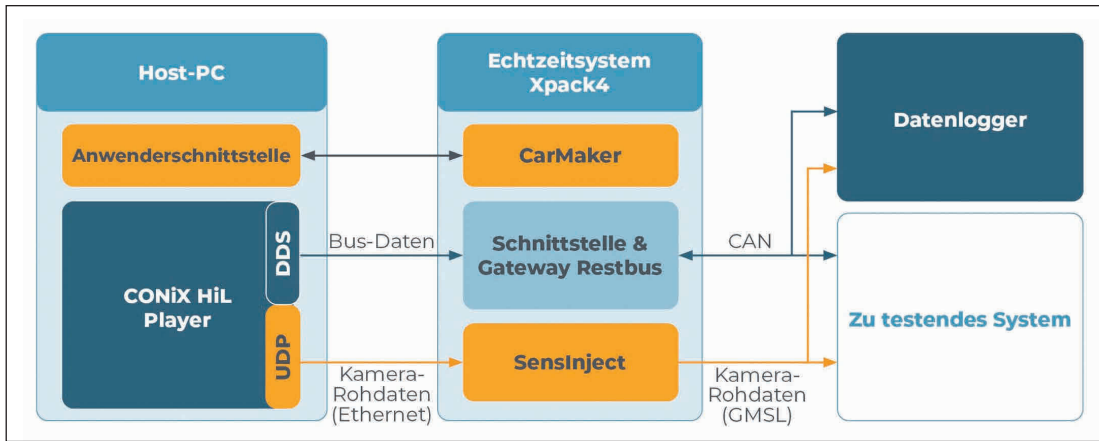


Bild 3: Aufbau des Open- und Closed-Loop-Testsystems
© IPG Automotive

ben werden. Das System unter Test (SuT) – in diesem Fall das reale Steuergerät – verarbeitet die Eingangsdaten, als kämen sie aus einem realen Fahrzeug. Der Output des SuT hat keinen Einfluss auf die Eingangsdaten der Simulationsumgebung („open loop“), kann aber für die anschließende Analyse im Vergleich mit der Ground Truth aufgezeichnet werden. So liegt der Fokus vollständig auf der Bewertung der internen Algorithmen, insbesondere von Perzeption, Sensorfusion und nachgelagerter Entscheidungslogik.

Ein zentraler Vorteil dieses Verfahrens ist die exakte Reproduzierbarkeit realer Fahrsituationen für den Test eines realen Steuergeräts. Selbst komplexe Szenarien mit kritischen Randbedingungen lassen sich beliebig oft wiederholen – ohne äußere Einflüsse wie Verkehr, Witterung oder Fahrerreaktionen. Das schafft eine robuste Grundlage für die Fehleranalyse und objektive, vergleichbare Bewertungen. Hinzu kommt eine hohe Effizienz: Relevante Szenen werden gezielt aus Tausenden von aufgezeichneten Testkilometern extrahiert und innerhalb kürzester Zeit in der HiL-Umgebung abgespielt. Der Aufwand gegenüber realen Testfahrten sinkt drastisch, wodurch die Testflotte verkleinert werden kann.

Damit wird das Open-Loop-Replay am HiL zu einer Schlüsseltechnologie für die skalierbare, automatisierte und präzise Validierung von Perzeptions- und Entscheidungsfunktionen moderner ADAS und ADS.

Einbettung in Toollandschaft

In diesem Kontext wurde von IPG Automotive und b-plus kollaborativ eine durchgängige, praxisnahe Testlösung eines Open- und Closed-Loop-Testsystems entwickelt (Bild 3). Mithilfe der

Hardware von b-plus werden in realen Testfahrzeugen Rohdaten aus diversen Sensorquellen sowie Fahrzeugbusdaten synchron aufgezeichnet. Diese Daten dienen als Grundlage für ein Open-Loop-Replay in der HiL-Umgebung. Die Rohdaten werden dabei zeitsynchron und präzise getaktet abgespielt und über physische Schnittstellen in das SuT eingespeist. Bei Bedarf können fehlende Busnachrichten, die nicht Bestandteil der Originalaufzeichnung sind, über eine Restbussimulation ergänzt werden.

Die aufgezeichneten Sensordaten werden anschließend in die SensInject-Hardware übertragen, die die Imager-Signale emuliert und serialisiert. So wird das reale Steuergerät mit den ursprünglich aufgezeichneten Sensordaten angesteuert, als befände es sich im Originalfahrzeug. Die Reaktion des SuT auf die Daten, etwa erkannte Objekte, Spurverlauf oder freie Fahrfläche, lässt sich direkt analysieren und mit den Ground-Truth-Daten der Simulation vergleichen.

Der entscheidende Mehrwert liegt in der gemeinsamen Nutzung der Hardware- und Softwareschnittstellen für Open- und Closed-Loop-Testsysteme. In der Closed-Loop-Anwendung generiert CarMaker Signale und Sensordaten in der virtuellen Fahrzeugumgebung, inklusive Fahrzeugmodell, Fahrdynamik und Umgebungssimulation. Separate Testsysteme für unterschiedliche Anwendungsfälle entfallen. Änderungen an Kommunikationsmatrix oder Imager sind mit einmaligem Konfigurationsaufwand am Testsystem umsetzbar.

Zudem kann das System ohne zusätzliche Hardware innerhalb weniger Minuten zwischen Open-Loop- und Closed-Loop-Betrieb umschalten. Das ist besonders für kleinere Projekte mit nur einem hardwarebasierten Testsystem als Ergänzung zu SiL-Tests vorteilhaft. Bei größeren Projekten sorgen standar-

disierte Schnittstellen und Komponenten für signifikante Skaleneffekte. Dies schafft eine skalierbare, flexible und praxisnahe Testumgebung zur Absicherung komplexer Fahrfunktionen. Sie arbeitet effizient, führt Testfälle reproduzierbar aus und gewährleistet einen direkten Bezug zur realen Einsatzumgebung.

Fazit

Datengetriebenes Entwickeln und Testen sind zentrale Bausteine für die effiziente Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen und automatisierten Fahrfunktionen. Die gemeinsame Lösung von IPG Automotive und b-plus verbindet reale Fahrdaten und Simulation in einer durchgängigen Toolkette. Sie schließt die Lücke zwischen Testfahrzeug und Simulationsumgebung, ermöglicht eine effiziente Validierung und beschleunigt den Entwicklungsprozess maßgeblich – bei gleichzeitig deutlich erhöhter Systemzuverlässigkeit. ■ (ah)

www.ipg-automotive.com
www.b-plus.com



Reinhold Greifenstein ist Produktmanager bei der b-plus automotive GmbH. © b-plus



Martin Herrmann ist Senior Global Sales Strategy Manager bei der IPG Automotive GmbH. © IPG Automotive



Henning Kemper ist Senior Specialist Editor bei der IPG Automotive GmbH. © IPG Automotive



Marius Reuther ist Geschäftsführer der b-plus automotive GmbH. © b-plus