



## Test und Absicherung von Multi-Sensor-Systemen

Raphael Pfeffer, Prasanna Kannan, IPG Automotive GmbH

Wir haben mit Raphael Pfeffer, Leiter des „Innovation Management“-Teams, und Prasanna Kannan, Senior Ingenieur im „Test Systems & Engineering“-Team, über eine neue modulare Testplattform gesprochen, die es ermöglicht, Radarsensoren virtuell zu testen und abzusichern. Dies gewährleistet eine beschleunigte Validierung von Fahrerassistenzsystemen (ADAS) und hochautomatisierten Fahrfunktionen.

**Die Sensor-Anzahl und die Datenmenge, die in den Entscheidungseinheiten ADAS-fähiger Fahrzeuge verarbeitet werden, steigt kontinuierlich an. Was hat das zur Folge?**

**Pfeffer:** Der Testbedarf und der Absicherungsaufwand für Anwender bzw. für den Systementwickler steigen. Das hängt damit zusammen, dass viele Wechselwirkungen zwischen den im Fahrzeug verbauten Systemen auftreten. Darüber hinaus existieren viele verschiedene Technologien, die reibungslos zusammenarbeiten müssen. Es gibt so viele integrierte Systeme, die betrachtet werden müssen, dass man von einem „System of Systems“ spricht. Wenn man dann überlegt, dass bei zukünftigen Level 3+

Systemen, also beim automatisierten Fahren, kein Fahrer mehr existiert, der die Rückfallebene für das System bildet, dann steigt der Testbedarf noch weiter. Und zwar in Größenordnungen, unvergleichbar mit denen, wie wir sie beim Sprung zu „klassischen“ Fahrerassistenzsystemen kennengelernt haben.

**IPG Automotive konzipiert und entwickelt zusammen mit Keysight Technologies und Nordsys eine modulare Testplattform, die die Validierung von ADAS und Funktionen für das hochautomatisierte Fahren beschleunigt. Wieso ist das so wichtig?**

**Pfeffer:** Es gibt im Fahrzeug eine Vielfalt von Sensoren und verschiedenen Sensortechnologien wie Kamera,

Radars, Lidar oder Ultraschall. Nicht jedes Fahrzeug ist gleich: es gibt viele unterschiedliche Konfigurationen und Kombinationen, und die müssen flexibel im Testsystem abbildbar sein. Darüber hinaus liegt der Fokus auf der Simulationsumgebung; wir brauchen eine realistische Abbildung des Umfelds. Für alle Sensoren müssen deren Eigenschaften detailliert genug abgebildet werden, wie zum Beispiel die Auflösung für die Kamera. Nur durch das Zusammenspiel der Komponenten, also die realistische Simulationsumgebung und die Möglichkeit, alle Sensoren im Testsystem abzubilden, wird es möglich, diese modulare Testplattform zu entwickeln und repräsentative Tests für hochautomatisierte Fahrfunktionen zu erstellen.

**Was ermöglicht das System dem Kunden, was er nicht jetzt auch schon kann?**

**Kannan:** Mithilfe der offenen Integrations- und Testplattform CarMaker kann er Algorithmen für autonome Fahrfunktionen in verschiedenen Reifegraden testen. Wir können den Anwender dabei von Anfang an begleiten und unterstützen. Wenn sich die Algorithmen in der Prototypenphase oder im Softwarestadium befinden, können wir zum Beispiel mithilfe von Model- oder Software-in-the-Loop einen Test ermöglichen. Aber da sich das System bis zum Serienstand weiterentwickelt, können wir Steuergeräte auch mit unserer Umgebung testen – etwa mit Technologien wie „Over-the-Air“ (OTA) oder „Injection“.

**Pfeffer:** Ergänzend dazu bietet das Konzept der Autonomous Drive Emulation (ADE)-Plattform den Vorteil, dass sämtliche abgebildete Komponenten in der Testumgebung OTA getestet werden können. Das betrifft sowohl die Sichtsensoren wie Radar, Kamera und Lidar, aber auch die nicht sichtgebundenen V2X-Systeme. Damit haben wir die Möglichkeit, die vollständige Wirkkette der Sensoren sowohl einzeln als auch im Verbund zu testen, ohne Kompromisse in der Modellierung eingehen zu müssen.

**Können Sie beschreiben, wie die Architektur der Plattform aufgebaut ist?**

**Kannan:** Unsere ADE-Architektur berücksichtigt die Sensor-Emulation mithilfe der CarMaker-Sensormodelle in Echtzeit unter Verwendung der Hardware-Plattform Xpack4. Die Kameraemulation kann über die Video-Interface-Box X, die den Bildsensor emuliert, erfolgen. Die Radarsensorsimulation wird mithilfe eines OTA-Simulators durchgeführt.

Zusätzliche Eingangssignale, die von diesen einzelnen autonomen Fahrzeugreglern benötigt werden – z. B. Fahrgeschwindigkeit oder Gieren und Nicken – können wiederum über das CarMaker-Xpack4-Ökosystem verarbeitet werden. Die Aktuatorssignale

werden über die Echtzeit-Hardware den jeweiligen Subsystemen im Fahrzeugmodell zugeführt. Xpack4 unterstützt hier alle notwendigen Technologien wie CAN-FD, FlexRay oder SOME/IP, das hilft bei der möglichst realitätsnahen Emulation des Fahrzeugaufbaus.

**Welche Vorteile bietet ein derartiger Radar Target Simulator?**

**Pfeffer:** Der komplette Radarsensor kann als eine Art Blackbox betrachtet werden. Es werden also keine Annahmen über das Steuergerät benötigt, die in der Modellierung zum Beispiel zu einer Verfälschung führen könnten. Die Integration der Sensoren in das Testsystem ist damit verhältnismäßig einfach, weil darüber hinaus keine Schnittstelle im Steuergerät benötigt wird. Durch die direkte Verknüpfung der Umfeldsimulation – CarMaker – mit der Keysight Hardware können letztendlich beliebig viele Targets und Objekte dargestellt werden – ohne dass ein mechanischer Ansatz verwendet werden muss. Das ist im Vergleich zu dem leistbaren Umfang, den andere Testsysteme auf dem Markt liefern können, deutlich mehr.

**Welche Rolle spielt die Simulation in diesem Anwendungsfall?**

**Kannan:** Dazu würde ich zunächst gern das Prinzip des Radars erläutern: Für das autonome Fahren ist Radar elementar wichtig. Als Sensor hat er sehr viele Vorteile im Vergleich zu anderen Sensoren, daher ist es essenziell, dass man ihn so detailliert wie möglich testet. Hier spielt die Simulation eine wichtige Rolle, um die Umgebung, die der Radarsensor wahrnimmt, in so einer Form zu emulieren, dass der Radarsensor gut getestet werden kann.

Es gibt herkömmliche Möglichkeiten, mit denen man die Objektliste, die der Radarsensor wahrnimmt, emulieren kann. In diesem Fall ist die Testabdeckung minimal, deshalb kann der OTA-Ansatz sehr gut genutzt werden. Er ermöglicht etwa, die vollständige Signalprozessorkette im Radarsteuergerät zu testen. Bei einer sehr approximierten Simulation in Kombination mit dem

OTA-Ansatz wäre das nicht mehr mit der Realität vergleichbar. Deswegen nehmen wir diesen Aufwand in Kauf, um die Umgebung sehr detailliert zu modellieren – beispielsweise mit realitätsnahen 3D-Modellen für andere Verkehrsteilnehmer. Auch im Radarmodell nutzen wir, unter anderem, den Raytracing-Ansatz, damit wir die Radareigenschaften sehr gut in die Simulation übertragen können, die über den OTA-Ansatz an das Steuergerät übertragen werden.

**Ist es auch möglich Sensormodelle mit verschiedenen Reifegraden einzubinden?**

**Kannan:** Ja, in der Tat. Wir bieten für alle Sensorarten ein ideales, ein funktionales und ein komponentenbasiertes Sensormodell. Wenn wir von ideal sprechen, meinen wir damit die Objektsensoren in unserer Simulationsumgebung – diese sind zum Beispiel für Anwendungen interessant, die einen Rapid Prototyping-Ansatz haben.

Wenn eine Fahrfunktion schnell ausprobiert werden soll und sehr exakte Daten benötigt werden – Ground Truth Daten – ist der Objektsensor geeignet. Die nächste Stufe ist der HiFi-Sensor. Zusätzlich zu den GroundTruth-Informationen bildet er Radarphänomene wie False Positives und False Negatives ab. Dazu kommen Effekte wie Okklusion, die durch andere Objekte wie beispielsweise eine Fahrzeugverkleidung hervorgerufen wird. Diesen Effekt können wir auch mithilfe der Hi-Fi-Sensoren abbilden. Für eine detaillierte Modellierung bieten wir das Radar RSI-Modell an. Dies ermöglicht eine komponentenbasierte Modellierung, das ist zum Beispiel für Komponententwickler sehr interessant.

Beispielsweise kann das Wellenverbreitungsmodell (Wave Propagation) abgebildet werden. Die Details des 3D-Umfelds werden damit auch in der Simulation wahrgenommen; man bekommt also unterschiedliche Reflektionen, etwa von den Rädern oder der Karosserie. Auch Multipath ist beim Radar sehr relevant: entweder hat man eine direkte Reflexion von





einem Target-Fahrzeug, oder eine Multipath-Reflexion, etwa dann, wenn die Radarstrahlen über die Leitplanke reflektiert werden. Diese Effekte können auch im Radar RSI-Modell abgebildet werden. Der Anwender kann also zwischen den drei Sensormodell-Arten für Radaranwendungen wählen. Wir können auch eine Kombination anbieten, etwa aus einem Objektsensor und einem Radar Hi-Fi-Sensor. Das heißt in diesem Fall, die Objekte werden nach Ground Truth-Informationen abgebildet aber der Radarquerschnitt wird im Radar HiFi-Sensor berechnet.

### Welche Vorteile ergeben sich daraus, dass es sich um eine offene Plattform handelt?

**Kannan:** In der Philosophie von IPG Automotive hat eine offene Plattform einen großen Stellenwert. Wenn unsere Kunden ihre eigenen Algorithmen oder Modelle in die CarMaker-Umgebung integrieren wollen, bieten wir die nötige Schnittstelle sowie die Soft- und Hardwareplattform dafür. Die Xpack4-Plattform bietet auch für spezielle Anforderungen die Möglichkeit, externe Hardware in die Plattform zu integrieren.

### Welche technologischen Einschränkungen haben viele bereits verfügbare Sensor-Emulations-Anwendungen?

**Kannan:** Bei der bestehenden Technologie beziehungsweise Emulationsanwendung zum Beispiel den Restbus-Ansatz. Dabei wird die Objektliste für den Radar sehr spät in die Signalprozessierungskette integriert, so wird ein großer Teil der Systeme nicht getestet. Für den Test des Gesamtsystems stellt das einen Nachteil und eine große Einschränkung dar. Das Gegenteil davon ist die OTA-Methode, bei der das gesamte System getestet wird. Es fällt auf, dass vorhandene Systeme auf dem Markt nur sehr wenige Reflexionen oder Objekte simulieren können. Bei einem Radarsensor der aktuellen Generation werden allerdings hunderte von Objekten oder Reflexionen erkannt; wenn wir nur einige wenige Objekte emulieren, spiegelt das nicht die Realität wider.



**Pfeffer:** Ein weiterer Punkt ist, dass bei der Sensoremulation immer auch nachgewiesen werden muss, dass die Emulation tatsächlich valide ist. Abgesehen davon, dass bei der Modellierung von diesen Emulationen, je weiter man physikalische Eigenschaften abbildet, auch zunehmend eine Performancefrage dahintersteht. Irgendwann kann dann auch die Echtzeitfähigkeit der Abbildung nicht mehr gewährleistet werden. Diese Herausforderungen werden in dem Moment umgangen, in dem man die Unit Under Test (UUT) OTA einblendet. Dadurch, dass alle Komponenten physikalisch vorhanden sind, kann man sich sicher sein, dass das, was der Radar macht, auch tatsächlich dem entspricht, wie er sich im realen Fahrzeug verhalten würde. Dadurch ist die Validität des Verhaltens der UUT gegeben.

### Welche Herausforderungen können damit von der Kundenseite aus angegangen werden

**Pfeffer:** Sowohl für OEMs als auch für Tier1s wird Test und Absicherung einzelner Funktionen ermöglicht. Mittels der ADE-Plattform kann aber auch das Zusammenspiel oder die Integration mit anderen Steuergeräten getestet werden. Vom Prinzip her deckt die Plattform alle Möglichkeiten ab, vom Komponenten-HIL bis zum Integrations-HIL.

**Kannan:** Dazu kommt, dass Funktionen des autonomen Fahrens sehr schnell entwickelt werden. Wir sind sozusagen am Anfang des „Booms“ und diese schnellen Entwicklungen müssen auch validiert werden können. Dafür bietet unsere Emulationsplattform die nötigen Werkzeuge.

### Was denken Sie, welches Potenzial die Plattform für zukünftige Anwendungen bringt?

**Pfeffer:** Wir wissen bereits heute, dass der Testaufwand rein auf der Straße mit physischen Prototypen nicht mehr umsetzbar ist. Für hochautomatisierte Fahrfunktionen wären mehrere Milliarden Testkilometer notwendig, was ökonomisch nicht leistbar ist. Insbesondere für höhere Funktionen wie automatisiertes Fahren in der Stadt, also ab Level 3, müssen komplexe Testszenarien geschaffen werden. Diese sind mit einer Plattform wie wir sie hier vorstellen darstellbar und closed-loop durchführbar. Und damit ist für den Test auch eine beliebige Komplexibilität in der Umwelt darstellbar. Mit dieser Plattform haben wir die Möglichkeit, im Hardware-in-the-loop Bereich die Brücke zwischen dem realen Test und der reinen Simulation zu schaffen.

**Vielen Dank, dass Sie sich die Zeit für dieses aufschlussreiche Gespräch genommen haben.**