

Gut gerüstet für vollautonomes Fahren

Geschärfter Radarblick durch Emulation vollständiger Szenen

Das Rennen hat begonnen. Die Vision des vollautonomen Fahrens nähert sich immer mehr der Verwirklichung. Neben der insgesamt verbesserten Effizienz im Straßenverkehr ist die Sicherheit der Fahrer und Passagiere der wichtigste Vorteil selbstfahrender Fahrzeuge. Aktuellen Erhebungen zufolge sterben jährlich weltweit etwa 1,3 Millionen Menschen durch Unfälle im Straßenverkehr ¹. Die US-amerikanische NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) gibt an, dass 94 % aller schweren Unfälle durch menschliche Fehler zustandekommen ².



Abbildung 1: Der NHTSA zufolge entstehen 94 % aller Unfälle im Straßenverkehr durch menschliche Fehler

¹ Road Traffic Injuries. Weltgesundheitsorganisation, 21. Juni 2021.

<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>.

² Automated Vehicles for Safety. National Highway Traffic Safety Administration, undatiert

<https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety>.

Autonomes Fahren – die nächste Stufe

Wie wäre es, wenn wir die Sicherheit verbessern und das Risiko von Unfällen im Straßenverkehr reduzieren könnten? Wenn wir den menschlichen Faktor aus der Gleichung ausschließen könnten? Gutachten zufolge könnte autonomes Fahren die Zahl der Verkehrstoten um ganze 90 % reduzieren ³. Außerdem würde es durch Verkehrsunfälle verursachte Kosten in Milliardenhöhe einsparen.

Hochentwickelte Fahrassistenzsysteme (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS) in Serienfahrzeugen haben die Automatisierungsstufen 2+ bis 3 der SAE International erreicht. Hierbei muss der Fahrer in den meisten Verkehrssituationen immer noch selbst das Fahrzeug steuern (Abbildung 2). Viele Hersteller (Original Equipment Manufacturers, OEM) und Branchenexperten sind der Meinung, dass unsere Straßen sicherer werden, wenn wir die Stufen 4 und 5 erreichen (Fahrzeuge der Stufe 5 funktionieren ohne jegliche menschliche Interaktion). Doch der Weg dorthin ist mit besonderen Herausforderungen gepflastert, die weitere technische Fortschritte erfordern.



Abbildung 2: Stufen des autonomen Fahrens laut SAE (Quelle: SAE International)

Um die nächste Stufe des autonomen Fahrens zu erreichen, muss die Fahrzeugbranche technische, soziale, rechtliche und behördliche Bedenken überwinden. Viele dieser Probleme liegen zwar außerhalb ihres Einflussbereichs, doch technische Aspekte sind ein Gebiet, auf dem die Automobilindustrie und die Fahrzeughersteller selbst Fortschritte herbeiführen können. Sie können die Radarsysteme, LIDAR, Kameras und sonstige Sensoren kleiner, widerstandsfähiger und kostengünstiger machen und gleichzeitig ihre Detektions- und Erkennungssoftware verbessern. Beim Training dieser Algorithmen gibt es zwei Hindernisse, die möglichen Verbesserungen im Weg stehen.

³ „7 Benefits of Autonomous Cars“. Thales Group. Letzte Aktualisierung Januar 2021.
<https://www.thalesgroup.com/en/markets/digital-identity-and-security/iot/magazine/7-benefits-autonomous-cars>.

Die Diskrepanz zwischen der Straße und Softwaresimulationen

Fahrzeughersteller testen Sensoren und Steuermodule heutzutage in simulierten Umgebungen mit SIL-Systemen (Software in the Loop). Softwaresimulationen sind wertvoll, können aber die wirkliche Welt, in der Sensoren nicht immer fehlerfrei reagieren, nicht vollständig abbilden. Vollständig autonome Fahrzeuge müssen mit diesen potenziellen Fehlern umgehen können.

Durch Testfahrten mit dem gesamten integrierten System in Prototypen oder in zugelassenen Fahrzeugen können die Hersteller das Endprodukt vor der Markteinführung in der Praxis erproben. Zwar sind Testfahrten ein wichtiger Teil des Entwicklungsprozesses, doch wegen der Kosten, dem erforderlichen Zeitaufwand und der Herausforderung der Reproduzierbarkeit ist es unrealistisch, sich völlig auf sie zu verlassen. Mit dieser Methode würde es Jahrhunderte dauern, bis Fahrzeuge so zuverlässig werden, dass sie in der Stadt und auf Überlandfahrten immer zu 100 % sicher sind.

Algorithmus-Training für ADAS und autonomes Fahren nicht unter realistischen Bedingungen möglich

Das Testen des Fahrzeugradars ist entscheidend, um Algorithmen für das autonome Fahren zu trainieren. Diese Algorithmen entscheiden anhand von Daten der Fahrzeugsensoren, welche Reaktion in der jeweiligen Fahrsituation erfolgen soll. Wenn sie nicht angemessen trainiert werden, können sie unerwartete Entscheidungen treffen und die Sicherheit des Fahrers, der Passagiere oder der Fußgänger gefährden. Die Hersteller können nur genügend Anwendungsfälle für autonomes Fahren testen, wenn ihre Fahrzeuge nicht mehr eine Handvoll Ziele anpeilen, sondern die gesamte Umgebung auf einer Bildfläche erfassen. Die tatsächliche Praxis muss an die Stelle der sterilen Theorie treten.

Ein Fahrer hat viele Entscheidungen zu treffen. Es braucht Zeit und Erfahrung, um ein guter Fahrer zu werden. Für die nächste Stufe des autonomen Fahrens sind komplexe Systeme nötig, die mehr können als die besten menschlichen Fahrer. Nur eine Kombination aus Sensoren, raffinierten Algorithmen und leistungsstarken Prozessoren kann autonomes Fahren möglich machen. Während die Sensoren die unmittelbare Umgebung beobachten, müssen die Prozessoren und Algorithmen im Hintergrund die richtigen Entscheidungen treffen (zum Beispiel um die Verkehrsregeln einzuhalten) – und dies unter allen Umständen in geringerer Zeit als menschliche Fahrer.

Die neuen ADAS-Funktionen müssen immer zuverlässig sein. Voreilige Testfahrten mit einem unausgereiften System sind gefährlich. Die Fahrzeughersteller müssen realistische Szenarien emulieren, um die Sensoren, den Code der elektronischen Steuereinheit und die KI-Logik vor dem Einsatz zu testen. Wenn sie mehr Szenarien in kürzerer Zeit testen, können sie leichter beurteilen, ob die Testphase für die ADAS-Funktionen abgeschlossen werden kann.

Diskrepanzen beim Testen und Validieren autonomer Fahrzeuge

Die derzeit verwendeten Testsysteme sind nicht allen Herausforderungen gewachsen. Die Anzahl der Ziele ist begrenzt, Objekte in nächster Nähe lassen sich nicht emulieren und die Unterscheidung zwischen Objekten fällt oft schwer.

Begrenzte Anzahl von Zielen und eingeschränktes Sichtfeld

Manche Systeme arbeiten mit mehreren Radarziel-Simulatoren (Radar Target Simulators, RTS), die jeweils punktuell von den Radarsensoren angepeilt werden, und die horizontale und vertikale Position mit mechanisch bewegten Antennen emulieren (Abbildung 3). Die mechanische Automatisierung kostet beim Testen viel Zeit. Außerdem ändert sich bei jeder Bewegung der Antennen der Einfallswinkel (Angle of Arrival, AoA) des Echos. Ohne Neuberechnung bzw. –kalibrierung kann dies zu Fehlern und Genauigkeitsverlusten bei der Darstellung der Ziele führen.

Eine andere Möglichkeit ist der Einsatz mehrerer HF-Frontends pro RTS, wobei jedes Objekt eine Verzögerungsleitung erhält. Wenn mehrere Objekte auf der Bildfläche sind, enthält der Testaufbau eine größere Zahl an HF-Frontends, zwischen denen nach Bedarf gewechselt wird. Dadurch können Objekte überall auf der Bildfläche generiert, aber beispielsweise keine Ziele auf einander gegenüberliegenden Seiten emuliert werden.

Bei diesen beiden Optionen (mechanischen Bewegungen des RTS und dem Hin- und Herschalten zwischen mehreren HF-Frontends) entstehen Diskrepanzen. Die nicht erkannten Objekte auf der Bildfläche sind in Abbildung 3 mit X gekennzeichnet. Beim Testen von Radargeräten mit einer begrenzten Zahl an Objekten entsteht ein unvollständiges Bild der Fahrsituationen und die Komplexität der Wirklichkeit wird nicht abgebildet. Dies gilt vor allem für Stadtfahrten mit vielen Kreuzungen und Abbiegemöglichkeiten für Fußgänger, Radfahrer und E-Roller.

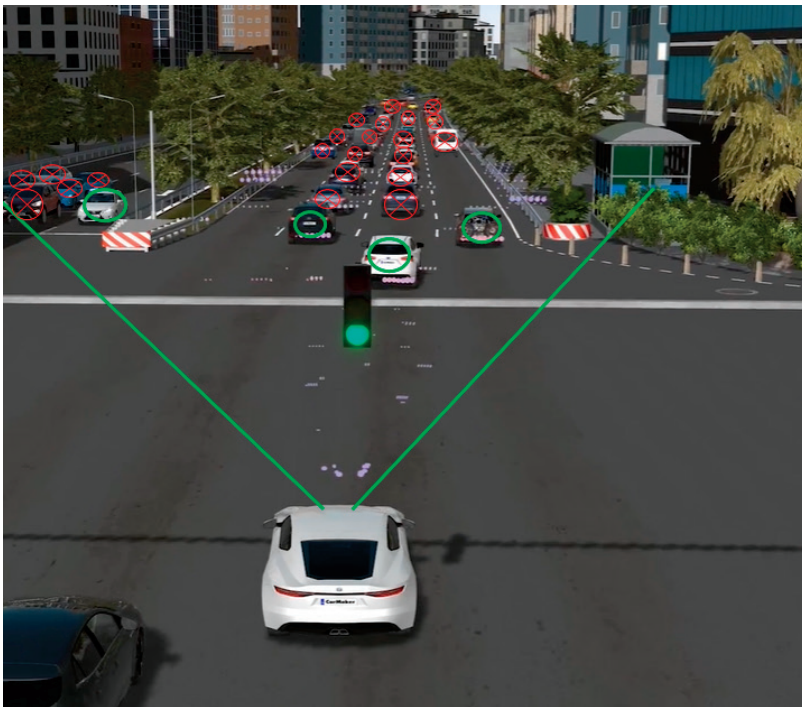


Abbildung 3: Beispiel für eine Szene mit begrenzter Zahl an RTS oder Radar-Frontends

Keine Objekte mit weniger als 4 Metern Entfernung

Derzeit können Radarziel-Simulatoren keine Objekten in weniger als 4 Meter Entfernung generieren. Manchmal sind sogar nur noch größere Entfernungen möglich. Dadurch entsteht ein „blinder Fleck“ vor der Stoßstange des Fahrzeugs. Bei vielen Testfällen (wie zum Beispiel den NCAP-Bewertungsprogrammen für Neuwagen) müssen Objekte in direkter Nähe zum Radar emuliert werden. Ein Beispiel hierfür sind automatische Notbremssysteme. Sie treten in Aktion, wenn Hindernisse auf der Straße gefährlich nahe sind. Derzeit sind auf dem Markt nur Lösungen erhältlich, die Objekte im Abstand von 4 Metern oder mehr simulieren (Abbildung 4).

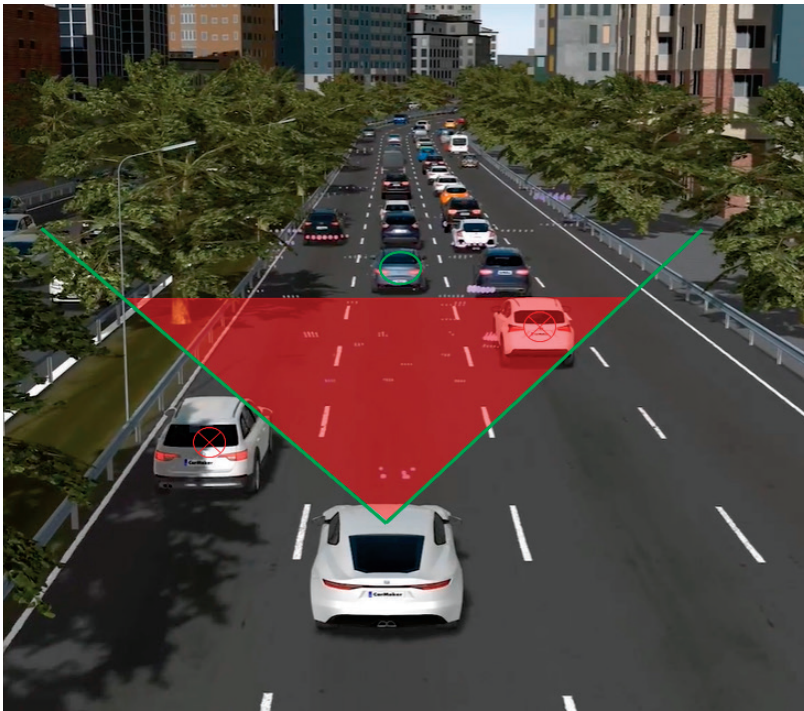


Abbildung 4: Wenn es vor dem ersten emulierten Fahrzeug einen großen toten Winkel gibt, können keine Notbremsszenarien getestet werden

Geringere Auflösung zwischen Objekten

Bei älteren Radartechnologien wurden Objekte als Punktziele wahrgenommen. Daher fand der räumliche Aspekt eines erkannten Objektes keine Berücksichtigung. Die Objekte wurden stattdessen so behandelt, als versammelte sich die gesamte reflektierte Energie in einem einzelnen Punkt. Hier kommt das Prinzip des Radarquerschnitts ins Spiel. Er konvertiert die Energiedichte, die das Ziel erreicht, in die reflektierte Energie, und kombiniert räumliche Ausdehnung, Form und Reflexionsfähigkeit des Ziels zu einer einzigen Zahl. Diese Methode ist aber nur sinnvoll, wenn das Ziel als Einzelpunkt behandelt werden kann. Da sich Ziele oft nahe beieinander befinden, können die Fahrzeugradarsysteme räumliche Eigenschaften von Objekten heutzutage nur durch eine hohe Winkelauflösung erkennen.

Die Zielsimulatoren, die derzeit auf dem Markt sind, eignen sich nur für ältere Radarsensoren. Sie sind so konstruiert, dass sie immer nur ein Objekt als eine Radarsignatur verarbeiten. Dadurch werden nicht alle Details der Szene abgebildet.

Entscheidende technologische Fortschritte

Die Emulation der gesamten Szene im Labor (Full-Scene-Emulation) ist entscheidend für die Entwicklung zuverlässiger Radarsensoren und Algorithmen. Nur so lassen sich die für das vollständig autonome Fahren erforderlichen ADAS-Funktionen realisieren. Der erste Full-Scene-Emulator, den Keysight auf den Markt gebracht hat, kombiniert Hunderte winziger HF-Frontends zu einem skalierbaren Emulationsschirm, der bis zu 512 Objekte in einer Entfernung ab 1,5 Meter darstellen kann.

Diese Lösung war in mehrfacher Hinsicht ein Durchbruch:

- ein einzelner HF-Frontend im Miniaturformat (Abbildung 5a)
- acht HF-Frontends auf einer Platine (Abbildung 5b)
- Emulationsschirm aus 64 im Halbkreis angeordneten Platinen (Abbildung 6)

Zu diesen Neuerungen bei der HF-Hardware kommen in gleichem Maße auch Software-Innovationen hinzu. Diese verhindern, dass das getestete Gerät (Device under Test, DUT) Phantomobjekte in weniger als 1 m Abstand erkennt und an die 3D-Bildverarbeitungssoftware meldet, die für die Darstellung auf dem Schirm zuständig ist.

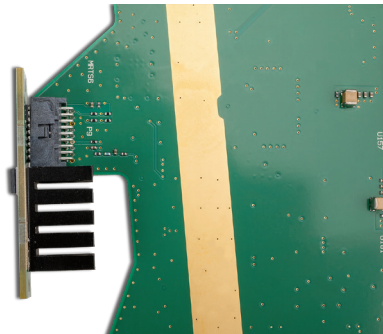


Abbildung 5a: Nahaufnahme eines neuen HF-Frontend mit ASIC-Technologie von Keysight

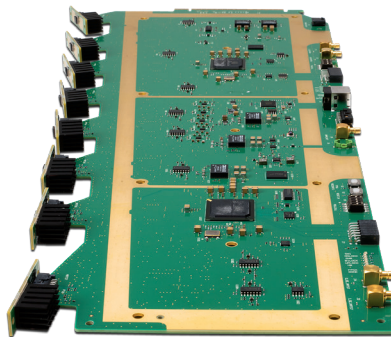


Abbildung 5b: Eine Platine mit 8 HF-Frontends

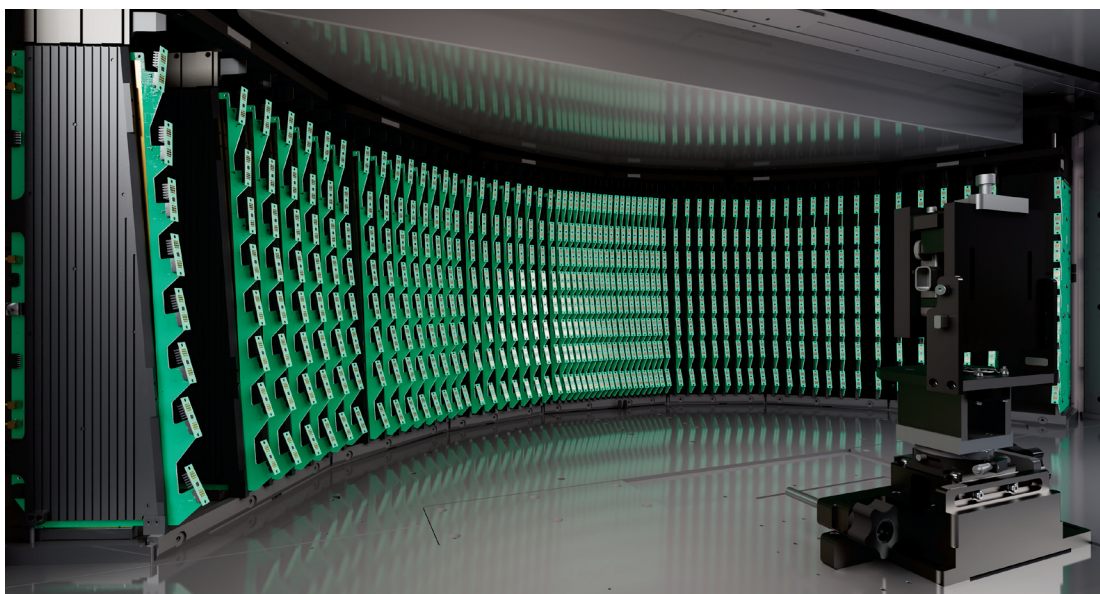


Abbildung 6: Animiertes Rendering eines Schirms aus 64 Platinen mit HF-Frontends

Mehr Objekte in einer Szene

Die innovative Technologie des Radar Scene Emulator von Keysight vollzieht den Wechsel von der Objekterkennung durch Zielsimulation hin zu einer Emulation der Szene in einer Verkehrssituation (Abbildung 7).

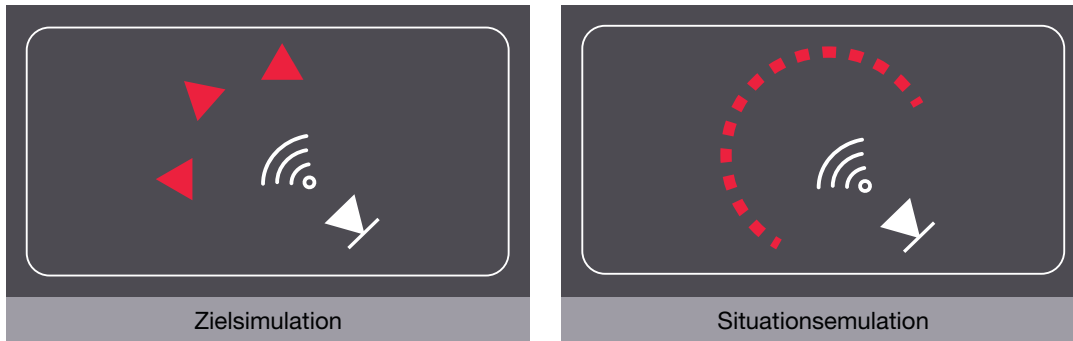


Abbildung 7: Vergleich zwischen Ziel- und Szenensimulation

Die Lösung emuliert komplexe Szenarien mit gleichzeitig auftretenden Objekten in hoher Auflösung, einem breiten Sichtfeld und einer extrem geringen Mindestentfernung für die Objekterkennung. Dies wird durch kompakte, auf engstem Raum angeordnete HF-Frontends ermöglicht.

Diese Miniatur-„Pixel“ sind grundsätzlich nicht für den Radarsensor sichtbar. Sie werden durch 3D-Simulationssoftware aktiviert und treten an die Stelle der mechanischen Bewegungen. Jedes Pixel in einem Array emuliert die Entfernung eines Objekts und die Stärke des Echos (Abbildung 8).

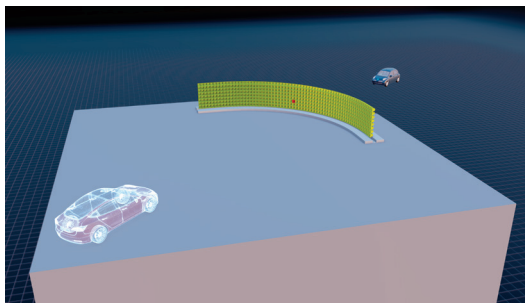


Abbildung 8: Jedes Pixel auf der Wand steht für die Entfernung, Geschwindigkeit und Echostärke eines Objekts

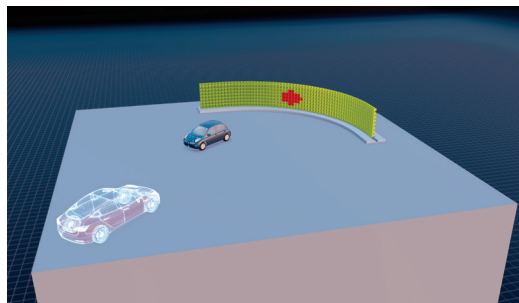


Abbildung 9: Je nach Abstand zum DUT kann ein Objekt auch durch mehrere Pixel dargestellt werden. Dann zeigt es sich in höherer Auflösung mit mehr Punkten pro Objekt

Je nach Größe und Abstand vom DUT kann ein Objekt durch mehrere Pixel dargestellt werden (Abbildung 9). Mehrere Objekte, die in größerer Entfernung nahe beieinander erscheinen, werden bei der Annäherung voneinander getrennt.

Breiteres zusammenhängendes Blickfeld

Der Radar Scene Emulator von Keysight verbessert mit einem breiteren, zusammenhängenden Blickfeld (Field of View, FOV) und Unterstützung für Ziele in kurzer und weiter Entfernung die Objekterfassung von Radarsensoren. Er eliminiert dadurch tote Bereiche in der Radarerfassung und verbessert die Trainingsmöglichkeiten für Algorithmen zur Erkennung und Unterscheidung mehrerer Objekte, die in komplexen Szenen dicht beieinander liegen. Dadurch trifft das autonome Fahrzeug Entscheidungen anhand der Gesamtsituation, nicht nur auf dem, was die Testgeräte zulassen.

Die Technologie von Keysight deckt das gesamte FOV des Sensors ab, um eine bessere Testabdeckung zu erzielen und umfassende, raffiniertere Testszenarien als die anderen Lösungen auf dem Markt zu ermöglichen. Mit bis zu 512 Pixelobjekten und dem durchgängigen FOV mit $\pm 70^\circ$ Azimut- und $\pm 15^\circ$ Höhenwinkel kann die Erkennungssoftware von Radarsensoren gründlich trainiert werden. Die 512 HF-Frontends sind statisch im Raum angeordnet. Dies ermöglicht eine reproduzierbare und präzise AoA-Validierung.

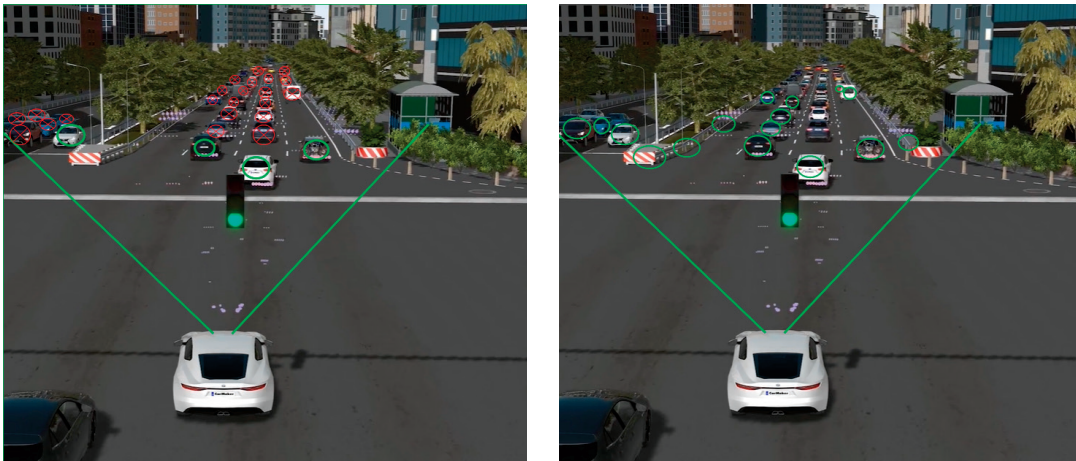


Abbildung 10: Die rechte Seite zeigt, welche Objekte im FOV des Fahrzeugs mit dem Radar Scene Emulator abgebildet werden

Geringerer Mindestabstand

Damit die Verkehrssituationen realistisch sind, müssen Objekte in sehr kleiner Entfernung zum Radargerät emuliert werden. Zum Beispiel können an einer Ampel, wenn die Fahrzeuge weniger als 2 m voneinander entfernt sind, Fahrräder in die Spur einscheren oder Fußgänger unerwartet die Straße überqueren. Diesen Test müssen die Sicherheitsfunktionen von ADAS und autonomen Fahrzeugen zwingend bestehen. Der Radar Scene Emulator von Keysight hat einen Emulationsbereich von 1,5 m bis 300 m bei Geschwindigkeiten von 0 bis 400 km/h.

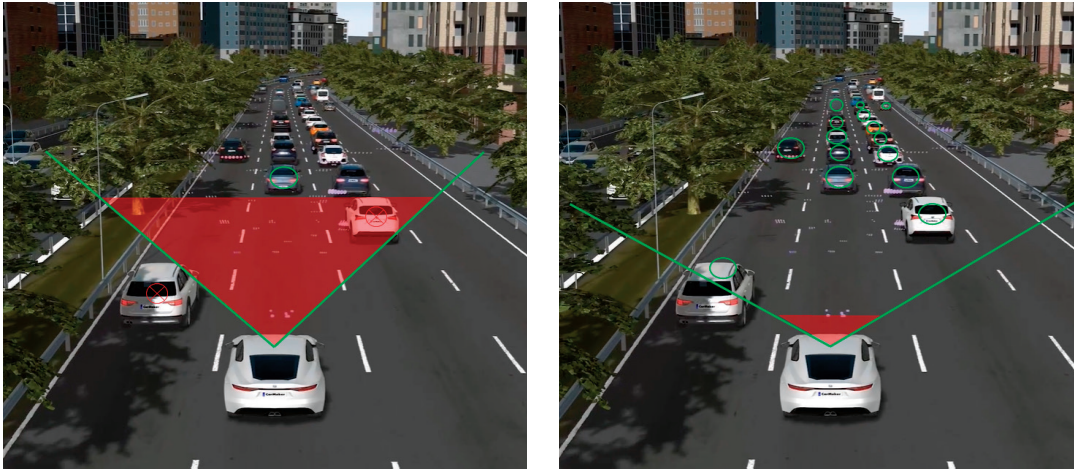


Abbildung 11: Der Mindestabstand zum ersten erkannten Objekt auf der Bildfläche ist rechts wesentlich geringer. Dadurch verbessert sich die Sicherheit erheblich. Die Reduzierung des blinden Bereichs vor den vorderen Radarsensoren eröffnet bei den Validierungstests für ADAS-Funktionen eine Welt voll neuer Möglichkeiten.

Bessere Auflösung für alle Objekte

Die Fähigkeit, zwischen verschiedenen Hindernissen auf der Straße zu unterscheiden, ist ein anderer Schwerpunkt bei den Tests, die einen reibungslosen und schnellen Übergang zum autonomen Fahren der Stufen 4 und 5 ermöglichen sollen. Beispielsweise muss der Erkennungsalgorithmus des Radars bei Autobahnfahrten die Leitplanke von einem Fußgänger unterscheiden können.



Abbildung 12: Wenn mehrere Punkte ein Objekt darstellen, enthält die Szene mehr nützliche Informationen

Keysight löst dieses Problem durch eine Punktwolke, in der jedes einzelne Objekt eine höhere Auflösung hat. Dadurch sind mehr Einzelheiten der Szene auszumachen und die Fahrzeughersteller können sicher sein, dass der getestete Algorithmus zwischen zwei nahe beieinanderliegenden Objekten unterscheidet. Während herkömmliche RTS unabhängig von der Entfernung immer eine Reflexion zurückgeben, erhöht sich beim Radar Scene Emulator mit Abnahme der Entfernung die Anzahl der Reflexionen. Dies wird auch als dynamische Auflösung bezeichnet. Das heißt, dass die Anzahl der Objekte unter Umständen von der Entfernung abhängt.

Mehr Szenarien in kürzerer Zeit testen

Mit dem Radar Scene Emulator können Fahrzeughersteller problemlos Wahrnehmungs- oder Verhaltensfehler in ihrer ADAS-Software erkennen. Die dynamische Auflösung und die realistische Darstellung naher Objekte als mehrere, voneinander getrennte Ziele machen dies möglich. Auf diese Weise können Fahrzeughersteller im Labor komplexe und realistische Szenarien aufbauen – auch solche mit großen, planaren Objekten. Die Lösung umfasst ein breites Spektrum unterschiedlicher Szenarien, unter anderem Gefahrensituationen und selten auftretende Fälle. Dadurch können Fahrzeughersteller potenzielle Probleme schneller erkennen und Fehler ihrer Produkte nach der Markteinführung vermeiden.

Realistische Komplexität testen

Radarsensoren mit einer beschränkten Zahl an Zielen zu testen, ergibt ein unvollständiges Bild der Verkehrsszenarien und verschleiert die tatsächliche Komplexität der wirklichen Welt. Mit dem Radar Scene Emulator können Fahrzeughersteller realistische Verkehrsszenarien bei unterschiedlichsten Umweltbedingungen, Verkehrssituationen, Geschwindigkeiten, Abständen und Mengen an Zielen emulieren. Sie können die Testphase (einschließlich aller häufig und selten auftretenden Fälle) schneller abschließen und dadurch die Risiken minimieren.

Schnelleres Lernen

Der Radar Scene Emulator bietet eine deterministische und realistische Umgebung für Labortests mit komplexen Situationen, wie sie heutzutage für Fahrzeugtests erforderlich sind. Diese Testmethode ist eine Branchenneuheit, mit der Fahrzeughersteller die Lernfortschritte der Algorithmen für ihre ADAS-Systeme und autonomen Fahrzeuge erheblich beschleunigen können. Dies geschieht durch komplexe und reproduzierbare Abläufe, eine hohe Dichte an stationären und/oder beweglichen Objekten, verschiedene Umweltbedingungen (all dies in beliebiger Kombination) und die Beseitigung von Effizienzeinbußen durch manuelle oder robotergesteuerte Automatisierung.

Zuverlässigere Verifikation der ADAS-Funktionen

Automobilunternehmen wissen um die Komplexität der Tests für autonome Fahralgorithmen und die damit verbundene Sicherheitsproblematik. Der Radar Scene Emulator ist ideal für Entwickler, die beim autonomen Fahren der Sicherheit Vorrang geben. Er beschleunigt das Testen der Radarsensoren von Fahrzeugen durch eine hochkomplexe Darstellung von mehreren Zielen in einer Szene und die Full-Scene-Emulation naher und entfernter Ziele in einem breiten, durchgängigen FOV.

Der Radar Scene Emulator ist Teil der ADE-Plattform (Autonomous Drive Emulation) von Keysight, die das Ergebnis einer mehrjährigen Zusammenarbeit mit IPG Automotive und Nordsys ist. Die ADE-Plattform emuliert eine Synchronisierung der Verbindungen zu allen relevanten Sensoren im Fahrzeug, zum Beispiel zum globalen Satelliten-Navigationssystem, zu V2X, zur Kamera und zum Radar, in einem einzigen System. Da ADE eine offene Plattform ist, können die Fahrzeughersteller und ihre Partner sich nunmehr auf die Entwicklung und Erprobung ihrer ADAS-Systeme und Algorithmen (zum Beispiel für die Sensorfusion und Entscheidungsfindung) konzentrieren. Sie können die Plattform mit kommerziellem 3D-Modelling, HIL-Systemen (Hardware in the Loop) und bereits vorhandenen Test- und Simulationsumgebungen integrieren.

Der Radar Scene Emulator von Keysight und die ADE-Plattform sind für Fahrzeughersteller die ideale Lösung, um auf dem Weg zum voll autonomen Fahren neue ADAS-Funktionen zu implementieren.



Abbildung 13: Radar Scene Emulator AD1012A von Keysight

Setzen Sie Ihre Mobilitätsvision um

Wir von Keysight sind der Meinung, dass sich ein höherer Grad an Autonomie nur erreichen lässt, wenn die Diskrepanz zwischen Simulationen und Testfahrten durch die integrierte Emulation realistischer Fahrbedingungen überwunden wird. Sie müssen Entscheidungen über autonome Fahrzeug- und ADAS-Software auf Grundlage der Gesamtsituation anstatt auf Grundlage einzelner Messdaten treffen. Mit dem Radar Scene Emulator von Keysight erreichen Sie Ihre Vision für ADAS und das autonome Fahren der nächsten Generation schneller und mit weniger Risiko.

Weitere Informationen finden Sie unter www.keysight.com/find/DiscoverRSE.

Weitere Informationen unter www.keysight.com

Für weitere Informationen über unsere Produkte, Anwendungen und Services wenden Sie sich bitte an die nächstgelegene Keysight Niederlassung.

Eine vollständige Liste finden Sie unter:

www.keysight.com/find/contactus

