

## Kameraentwicklung und -validierung

# Rohdatendirekteinspeisung ohne HiL-Modus

Die Absicherung kamerabasierter Fahrerassistenzsysteme ist aufgrund integrierter Sicherheitsmechanismen der funktionalen Sicherheit in der Release-Software schwierig. NI bietet hierfür dedizierte Hardware und Software zur mehrschichtigen Emulation von Bildsensorfunktionen an.

Dimitrij Gester



© fotchansel | AdobeStock

Bildverarbeitende Steuergeräte für Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) sind ein integraler Bestandteil moderner Fahrzeugarchitekturen und ergänzen die Wahrnehmung des Fahrzeugs im sichtbaren elektromagnetischen Spektrum. Sie bieten wichtige Funktionen für das hochautomatisierte Fahren und erhöhen die Verkehrssicherheit durch automatisierte Trajektorienplanung auf Basis von Objekterkennung und -klassifizierung. Im Kern vieler elektronischer ADAS-Steuergeräte (ECUs) liegt ein ASIC, das die Inferenz eines neuronalen Netzwerks (NN) für sensorische Eingaben beschleunigt. Mobileye B.V. bietet einen der am weitesten verbreiteten Chipsätze für diese NN-basierten Subsysteme an.

Für Automobilhersteller und -zulieferer

stellt das Absichern und Homologieren derartiger Systeme eine neue Klasse an Herausforderungen dar. Von den klassischen Qualitätssicherungsmethoden ist das Testen eine der wenigen effizienten Methoden bei NN-basierten Systemen. In der Testphase vor Serienanlauf (SOP) wird sehr viel Aufwand investiert, um eine möglichst große Testabdeckung in der Absicherung zu erzielen. Ein beliebter Ansatz aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und Reproduzierbarkeit sind Funktionstests in einer Laborumgebung, bei denen relevante Steuergeräte in einem Hardware-in-the-Loop-Cluster (HiL) verbunden werden, während der Rest des Fahrzeugbusses simuliert wird. Die Sensorstimuli werden dabei über den digitalen Pfad in die Steuergeräte eingespeist.

## Fahrzeug in den Fail-safe-Zustand versetzen

ADAS-ECUs, die für sicherheitskritische Fahrzeugfunktionen verantwortlich sind, müssen Fehler selbst diagnostizieren und die Kontrolle über das Fahrzeug auf sichere Weise (fail-safe) abgeben können. Für ein Steuergerät bedeutet das, den Betriebszustand des Bildsensors permanent zu überwachen und den bereitgestellten Videostrom in Echtzeit zu validieren (Bild 1).

Moderne Bildsensoren verfügen über mehrere Möglichkeiten, den Datenpfad zum und vom nachgeschalteten Videoprozessor gegen Fehler abzusichern – einige Hersteller implementieren CRC-Prüfsummen auf der Seitenkanalkommunikation. Im Videostrom las-

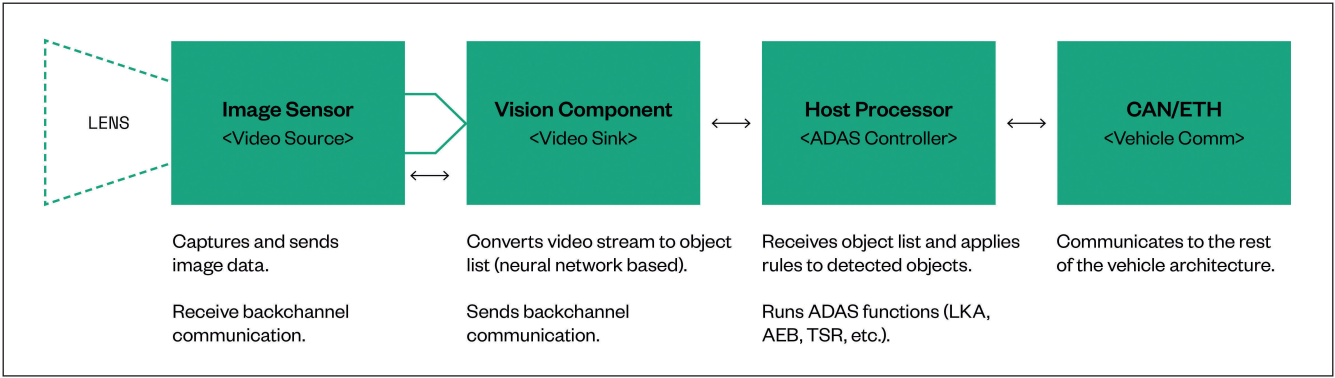


Bild 1: Typische Architektur eines ADAS-Kamerasystems (vereinfacht) © NI

sen sich automatische Bildzähler und Abbilder der momentanen Konfiguration anfügen. Manche Sensoren können ERROR-Interrupts auf einem Ausgabe Pin legen. Die MIPI-CSI2-Spezifikation sieht zusätzlich CRC-Prüfsummen und Bildzähler auf Protokollebene vor. Diese und andere Sicherheitsvorkehrungen stellen sicher, dass autonom fahrende Fahrzeuge aufgrund von Fehlern im Bilddatenpfad die Kontrolle im Bedarfsfall schnell an den Fahrer übergeben können. Das Einspeisen beliebiger Videos aus einer Simulation oder einer zuvor aufgezeichneten Testfahrt führt somit unweigerlich dazu, dass das System in seinen Sicherheitszustand (fail-safe) versetzt wird.

Dieser Zusammenhang ist schon lange bekannt und die Abhilfe bestand seither darin, diese Zustandsüberwachung und Statusvalidierung der ECU-Software abzuschalten. Dieser „HiL-Modus“ wird sowohl in Systemen von Mobileye als auch in Systemen anderer Anbieter wie Bosch oder Continental unterstützt. Das ist eine geeignete Heran-

gehensweise für das Testen der Objekterkennung (Perception) und der nachgeschalteten Anwendungs-Software. Der Ansatz hat jedoch einen inhärenten Nachteil: die getestete Software kann später nicht im Feld eingesetzt werden. In der Version für die Absicherung fehlen sicherheitskritische Teile, die nur in der Produktions-Software vorhanden sein werden. Somit entstehen Lücken in der Testabdeckung.

Ein möglicher Lösungsansatz ist, dass Echtzeitverhalten des Bildsensors nachzubilden, gegebenenfalls auch durch Reverse-Engineering.

**Nachbildung der digitalen Bildaufbereitung**

Bild 2 zeigt ein vereinfachtes Modell eines Sensors als Videoquelle und einer angeschlossenen Bildverarbeitungs-komponente als Videosenke. Auf der logischen Ebene werden digitale Bilder im Bildsensor erzeugt und von der Vision-Komponente verarbeitet. Jedes eingehende Bild wird verifiziert, bevor es

an die Objekterkennungsebene weitergeleitet wird. Ein dedizierter Block regelt aus spezifischen Bildeigenschaften wie Helligkeit, Histogrammen und ähnliches dynamisch neue Parameter für den Bildsensor und stellt damit indirekt korrekt belichtete Bilder für die Objektklassifizierung bereit.

Die Statusüberwachung korreliert die Bildzähler mit der Regelung und validiert den Konfigurationszustand des Sensors aus eingebetteten Metadaten. Eben diese Überwachung macht die Einspeisung von generischen Videoströmen in einer HiL-Umgebung ohne „HiL-Modus“ schwierig.

Ein System zur Rohdateneinspeisung muss das Verhalten mehrerer Subkomponenten des Bildsensors in Echtzeit emulieren. Nur so kann das Auslösen des Fail-Safe-Zustandes vermieden und zuverlässige Testergebnisse geliefert werden.

Die Erzeugung von Sensorrohdaten auf der optischen Ebene (Bild 2 links oben) ist die Aufgabe des Simulationsrechners. Bei Open-Loop-Regressions-

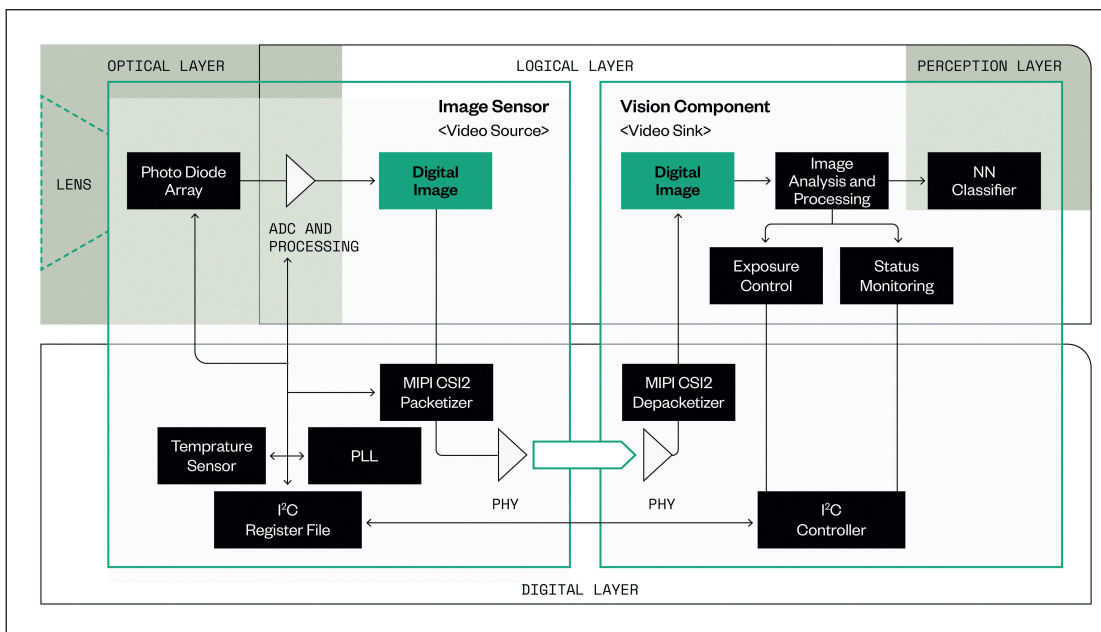


Bild 2: Vereinfachte Darstellung eines Bildsensors und der nachgeschalteten Vision-Komponente

© NI

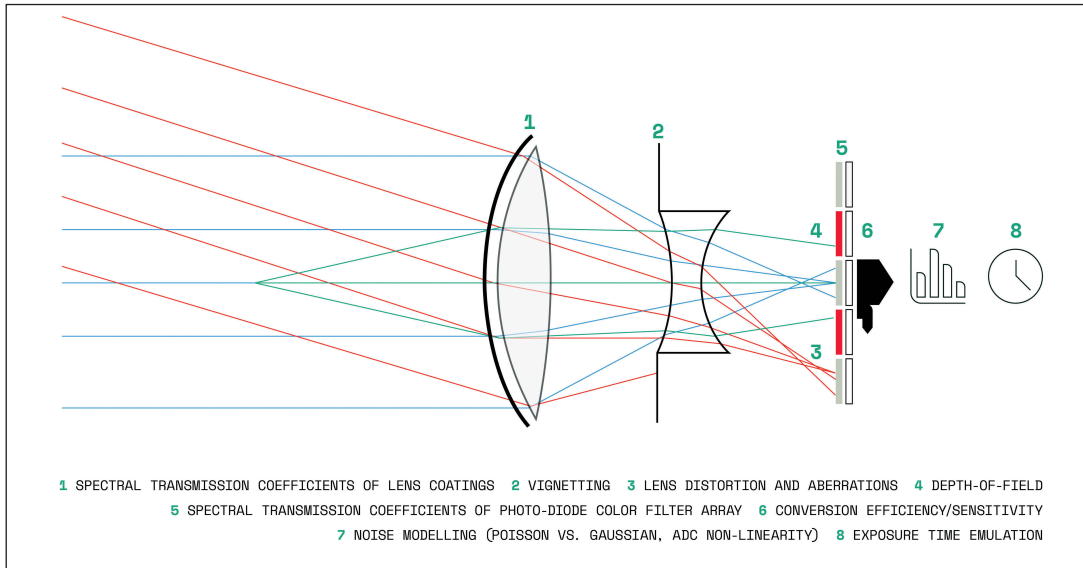


Bild 3: Effekte entlang des opto-elektrischen Pfades © NI

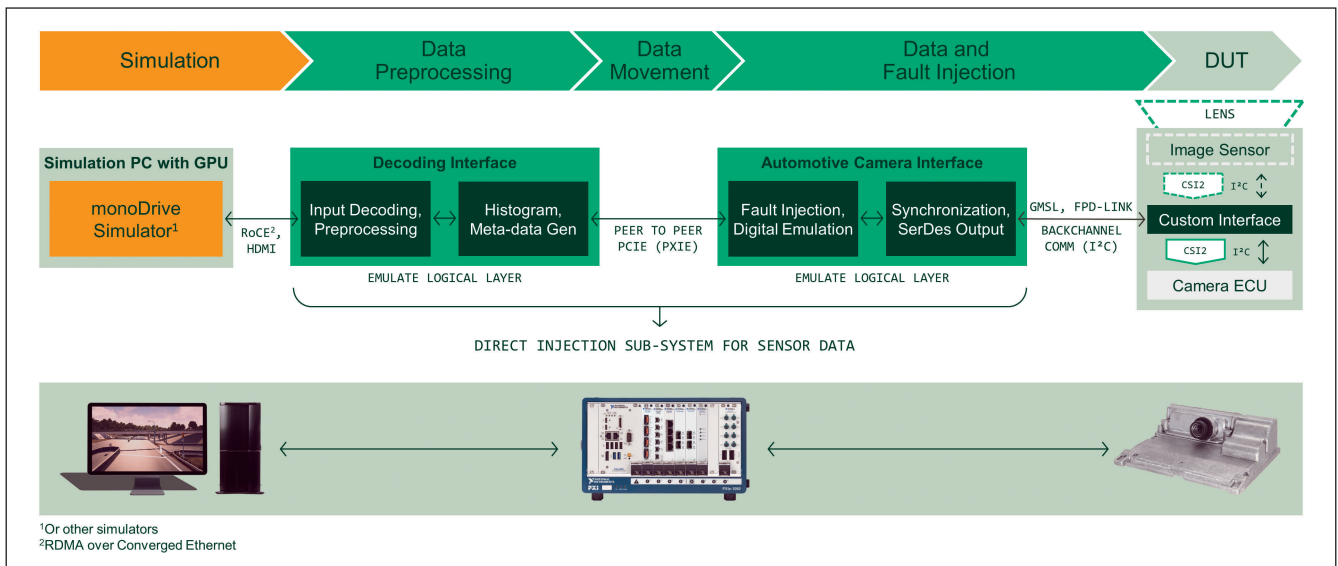


Bild 4: HiL-Systemarchitektur von NI für die direkte Dateneinspeisung unter Verwendung von ECU-Release-Software © NI

tests wird eine vorherige Aufzeichnung einer Kamera-ECU in den aktuellen Prüfling eingespeist und situative Verbesserungen der Objekterkennung protokolliert. Eine 3D-Visualisierung hingegen erzeugt synthetische Live-Daten und ermöglicht Closed-Loop-Tests für dynamische Szenarien, Funktionstests und Prüfung der Erkennungsleistung. Die Genauigkeit des optischen Sensormodells ist direkt an die Qualität der generierten Daten und die Aussagekraft der Testergebnisse geknüpft. Effekte des optischen Pfades werden in unterschiedlichem Maße in verfügbaren synthetischen Simulationswerkzeugen abgedeckt (Bild 3).

Auf der logischen Ebene (Bild 2 oben) entfällt der Großteil des Aufwandes auf die Nachbildung der digitalen

Bildaufbereitung. Sensoren können das Bild dynamisch beschneiden und das Auslesefenster auf der aktiven Pixelfläche verschieben. Fotodioden mit Farbfiltern erfordern eine individuelle Farbkanalverstärkung für den Weißabgleich unterschiedlicher Lichtverhältnisse. Weiterhin kann manchmal die Intensität des einfallenden Lichts die Kapazität der Fotodioden überschreiten. Der gesamte dynamische Bereich der Szene kann dann – insbesondere nachts – nicht erfasst werden. Details können in Schatten- oder in hellen Bereichen entweder durch unzureichende Aussteuerung oder Übersteuerung verlorengehen. Moderne Bildsensoren schaffen hier Abhilfe durch mehrfache Analog-Digital-Wandlung während der Belichtungsphase. Die einzelnen Konvertie-

rungen ergeben jeweils ein 12-bit-Teilbild für die separaten Helligkeitsbereiche und werden anschließend vor der Ausgabe zu einem 20-bit-Digitalbild zusammengesetzt. Um Bandbreite zu sparen, kann dieses 20-Bit Bild dann mithilfe einer dynamisch konfigurierbaren, nichtlinearen Übertragungsfunktion auf 12 Bit oder 16 Bit komprimiert werden. Während der Aufbereitung erzeugen Sensoren zusätzlich Histogramme und weitere Bildstatistiken, die nachgeschaltete Videoprozessoren zur Regelung der Belichtungszeit nutzen können.

Die digitale Schicht (Bild 2 unten) wird maßgeblich durch Übertragungsprotokolle und elektrische Parameter definiert. Einerseits betrifft das das PCB-Design der ECU-Schnittstelle, die

für bestimmte Kameratypen speziell angefertigt werden muss. Andererseits umfasst diese Parameter für die dynamische Konfiguration der MIPI CSI-2 Kommunikation und den vom Phase-Lock-Loop (PLL) erzeugten Taktraten, die letztendlich auch für die Bildwiederholrate bestimmend sind. Zusätzlich stellt die Registertabelle im Sensor auch wichtige Funktionalität und Informationen bereit, beispielsweise Temperatursensor und Sensorstatus.

Eingebettete Systeme, zu denen ADAS-ECUs zählen, unterliegen strengen Echtzeit-Beschränkungen (Latenz und Durchsatz). Messschnittstellen und -systeme dürfen diese Randbedingungen im Hinblick auf die Validität der Testergebnisse keinesfalls verletzen. Zusätzlich zur rein funktionalen Nachbildung des Bildsensors gehört also auch die Bereitstellung der Daten innerhalb einer garantierten maximalen Latenz, die idealerweise hinreichend weit unter den zeitlichen Beschränkungen des zu testenden Zielgeräts liegen (Aufrechterhaltung des Determinismus). Das Lösungsportfolio von NI deckt die oben genannten Aspekte ab und bietet modulare und adaptierbare Testsysteme für ADAS/AD-Steuergeräte (**Bild 4**) an.

Mithilfe eines starken Partnernetzwerks, bestehend aus Experten unterschiedlicher und sich ergänzender Dis-

ziplinen, kann NI kundenspezifische Messtechnikschnittstellen und Lösungen für alle Steuergeräte, bis hin zu Steuergeräten mit extrem enger Integrationsdichte bereitstellen.

Der Echtzeit-Kern der Bildsensor Emulations-IP wird auf einer dedizierten, leistungsstarken und skalierbaren Hardwareplattform realisiert. Mehrere UHD-Videoströme können parallel und synchron bereitgestellt werden und die Anforderungen moderner bildverarbeitender Fahrerassistenzsysteme abdecken. Darüber hinaus ist diese IP auch in der Lage, gezielt Fehler in verschiedenen Verarbeitungsstufen im Datenpfad einzuspeisen und eine robuste Testabdeckung der Fehlerbehandlungsmechanismen im Prüfling zu ermöglichen.

Auf der Simulationsseite bietet NI ein integriertes, verteiltes Werkzeug für 3D-Visualisierung und Dynamiksimulation an (monoDrive). Die Integration zum Testsystem ist über eine bidirektionale RDMA-over-Converged-Ethernet Datenverbindung (RoCE) realisiert und ermöglicht niedrige Übertragungslatenzen mit Bandbreiten im Bereich von mehr als 50 Gbit/s für geschlossene Regelschleifen mit dem Prüfling (Closed-Loop). Die Kompatibilität zu anderen Simulationswerkzeugen von Drittanbietern (Co-Simulation) ist durch konventionelle HDMI-Datenkonverter

und Standard Ethernet-Verbindungen gegeben.

### Schlussfolgerungen

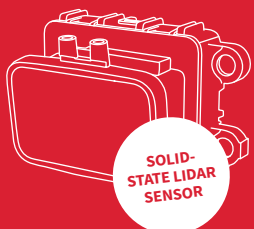
ADAS-Steuergeräte sind sicherheitskritische Systeme und überwachen permanent den eigenen Status im Rahmen der funktionalen Sicherheit. Einspeisung von Sensorrohdaten wird dadurch zu einer nicht trivialen Aufgabe. Ein komplexes, mehrschichtiges Bildsensormodell muss in Echtzeit emuliert werden, um allen Validierungen in der ECU zu genügen. Die Aussagekraft der Testergebnisse ist direkt an die Qualität der simulierten Bilddaten geknüpft. Anspruchsvolle optische Simulation und Echtzeit-Bildsensoremulation sind Teil des Lösungsportfolios von NI für aktuelle und zukünftige bildverarbeitende ADAS/AD-Steuergeräte. Sie ermöglichen die Absicherung auf Basis von Produktionssoftware (Release-Software) für Kamerasteuergeräte, wodurch eine Abdeckungslücke geschlossen wird, die seit der Einführung des „HiL-Modus“ mit Vorabversionen von Software (Pre-Release) besteht. ■ (eck)

[www.ni.com](http://www.ni.com)



**Dimitrij Gester** ist Senior Offering Application Expert ADAS Simulation bei NI. © NI

WE TAKE IT SERIOUSLY,  
SO YOUR CUSTOMERS  
HAVE MORE FUN.



**ibeoNEXT**  
GERMAN  
ENGINEERING

Deutsche Ingenieurskunst vom Feinsten: Präzision, Perfektion und Partnerschaft. Die Leistung des ibeoNEXT steigert die Sicherheit beim autonomen Fahren. Und das sogar in Serie mit unseren starken Partnern ZF und AAC. Kein Scherz, sondern mit Sicherheit das beste PreisLeistungsverhältnis: [ibeo-as.com](http://ibeo-as.com)

**ibeo**  
automotive



**Kilian**  
Product Manager  
Embedded Hard-  
and Software