



© dSpace

ABSICHERUNG DER SENSORFUSION

Sensorrealistische Simulation in Echtzeit

Die sensorrealistische Simulation ist eine performante Lösung zur Absicherung von Sensorsystemen, die wesentlicher Bestandteil autonomer Fahrzeuge sind. Durch immer leistungsfähigere Rechnersysteme gelingt es, realistische Sensordaten in Echtzeit zu generieren. Damit wird die Simulation zur effizienten Methode für die Validierung von Sensorsteuergeräten, die eine ganze Reihe von Vorteilen bietet.

Eine wichtige Komponente für die Realisierung des autonomen Fahrens nach SAE Level 5 ist die Erfassung des Fahrzeugumfelds durch eine Umgebungssensorik. Hierbei kommen verschiedene Sensortypen wie Kamera, Radar, Lidar und Ultraschall zum Einsatz. Dutzende dieser Sensoren erfassen redundant das Umfeld des Fahrzeugs. Die Sensordaten werden unter Einsatz komplexer Algorithmen auf leistungsfähigen Recheneinheiten fusioniert und zur Entscheidungsfindung verwendet.

Um die Entwicklung zuverlässiger und robuster Funktionen zu ermöglichen, ist die Validierung der Algorithmen zur Fusion und Perzeption sowie die des Gesamtsystems entscheidend. Für die Absicherung stehen verschiedene Methoden zur Verfügung [1]. Testfahrten er-

möglichen die Absicherung des gesamten autonomen Fahrzeugs, decken jedoch wenig kritische Situationen ab und sind im Vergleich sehr teuer.

Eine bewährte Methode zum Testen von Algorithmen für Fahrerassistenzsysteme wird durch das Wiederabspielen von aufgezeichneten Sensordaten realisiert. Dabei wird eine Flotte speziell präparierter Fahrzeuge mit der zu verwendenden Sensorik ausgestattet, um anschließend sowohl Sensorrohdaten als auch den Fahrzeugbus aufzuzeichnen. Die hier entstehenden großen Datenmengen müssen im Fahrzeug auf leistungsfähigen Data-Logging-Systemen gespeichert und in die Cloud übertragen werden [2]. Diese werden anschließend ausgewertet, anonymisiert, mit speziellen Schlagwörtern zur besseren Auffindbarkeit indiziert und aufwendig, maxi-

mal teilautonom, gelabelt. Die aufgezeichneten Daten werden dann abgelegt, so dass sie von den Mitarbeitern sowohl zum entwicklungsbegleitenden Testen als auch für die Freigabetesten verwendet werden können. Der Aufwand dafür ist kostenintensiv und bezüglich Änderungen in der Sensorik nicht flexibel. Ist die nächste Fahrzeuggeneration mit neuen Sensoren ausgestattet, sind neue Testfahrten erforderlich. Des Weiteren können unvorhersehbare und seltene Ereignisse, so genannte „rare events“, nur schwer bis überhaupt nicht nachgestellt werden.

Software-in-the-Loop (SIL)- und Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulationen ermöglichen das Testen kritischer Verkehrsszenarien für automatisierte Fahrzeuge mit einer nahezu unendlichen Anzahl von Parameterkombinatio-

nen, einschließlich Wetterbedingungen, Linseneffekten und Fehlersimulation für Sensoren. Dieser Beitrag zeigt auf, wie fortschrittliche Sensorsimulationstechniken zur Validierung von Funktionen für das automatisierte Fahren entlang des Entwicklungsprozesses eingesetzt werden können.

Sensorrealistische Simulation erlaubt variable Konfigurationen

Die Vorteile der Simulation liegen auf der Hand: In der Simulation kann beginnend beim Fahrzeug über die Sensorparametrisierung bis zum Manöver alles konfiguriert werden und die dort verwendeten Szenarien lassen sich gefahrlos simulieren. Doch eine der größten Herausforderungen hierbei liegt in der Berechnung von realistischen Sensordaten in Echtzeit. So ist es oft ausreichend, auf sensorunspezifische Objektlisten zurückzugreifen, die auf Ground-Truth-Daten basieren. Diese können einfach und schnell aus der Verkehrssimulation extrahiert werden. Die Architektur des autonomen Fahrzeugs hingegen verarbeitet die von dem jeweiligem Sensor-Frontend erfassten Rohdaten in einem zentralen Steuergerät [3]. Die Berechnung von Sensorrohdaten ist deutlich aufwendiger, da sie auf den physikalischen Grundlagen des jeweiligen Sensors basieren. Dabei sind die Unterschiede im Format der Rohdaten für die jeweiligen Sensoren erheblich.

Bei der Einspeisung von synthetischen Kameradaten geht es nicht darum, für den Menschen subjektiv realistische Bilder zu erzeugen und zum richtigen Zeitpunkt in das Steuergerät zu führen. Stattdessen müssen diese für den Sensor realistisch erzeugt werden. In Bild 1 wird ein Bild im sRGB-Format dargestellt, bei dem die Farbe jedes Pixels aus den Grundfarben Rot, Grün und Blau erzeugt wird. Um solch ein Bild zu erzeugen, müssen verschiedene Verarbeitungsschritte mit den eigentlichen Rohdaten durchgeführt werden. Die Detektoren der Kamera, die dafür verantwortlich sind, analoge in digitale Daten umzuwandeln, können ausschließlich

Helligkeiten wahrnehmen. Um Informationen über den Farbraum zu gewinnen, befinden sich vor den Detektoren verschiedene Farbfilter, die jeweils nur eine spezifische Wellenlänge und dadurch Farbe durchlassen. In Bild 2 wird das Ergebnis eines Blau-Grün-Grün-Rot-Bildsensors (Bayer-Sensor) visualisiert, das dem jeweiligen Rohdatenformat entspricht. Diese Daten können anschließend bearbeitet werden, um ein für den Menschen interpretierbares Format zu erzeugen. Die Einspeisung eines sRGB-Bilds in ein Steuergerät würde zu einem Fehler führen, wenn die Schnittstelle für Rohdaten ausgelegt ist.

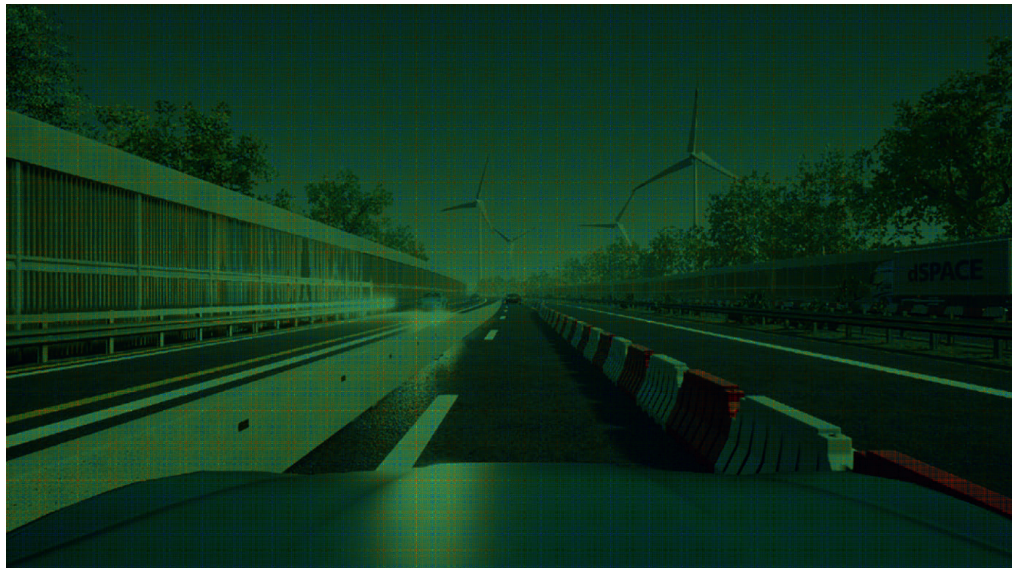


Bild 2: Darstellung einer Autobahnszene in einem nach Bayer-Pattern kodierten Format. © dSpace



Bild 1: Darstellung des Bilds im sRGB-Format. Dabei wird die Farbe jedes Pixels aus den Grundfarben Rot, Grün und Blau erzeugt. © dSpace

Um die Berechnung der Rohdaten in Echtzeit gewährleisten zu können, wird eine Grafikkarte verwendet, da sie im Gegensatz zu dem Hauptprozessor deutlich mehr Daten parallel verarbeiten kann. Dies wird bei genauerer Betrachtung von Radar- und Lidarsensoren deutlich, da für deren physikalische Berechnung ein aufwendiges Raytracing-Verfahren verwendet werden muss. Im Falle des Radars kann die elektromagnetische Welle zum Beispiel über die Leitplanke und ein weiteres Objekt zum Sensor zurückreflektiert werden. Dabei stellt der Radar aus einer Richtung ein Geisterziel fest und nimmt dieses in seiner Detektionsliste auf, obwohl dort kein Objekt existiert. Diese Operationen sind aufwendig, lassen sich jedoch gut parallelisieren, so dass die berechneten Sensordaten in Echtzeit über eine geeig-

nete Schnittstelle in das Steuergerät eingespeist werden können. Im Folgenden wird ein solcher Beispielaufbau im Rahmen eines Hardware-in-the-Loop-Tests beschrieben.

HIL-Test für Sensor Fusion Controller

HIL-Prüfstände ermöglichen es, reale Steuergeräte im Labor durch Simulation mit aufgezeichneten oder künstlichen Daten zu testen. Bild 3 zeigt einen Aufbau für die Open-/Closed-Loop-HIL-Simulation und Rohdateneinspeisung für eine Frontkamera. Hierbei wird der Kamerabildsensor einschließlich Linse durch die dargestellte HIL-Umgebung ersetzt und simuliert.

Die dSpace Verkehrs- und Fahrdynamiksimulation wird auf einem Echtzeit-PC mit einem Aktualisierungsintervall von 1 ms ausgeführt. Zusätzlich ist der Echtzeit-PC für die Restbussimulation mit dem Fahrzeugnetzwerk (CAN, Ethernet, FlexRay etc.) verbunden.

Die Ergebnisse der Verkehrssimulationen werden an einen leistungsstarken Computer übertragen. Hier wird eine dreidimensionale Repräsentation der Umgebung erzeugt. Darauf basierend werden die jeweilig parametrisierten Sensormodelle berechnet. Diese Sensormodelle können von Lösungsanbietern für Simulation und Test, zum Beispiel von dSpace, bereitgestellt werden. Alternativ ist die Einbindung von Sensormodellen von Tier-1-Lieferanten unter der Verwendung von Open Simulation Interfaces (OSI) möglich, wodurch gleichzeitig das geistige Eigentum der Lieferanten geschützt ist. Darüber hinaus unterstützt dSpace weitere Standards wie OpenDrive für die Straßendefinition und OpenScenario als Format zur Szenariobeschreibung.

Die Sensorrohdaten werden über die DisplayPort-Schnittstelle der GPU an die dSpace Environment Sensor Interface Unit (ESI Unit) übergeben. Auf dieser FPGA-basierten Plattform werden weitere Bestandteile der Sensormodelle ausgeführt. Beispiele sind hier eine Belichtungssteuerung oder eine Simulation der I²C-Schnittstelle des ImageSensors. Für die Übertragung von Sensorrohdaten hat sich bisher kein herstellerübergreifender Schnittstellenstandard etabliert. Daher muss ein Testsystem

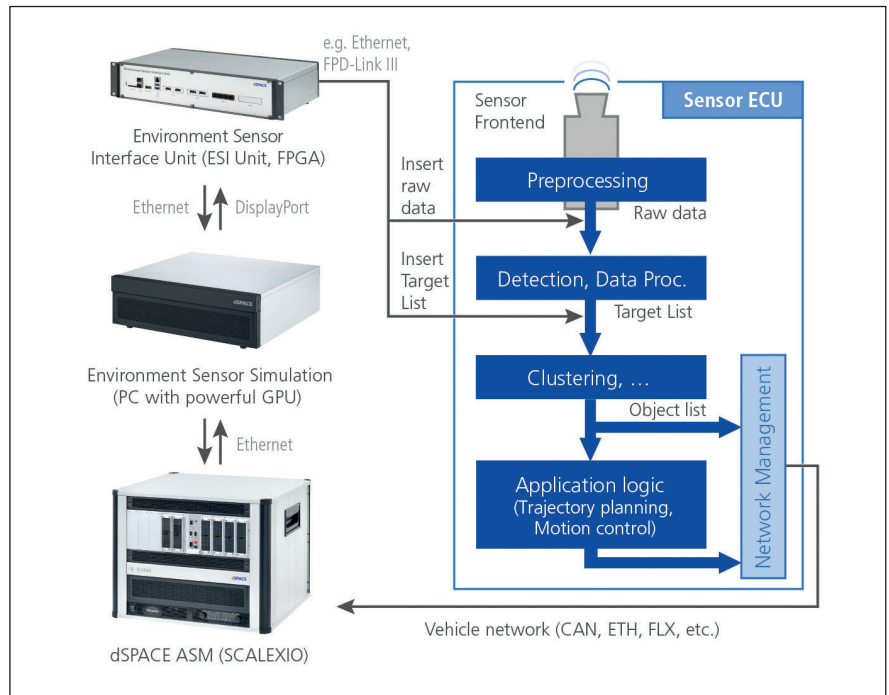


Bild 3: Beispielhafter Aufbau für die Open-/Closed-Loop-HIL-Simulation und Rohdateneinspeisung. © dSpace

zur Sensorrohdateneinspeisung eine Vielzahl von Sensorschnittstellen unterstützen. Die ESI Unit ist hochgradig modular und unterstützt alle relevanten automotiven Sensorschnittstellen. Automotiv Kameras verwenden typischerweise TI FPD-Link III und IV, Maxim GMSL1 und GMSL2 sowie MIPI CSI-2 mit mehr als 8 Gbit/s. Radar- und Lidarsensoren verfügen oft über eine Automotive-Ethernet-Schnittstelle mit bis zu 10 Gbit/s. Zunehmend etablieren sich hier jedoch auch die bei Kameras verwendeten Schnittstellen.

Die HIL-Simulation autonomer Fahrzeuge mit Dutzenden zu simulierenden Sensoren stellt eine besondere Herausforderung dar. Für eine realistische Simulation aller Sensoren ist zum einen viel Rechenleistung (CPU, GPU, FPGA) erforderlich. Zum anderen ist je nach Fahrzeug- und Sensorarchitektur eine Synchronisierung der Sensor- und Busdaten erforderlich. Für (Rest-)Busdaten erfolgt dies zum Beispiel durch ein Echtzeitbetriebssystem wie bei dSpace SCALEXIO auch über mehrere Rechenknoten hinweg. Die Sensorsimulation auf Rohdatenebene erfordert GPUs und FPGAs und somit neue Konzepte zur Synchronisierung. Alle Komponenten des Simulationsaufbaus müssen zudem auf geringe Ende-zu-Ende-Latenzen optimiert sein, so dass die Regelalgo-

rithmen des Steuergeräts getestet werden können. Ein HIL-Aufbau zur Absicherung eines AD-Steuergeräts mit 23 Umfeldsensoren wird in [3] vorgestellt.

Dieser Beitrag stellt die Sensorsimulation als eine leistungsstarke integrierte und einheitliche Lösung für die Absicherung von autonomen Fahrzeugen vor. Dabei wurde die Generierung von sensorrealistischen synthetischen Sensordaten auf CPU, GPU und FPGA beschrieben. ■ (oe)

www.dspace.de

Quellenverzeichnis

- [1] G. Sievers et. al. Driving Simulation Technologies for Sensor Simulation in SIL and HIL Environments, Driving Simulation Conference Europe 2018 VR
- [2] M. Müller. Prototyping und Data Logging für das Autonome Fahren, HANSER automotive 11–12/2019
- [3] O. Maschmann, AI-in-the-Loop, dSPACE Magazin 2/2019



Caius Seiger ist operativer Produktmanager Sensor Simulation bei der dSPACE GmbH.



Dr. Gregor Sievers ist operativer Produktmanager ESI Unit bei der dSPACE GmbH.