



ECUs für kamerabasierte Fahrerassistenzsysteme im Closed-Loop-Verfahren

AUTOREN



Marc Haselhoff

ist Mitarbeiter in der Elektronik-Entwicklung bei der IPG Automotive GmbH in Karlsruhe.



Stephan Hakuli

ist Produktmanager Engineering Services und Fachreferent für Fahrerassistenzsysteme bei der IPG Automotive GmbH in Karlsruhe.

Beim Testen von Fahrerassistenzsystemen auf Simulationsprüfständen kann die fehlende Synchronisation zwischen Bildaufbau im Monitor und der Bilderfassung in der Kamera zu „zerrissenen“ Bildern führen. Durch direkte Bildeinspeisung in ein Serienkamerasteuergerät wird dieses Problem umgangen und ein echtes Closed-Loop-Testing von Kamerasteuergeräten möglich.

TESTS KAMERABASIERTER FAHRERASSISTENZSYSTEME

Bei Fahrerassistenzsystemen und Sensoren für hoch- oder vollautomatisiertes Fahren spielen kamerabasierte Funktionen eine Schlüsselrolle. Die Assistenzfunktionen werden oft mit Simulationen im Labor getestet. Für die Tests gibt es zwei Verfahren: Software-in-the-Loop und Hardware-in-the-Loop. Im Software-in-the-Loop-Verfahren erhält das Steuergerät aus der Simulation generierte Bilder. Die Bilder können nach einer Konvertierung in das geforderte Schnittstellenfor-

mat auch über eine Netzwerkschnittstelle an ein Kamerasteuergerät übermittelt werden. Bildauflösung, Wiederholrate und Zahl der synchron zu übermittelnden Kameraperspektiven sind allerdings durch die Rechenleistung und die Übertragungsrate begrenzt und unterliegen teilweise hohen Latenzen.

Im Hardware-in-the-Loop-Verfahren („Monitor-HiL“) zeigt die Kamera auf einen Monitor, während ein simuliertes Umfeld oder Videos aus Realfahrten gezeigt werden. Dieses Verfahren kann eine fertig integrierte Baugruppe aus Kameraobjektiv und ECU testen.

NACHTEILE DES MONITOR-HIL

Die fehlende Synchronisation zwischen Bildaufbau im Monitor und der Bilderfassung in der Kamera kann dazu führen, dass Bilder zerrissen erfasst werden. Der Bildsensor der Kamera wird zu einem Zeitraum belichtet, in dem sich das Bild im Monitor noch in der Aufbauphase befindet. Der auswertende Algorithmus „sieht“ also einen Teil des aktuellen und einen Teil des vorherigen Bilds. Bei signifikanten Änderungen wird das Zerreißen sichtbar, **BILD 1**. Das abgebildete Verkehrszeichen wird in der Szene nicht korrekt erkannt, das entgegenkommende Fahrzeug als mehrere Objekte interpretiert.

Ein weiterer Nachteil liegt in der Reaktionszeit einzelner Zellen. Die Helligkeit des einzelnen Pixels wird durch Verdrehen der Flüssigkristalle gegenüber einem Polarisationsfilter gesteuert. Dadurch wird mehr oder weniger Licht der Hintergrundbeleuchtung zur Bildschirmoberfläche durchgelassen. Ändert sich der Wert der Steuerspannung, benötigen die Kristalle Zeit, um sich neu auszurichten. Da diese Zeitspanne im Bereich der üblichen Belichtungszeiten liegt, kommt es zur Überlagerung von aktuellen mit den vorhergehenden Bildinhalten, **BILD 2**. Der

Algorithmus einer Notbremsassistentenfunktion kann hier nicht sicher erkennen, ob das rot oder blau eingerahmte Fahrzeug das jeweils gültige Objekt ist. Die Objekterkennung über die Form geschieht durch Algorithmen, die Graustufenbilder verarbeiten und Objekte voneinander und vom Hintergrund trennen. Dafür genügen geringe Helligkeitsunterschiede. Bei realen Fahrten muss das Kamerasystem auch bei großen Kontrasten zuverlässig arbeiten, wie zum Beispiel nachts bei Gegenverkehr.

Die Kontraste bei Monitoren sind niedriger als bei modernen Bildsensoren. Viele Monitore können nur 64 Graustufen abbilden. **BILD 3** zeigt einen über Monitor darstellbaren Helligkeitsverlauf bei realen Fahrten. Besonders der rechte Bereich wird nur unzureichend abgebildet. Für die schlechte Abdeckung an den Enden ist die Hintergrundbeleuchtung verantwortlich, die zu schwach für realistische Blendeffekte ist, von den Flüssigkristallen nicht vollständig abgeschirmt werden kann und daher durchscheint.

Kameras mit Fischaugenobjektiven, die einen Erfassungsbereich (Field of View) von mehr als 180° aufweisen, zum Beispiel bei Einparkassistenten, sind schwer zu testen. Plane Bildschirme sind

zur Szenendarstellung für solche Objektive nicht geeignet.

Beim Testen von Stereokameras müssen zwei Videostreams synchronisiert eingespeist werden. Das kann durch Vorsatzlinsen, Spiegel oder Polarisationsfilter erfolgen.

Alle genannten Methoden erfordern ein hohes Maß an Präzision beim Aufbau und sind sehr störanfällig bei kleinsten Abweichungen. Die Testaufbauten müssen immer abgeschirmt werden, da Fremdlicht die Testergebnisse beeinflussen kann.

Die Nachteile der HiL-Tests treten in Kombination auf. So liefern Bildauswertungen, die auf die reale Fahrt kalibriert wurden, am Prüfstand oft unzureichende Ergebnisse. Umgekehrt können Algorithmen, die mit Monitorbildern „angelernt“ wurden, unter realen Bedingungen keine zufriedenstellenden Ergebnisse liefern.

VIRTUELLER FAHRVERSUCH

Um Assistentenfunktionen jederzeit mit Videobildern versorgen zu können, zeichnen einige Hersteller reale Versuchsfahrten mit einer Kamera auf, deren Bildformat und Position im Fahrzeug den Serien-



BILD 1 Beispiel eines zerrissenen Bilds

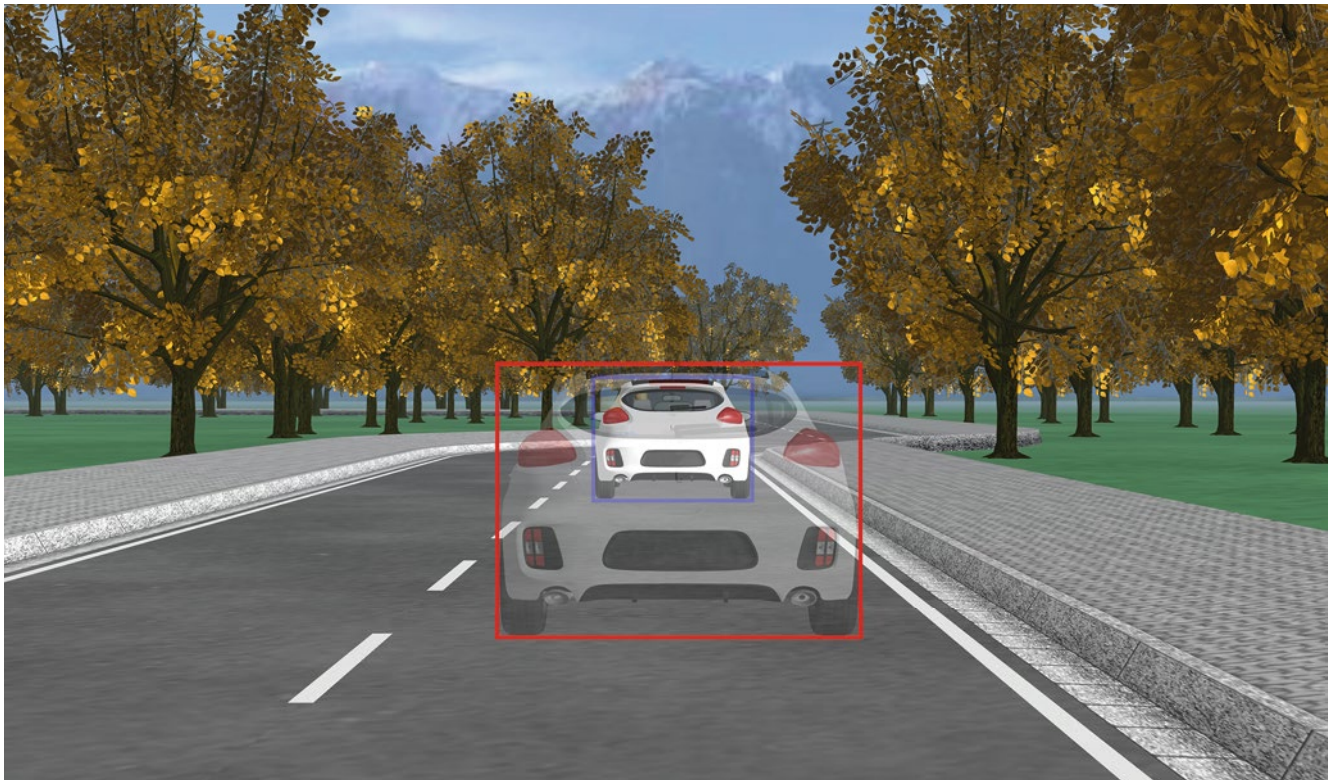


BILD 2 Überlagerte Bilder (sogenannte Geisterbilder); zur Verdeutlichung übertrieben dargestellt

bedingungen entsprechen. Die Daten können anschließend in die Kameraschnittstelle des Steuergeräts eingespeist werden. Durch dieses Hardware-in-the-Loop-Verfahren können Auswertungen verändert und deren Auswirkungen jederzeit mit demselben Bildmaterial überprüft werden. Die Aufzeichnung verringert die Abhängigkeit von Prototypen, Personal und Umwelt.

Für die sicherheitsrelevanten Funktionen der Fahrerassistenzsysteme werden Kamerabilder benötigt, die gefährliche Fahrmanöver abbilden, die in realen Fahrten nicht oder nur mit großem Aufwand umsetzbar sind. Reale Fahrversu-

che für jede Variante eines Fahrzeugs sind jedoch zu teuer.

Virtuelle Fahrversuche sind eine zeit- und kostensparende Alternative für alle, auch für die besonders gefährlichen und komplexen realen Testfahrten. Eine realitätsnahe Visualisierung der simulierten Szene ist mit aktuellen PC-Systemen möglich.

TESTSYSTEM MIT VIDEOINTERFACEBOX

Bislang gibt es eine Lücke zwischen realitätsnahen Bilddaten und der Closed-Loop-Fähigkeit eines solchen Testauf-

baus. Eine FPGA-basierte Emulation des Kamerasensors mit direkter Einspeisung des synthetischen Bildmaterials in das Kamerasteuergerät erlaubt Closed-Loop-Testing ohne Einschränkungen der bildschirmbasierten Testsysteme. Das System nutzt die DVI-Verbindung einer leistungsstarken Grafikkarte, um die Bilddaten in eine FPGA-basierte Hardware zu übertragen. Dort werden die Daten mit sehr geringer Latenz so umgesetzt, dass das Datenformat sowie die elektrischen Signale denen der Schnittstelle zwischen Kamerasensor und Steuergerät entsprechen. Dies erlaubt die Emulation von bis zu vier Kameras. Auflösung und Kontrastumfang sind dabei durch die gemeinsam genutzte DVI-Verbindung insgesamt auf 7,44 GBit/s beschränkt. Die Übertragungskapazität der Schnittstelle wird durch eine Organisation der Bilddaten, bei der die einzelnen Kamerabilder in einem übergreifenden Frame angeordnet und synchronisiert sind, effizient ausgenutzt. Je nach Kontrastumfang können die Daten mehrerer Pixel so zusammengefasst werden, dass gegenüber der normalen Bildschirmansbindung eine mehrfache Übertragungsrates realisierbar ist. Im

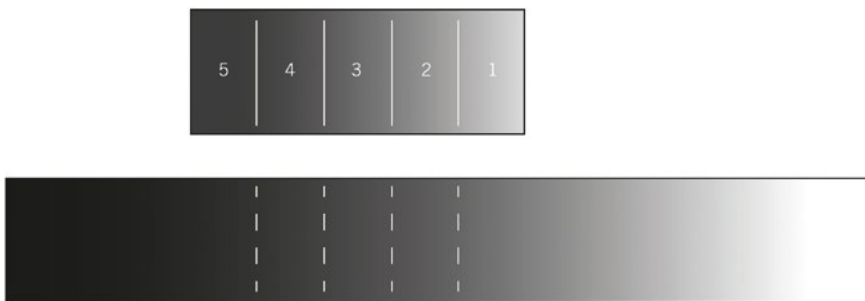


BILD 3 Qualitativer Vergleich: realer Kontrastumfang (unten) und Nachahmung auf einem TFT-Display (oben)

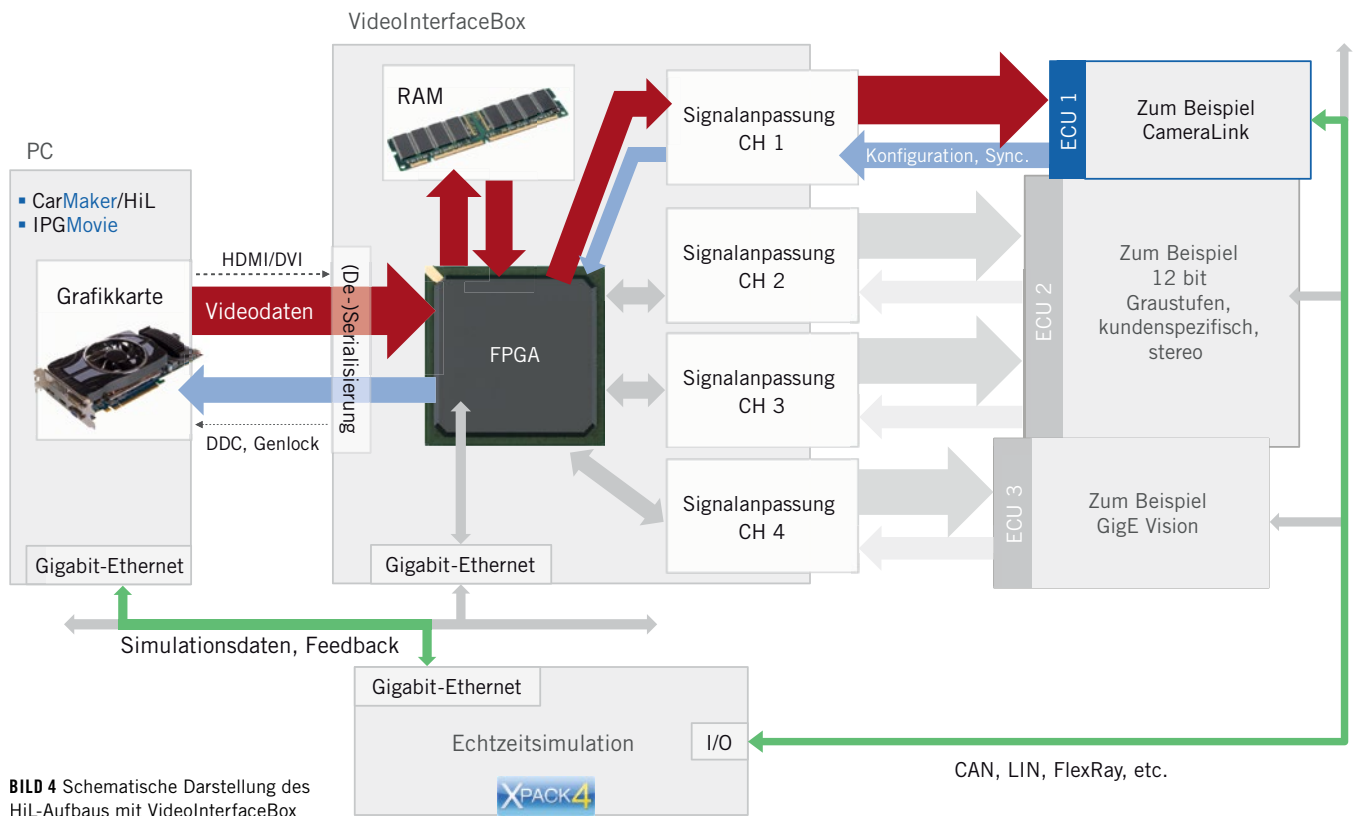


BILD 4 Schematische Darstellung des HiL-Aufbaus mit VideoInterfaceBox

Vergleich dazu arbeiten Systeme zur Einspeisung des aufgezeichneten Bildmaterials lediglich mit Gigabit-Ethernet. Der wesentliche Unterschied zu diesen Systemen besteht in der Integration eines Rückkanals, der Synchronisations- und Steuersignale der ECU an die Bildgenerierung weitergibt. Dadurch kann während der Laufzeit die Konfiguration verändert werden, wie zum Beispiel die Anpassung der Belichtungszeiten an die Lichtverhältnisse der Umgebung. Der Systementwurf ermöglicht dabei die Parametrierung der Schnittstellen- und Bildeigenschaften, sodass Änderungen an der zu testenden ECU im Testaufbau berücksichtigt werden können. Die Rückkopplung der Ergebnisse der Bildauswertung in die Fahrdynamiksimulation ermöglicht somit Closed-Loop-Testing von kamerabasierten Assistenzsystemen.

Der Informationsfluss in einem Kamera-HiL-Testsystem läuft wie folgt ab, **BILD 4**: Auf Basis der Simulationsdaten des Echtzeitsystems und der Position der Kamera im virtuellen Fahrzeug wird eine Visualisierung errechnet. Die synthetischen Videodaten werden per DVI an die Emulator-Hardware übertragen,

gepuffert, in das benötigte Format konvertiert und nach einer Signalanpassung eingespeist (roter Pfad). Über eine Rückleitung (blauer Pfad) kann die ECU auf die Bildgenerierung Einfluss nehmen. Die Steuerbefehle an das virtuelle Fahrzeug werden von der ECU über die Schnittstelle zum Fahrzeugbus (CAN, LIN, FlexRay, etc.) abgesetzt (grüner Pfad) und schließen so die Regelschleife. Gleichzeitig ist darüber auch der Austausch von Sensordaten anderer realer oder virtueller Steuergeräte gewährleistet, der Sensordatenfusion ermöglicht.

Mit dem beschriebenen Verfahren können Bilder direkt in ein Serienkamerasteuergerät eingespeist werden. Die elektrische Verbindung zwischen Kamera und ECU wird dabei getrennt und die Schnittstelle der Kamera durch die neuentwickelte VideoInterfaceBox ersetzt. Sie wird über die DVI-Schnittstelle der Grafikkarte des Rechners gespeist, auf dem das simulierte Umfeld generiert wird. Über eine hoch performante Hardware und entsprechende Signalanpassung können damit die Videodaten in beliebige Schnittstellenformate gewandelt und latenzarm direkt in die ECU eingespeist werden. Durch

Rückkanäle können die Bildausgaben der Kanäle auf die jeweiligen Belichtungssignale synchronisiert werden, sodass sich die Emulation gegenüber der ECU völlig transparent verhält. Gleichzeitig ist eine Emulation von bis zu vier Kameras möglich, wodurch der Test von Stereokamera- oder Birds-Eye-View-Systemen realisiert wird. Alle Kanäle sind ideal synchronisiert, während Auflösungen und Bildraten unabhängig voneinander konfigurierbar bleiben.

FAZIT UND AUSBLICK

Das neue Testsystem kann kamera-basierte Funktionen im Closed-Loop-HiL-Verfahren mit weiteren Steuergeräten inklusive der simulierten Umfeldsensoren überprüfen und so die Vorteile des virtuellen Fahrversuchs auch im Kontext einer Sensordatenfusion nutzen. Die Ingenieure arbeiten mit Kamerahersteller und -kunden an der Unterstützung weiterer Bildsensoren und Sensorschnittstellen, um ein breites Spektrum an Kameramodellen standardmäßig nachzubilden und Lösungen schneller umsetzen zu können.