

Absicherung von Radarsensoren in Prototypenanwendungen

Verlustfrei Daten konvertieren



(Bild: temp-64GTX/stock.adobe.com)

Zur Absicherung von Radarsensoren ist die integrale, zeitsynchrone Aufnahme von Rohdaten des Radars – zusammen mit Busdaten im Fahrzeug – von entscheidender Bedeutung. Der Automobilzulieferer Hella realisiert die optimale Datenaufnahme seiner Radarsysteme in ADAS-Testaufbauten mit Individualentwicklungen von b-plus.

Von Tobias Geiger und Georg Vogl

Fahrerassistenzsysteme sind längst nicht mehr nur in Oberklassefahrzeugen zu finden. Seit Juli 2022 sind Assistenzsysteme für neu entwickelte Fahrzeuge Pflicht. Dabei handelt es sich um Sicherheitsfeatures, ohne die es keine Typzulassung in der EU gibt, wie Bremsassistenten, Spurhalteassistenten und Müdigkeitswarnsysteme. Ab 2024 müssen diese und weitere Fahrerassistenzsysteme im Pflichtpaket in allen Neuwagen verfügbar sein. Der zur Dachmarke Forvia gehörende Zulieferer Hella zählt zu den führenden Anbietern von Radartechnologie für automatisierte Fahrfunktionen und ist in diesem Bereich seit mehr als einem Jahrzehnt aktiv.

Assistenzsysteme werden durch eine große Anzahl an Sensoren realisiert. Sie werden über das Kommunikationsnetzwerk des individuellen Fahrzeugs mit Roh- und Busdaten gefüttert und zunehmend zentralisiert gesteuert. Die Menge und Vielfalt an Daten, die durch ein solches Netzwerk fließen, ist komplex und bedarf bei ersten Prototypenanwendungen und Testverfahren vor Erreichen der Serienreife verschiedenster Konvertierungsmaßnahmen. Dies ist notwendig, um eine verlustfreie Datenaufnahme und -übertragung für die verbaute Messtechnik im Fahrzeug zu ermöglichen – so auch für die Radare von Hella. Der Automobilzulieferer arbeitet bei

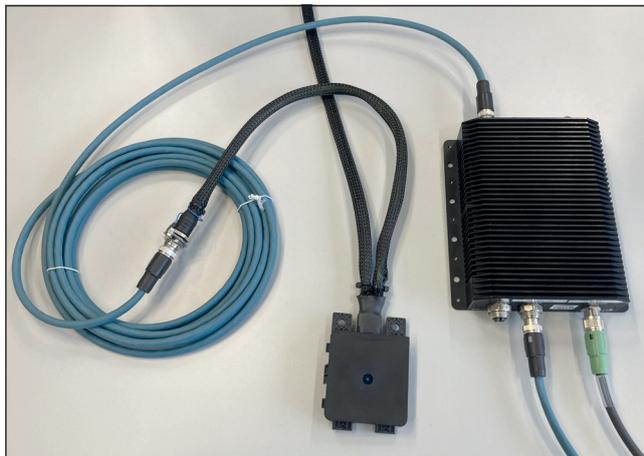


Bild 1. Test-Setup bestehend aus Messdatenkonverter und Sensor mit Sensor-Connector-Board. (Bild: Hella)

der Entwicklung und Validierung seiner Radare mit Messtechnikadaptern von b-plus. Als einer der größten Spezialisten für Validierungs- und Analysetools im ADAS/AD-Sektor bietet b-plus kundenspezifische Lösungen rund um die Messtechnik für den datengetriebenen Strom im Testfahrzeug an. Die Validierung von Sensoren mit hohem Qualitätsanspruch wird ab der Konzeptionsphase bis zur Implementierung in die Serien unterstützt und begleitet.

Auskopplung, Konvertierung und Übergabe von Datenströmen

Der Grundstein der Entwicklung von Steuergeräten ist der Gewinn von dezentralen Messdaten aus Sensoren wie Radaren und deren dedizierte Analyse. Die Sensordaten, bestehend aus Roh- und Busdaten, werden während Testfahrten gesammelt und aus den Sensoren wie Kamera, Radar und der ECU abgegriffen. Diese Messdaten werden für Software-in-the-Loop (SiL), Hardware-in-the-Loop (HiL) und weitere Testverfahren benötigt, um die Fahrfunktionen zu optimieren.

Radarsensoren im ADAS-Umfeld werden aktuell vor allem genutzt, um Abstand, Geschwindigkeit und Winkel zu messen. Ein Beispiel sind Fahrerassistenzsysteme wie Adaptive Cruise Control (ACC), die den Abstand des Fahrzeugs zum vorausfahrenden Fahrzeug regeln. Damit einhergehend kommt Radar auch beim Notbremsassistenten zum Einsatz, der die Gefahrensituation der abrupten Abstandsverringerung oder das Auftauchen eines anderen Verkehrsteilnehmers erkennt und eine Notbremsung einleitet.

Für ein vollständig abgesichertes Radarsystem, das mehrere Teststufen durchlaufen muss, ist es unabdingbar, zur Weiterentwicklung qualitativ hochwertige Fahrdaten einzufahren. Bei seinem Testfahrzeug implementierte der

Automobilzulieferer in seinen Versuchsaufbau sechs Radarsensoren, jeweils einen in jedem Fahrzeug-Corner. Der Datenlogger befand sich dabei im Kofferraum, was eine größere Distanz der Sensoren zum Messgerät bedeutete. Dank eines vorab durchgeführten Proof-of-Concepts stellte dies keine große Herausforderung dar, da hierbei die Signalstrecke getestet und ausgemessen wurde.

Um die Signalstrecke im Fahrzeug auf fünf Meter erweitern zu können, wurde für den Radarsensor ein spezielles Sensor-Connector-Board mit verbautem LVDS-Repeater entwickelt. Dieses wurde am Radar durch einen Steckverbinder in der Mechanik angebracht. Der längere Übertragungsweg der aufgezeichneten Sensordaten konnte durch die Kombination des Sensor-Connector-Boards und des Messdatenkonverters mit hoher Bandbreite verlustfrei und mit sehr guter Signalqualität vom Radar zum Logger transportiert werden. Die dabei verwendete MDI(Measurement-Data-Interface)-Technologie des MDILink dient der verlustfreien Auskopplung und Konvertierung von Daten speziell für die Sensor-/Steuergeräte-Entwicklung im Umfeld des hochautomatisierten Fahrens. Sie kann direkt am Steuergerät oder im Kofferraum des Messtechnik-Set-ups integriert werden (Bild 1).

Vom Radarsignal zum Ethernet-Paket

Die erfassten Rohdaten aus Radardaten wie im Anwendungsfall von Hella gilt es für die Analyse auszukoppeln. Zunächst werden die analogen Sensordaten als Bytestream empfangen. Sie werden deserialisiert und mithilfe eines Algorithmus in ein Ethernet-Protokoll konvertiert. Neben Protokollen wie CSI oder CAN gibt es das von Xilinx entwickelte Link-Layer Aurora-Protokoll, das im Beispiel für serielle Highspeed-Kommunikation verwendet wurde. Die konvertierten Daten

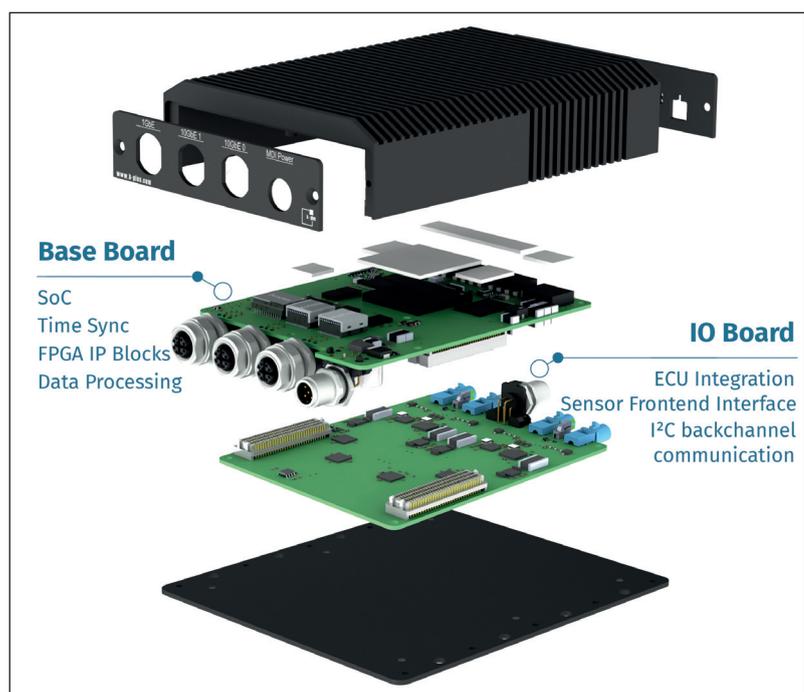


Bild 2. Der Messdatenkonverter MDILink mit Basis-Board und IO-Board. (Bild: b-plus)

werden anschließend über ein 10G-Ethernet-Interface auf ein Datenrekorder-System transferiert.

Die Konvertierung von Radardaten zu Ethernet-Paketen folgt keinem festgelegten Standard. Es kommt ganz darauf an: Welches Dateiformat, Signal und Protokoll liegt dem Messdatenkonverter vor? Über welche Schnittstellen müssen die Daten laufen und in welcher Konstellation werden die Daten für die optimale Weiterverarbeitung benötigt? Mit dem passgenauen Messdatenkonverter von b-plus, der kundenoptimiert für Hella entwickelt wurde, wird das integrale Recording ermöglicht und dem Kunden die Spezialentwicklung zur Messdatenkonvertierung abgenommen.

Der Messdatenkonverter ist für große Bandbreiten konzipiert und kann somit mehrere Sensoren mit nur einem Gerät bedienen. Eine flexible Anpassung an verschiedene Schnittstellen bei speziellen Anwendungsfällen, wie beispielsweise dem Aurora-Interface mit individualisierten IO- und FPGA-Boards, kann dank des modularen Konzepts problemlos erfolgen. Auch die physikalische Anpassung an den gewählten Sensorchip ist möglich.

Das Testsystem erhält Daten vom Radar über AGBT (Aurora Gigabit Trace) und CAN-FD-Schnittstellen. Dabei nimmt der MDILink in diesem Fall keinen aktiven Part im Fahrzeug-CAN-Netzwerk ein, um funktionelle Sicherheitslücken zu vermeiden. In diesem Stadium der Datenübermittlung nutzt

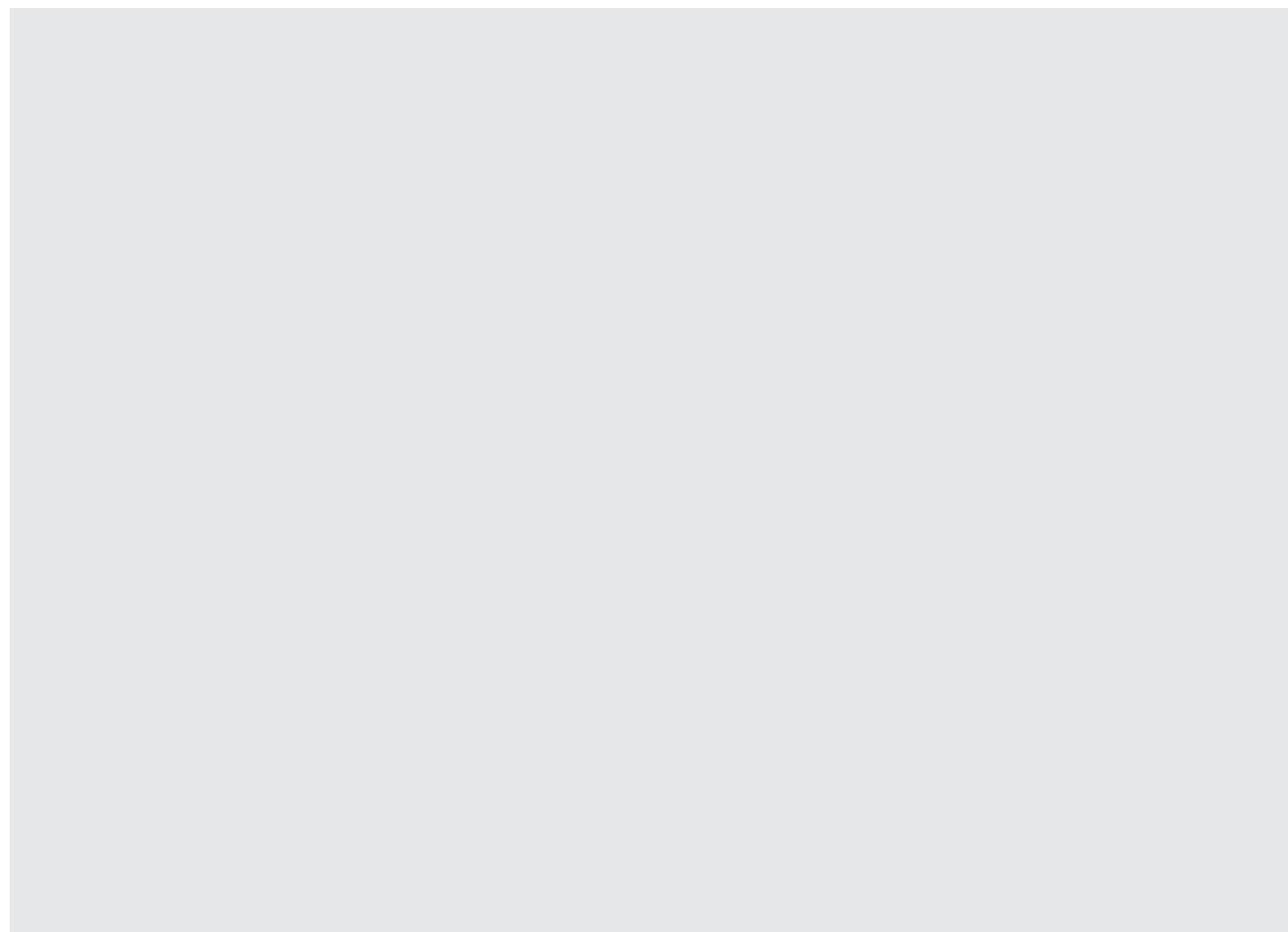
er nur einen TX-Pfad, um im TAP-Modus den Rohdatenstrom auszukoppeln.

Auf die Nanosekunde genau

Acht Nanosekunden – das ist die Genauigkeit, mit der die erfassten Messdaten auf dem MDILink zeitgestempelt werden. Nur so ist es möglich, dezentral erfasste Messdaten valide zu nutzen.

Die Notwendigkeit entsteht aus den zeitlichen Verzögerungen, die sich während des Transports der Datenpakete vom Sensor über Softwareblöcke bis hin zum Messadapter oder Ethernet Switch ergeben. Die daraus resultierenden Übertragungsverzögerungen und das prozessbedingte zeitliche Taktzittern (Jitter) beeinflussen die Datenqualität. Daher ist es wichtig, Testdaten bereits sehr früh, noch vor dem Transportweg zum Rekorder und nahe am Sensor, mit einem zeitlichen Stempel zu versehen. Erst dann beginnt die Konvertierung und Übertragung in den Datenrekorder via Ethernet. Das bildet die Basis für sicherheitskritische Anwendungen dieses Multisensorsystems.

Durch das zeitsynchrone Recording von Bus- und Rohdaten können die hochgenauen Daten im Anschluss in einer Testumgebung, wie zum Beispiel in Hardware-in-the-Loop-Systemen, analysiert und optimiert werden. Auch die Daten



aus Multisensorsystemen können exakt parallel gekennzeichnet und fusioniert werden. So können Abhängigkeiten verschiedener Faktoren identifiziert und Assistenzsysteme weiterentwickelt werden.

Hohe Individualisierung bei vordefinierten Set-ups

In frühen Entwicklungsstadien werden sehr selten bereits standardisierte Technologien verwendet. Gerade in der Vorentwicklung von Radarsystemen ist daher nahezu immer die Umwandlung in Standardformate notwendig. Im beschriebenen Anwendungsfall wurde das MDI mit einem kundenoptimierten IO-Board sowie FPGA-Board zur sensornahen Datenausleitung über das Aurora-Protokoll angepasst. Mithilfe von Aurora und MCDS (Multi-Core Debug Solution) wurden die Testdaten auf Ethernet übertragen. Auch hier fungierte der MDILink als verlässlicher Mediaconverter und transformierte die Datenmenge mit gleichbleibender Qualität und exakter Zeitstempelung. Die Daten wurden ideal für die weiteren Entwicklungsstufen vorbereitet.

Hella setzte auf das Messdaten-Interface von b-plus, um einen möglichst reibungslosen Übergang der Entwicklungsmuster zu deren Validierungsergebnissen für die Serie bereitstellen zu können.

FPGA-Technik ermöglicht Flexibilität

FPGA-Lösungen sind für ihre Individualität bekannt. Angepasste Datenkompression, verschiedene Konvertierungen, Verschlüsselungen und spezielle Ein- und Ausgangsformate können je nach Projektanforderung berücksichtigt werden. Beim Anwendungsfall Hella war die Vorgabe, Sensordaten aus zwei Radarsensoren über ein Aurora-Protokoll abzugreifen und diese über Ethernet auszuleiten. Die Herausforderung des Set-ups bestand darin, dass die Rohdaten aufgrund von Vorgaben des Chipherstellers zusätzlich

über ein überlagertes MCDS-Protokoll liefen. Das individuell entwickelte FPGA-Design unterstützt dieses und kann zusätzlich CAN-FD-Daten loggen. Die spezielle 8b10b-Codierung schaffte zusätzliche Sicherheit. Die Strukturen der vorhandenen Sensordaten konnten für die Weiterverarbeitung verändert werden, ohne die Inhalte zu verlieren. Wenn man bedenkt, dass während einer einstündigen Testfahrt in etwa 500 Gigabyte an Messdaten anfallen, ist es eine enorme Herausforderung, Sensordaten ohne Qualitätsverlust vom Sensor zum Rekorder zu bringen. Die Konvertierung der dezentral erfassten Messdaten in Standardtechnologien birgt dabei viele potenzielle Fehlerquellen. Mit Messgeräten, die genau und aufeinander abgestimmt arbeiten, wird dies verhindert.

Die MDILink-Familie

Mit der MDI(Measurement-Data-Interface)-Technologie ist b-plus auf eine dezentrale Messdatenerfassung aus Sensoren, deren Datenkonvertierung sowie der exakten Zeitstempelung dieser Daten spezialisiert (Bild 2). Der erfasste Datenstrom wird anschließend via Ethernet in den Datenrekorder übertragen. Anwendungsfälle gibt es viele: die Technologie findet sowohl im Entwicklungsprozess von Steuergeräten als auch in der Prototypenphase und den darauffolgenden Tests bis hin zur Serienentwicklung ihren Einsatz.

Einzelne Technologiebausteine bieten eine Basis, um Lösungen speziell für den Anwendungsfall des Steuergeräts zu entwickeln und diese bei Bedarf auch direkt auf das Steuergerät zu integrieren. Eine höchst effiziente und parallele Verarbeitung der Schnittstellen mit höchster Datenrate gelingt mit modernster FPGA-Technik. Mit definierten Softwareschnittstellen und der Anbindung an Software-Frameworks gestaltet b-plus gemeinsam mit dem Kunden eine offene und anpassungsfähige Lösung für verschiedenste Einsatzzwecke. Bestimmte Schnittstellen,

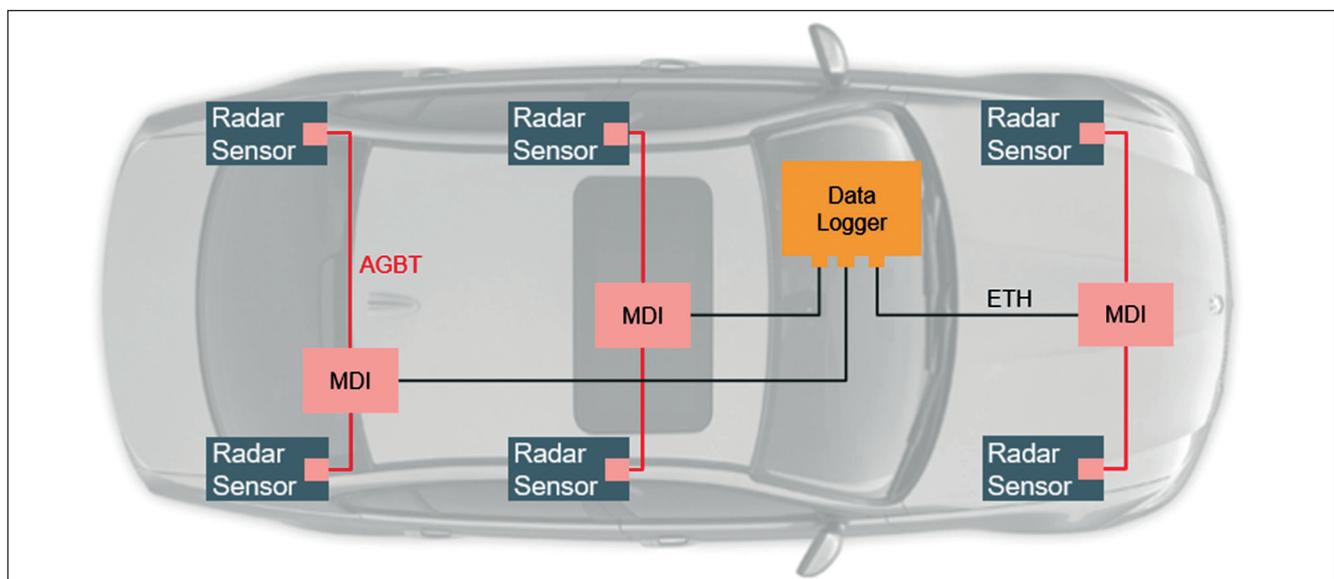


Bild 3. Testaufbau zur 360°-Umfeldererkennung mit Radarsensoren und Messgeräten. (Bild: Hella)

Ein- und Ausgabe verschiedener Datenformate sowie auch die Datenkompression, Konvertierung und Verschlüsselung können auf die MDI-Technologie abgestimmt werden. Ein reibungsloser Übergang vom Entwicklungsmuster zum Serienprodukt wird ermöglicht. Je nach Verwendungszweck und Rahmenbedingungen gibt es Lösungen für folgende Schnittstellen:

→ Die **GMSL2-Schnittstelle** besticht durch ihre hohe Bildqualität, verbunden mit gleichzeitig hoher Datenübertragungsgeschwindigkeit und geringer Latenz. Die Abkürzung steht für Gigabit Multimedia Serial Links (GMSL) und wurde von Maxim Integrated (heute Analog Devices, ADI) speziell für kamerabasierte Systeme vornehmlich im ADAS-Bereich entwickelt. Sie eignet sich ideal für die Übertragung in modernen Fahrerassistenzsystemen und Kamerasensoren sowie anderen Steuergeräten. GMSL kann Daten über Coax-Kabel inklusive Power over Coax sowie über eine Zweileiter-Verbindung (Twisted Pair) übertragen, was den Einsatz noch variabler macht. Sie zählt daher zu einer der meistgenutzten Schnittstellen im ADAS/AD-Bereich.

→ **FPD-Link** ist eine Schnittstelle, die speziell für die Übertragung von hochauflösenden Videodaten von Kamera, Lidar und Radar ausgelegt wurde. Der Flat Panel Display Link, kurz FPD-Link, gilt als erster offener Standard. Er wurde 1996 von National Semiconductor (heute innerhalb Texas Instruments) herausgegeben. Verbunden mit Power-over-Coax (PoC) eignet er sich ideal für den Einsatz im Automotive-Umfeld. Hierbei entfällt die Verwendung eines separaten Netzteils für die Stromversorgung, da der Sensor diese direkt vom angeschlossenen Aufnahmegerät bezieht. Außerdem sind im Vergleich zu Power-over-Ethernet (PoE) längere Übertragungstrecken möglich.

→ Das Camera Serial Interface, kurz **CSI**, ist eine Schnittstelle der MIPI Alliance, welche typischerweise bei Kamerasensoren verwendet wird. Sie stellt eine Direktschnittstelle für die Evaluierung für Sensoren und Steuergeräte dar. Durch CSI-2 wird eine direkte Verbindung zu den ECUs hergestellt, sodass Bilddaten ohne Umwege über Bussysteme übertragen werden können.

360°-Umfeldererkennung

Die Radarsensorik in On- und Off-Highway-Anwendungen gewinnt immer mehr an Bedeutung. Sie ermöglicht eine 360°-Umfeldererkennung sowohl von bewegten Objekten (wie Autos, Fahrradfahrern und Fußgängern) als auch unbewegten Objekten um das Fahrzeug herum (**Bild 3**). Beim 77-GHz-Radarsensor von Hella handelt es sich um einen FMCW-Radar (frequenzmoduliertes Dauerstrichradar), der speziell für die Verwendung im Bereich des autonomen Fahrens entwickelt wurde. Hierbei wird die Frequenz einer vom Sensor kontinuierlich ausgesandten Trägerfrequenz in einem kleinen Bereich der Bandbreite variiert. Sobald das Signal von einem Objekt zum Sensor zurückreflektiert wird, kann daraus durch einen Frequenzvergleich die Distanz und die Geschwindigkeit des erfassten Objektes bestimmt werden.

Dank des kompakten Designs kann der Sensor rund um das Fahrzeug – auch an der Fahrzeugseite – integriert werden und misst neben Distanz ebenso die Relativgeschwindigkeit eines Objektes.

Die Schritte, die bei der Verarbeitung der Messdaten zur Absicherung von Radarsensoren zurückgelegt werden müssen, sind beachtlich. Von der zeitgestempelten, nanosekundengenauen Aufzeichnung der Daten, über die Verarbeitung der Sensordaten verschiedener Schnittstellen und Data Layer, der Konvertierung, bis hin zur Analyse der Messdaten für die Weiterentwicklung der Geräte und Technologien, werden etliche Entwicklungsschritte durchlaufen. Bei seinem Datenverarbeitungsprozess setzt Hella seit Jahren auf Lösungen von b-plus. Mit Individualentwicklungen konnten Fälle wie das beschriebene Anwendungsbeispiel zur qualitativen Messdatenkonvertierung gelöst werden. b-plus bietet im Hard- und Softwarebereich kundenorientierte Lösungen für Sensorhersteller, um die Mobilität von morgen mitzugestalten. ih

Literatur

<https://www.tuev-nord.de/de/privatkunden/ratgeber-und-tipps/technik/fahrassistenzsysteme/>

<https://www.hella.com/soe/de/Produkte/Product-detail-4957/?pid=2351>

https://www.hella.com/resources-soe/assets/documents_global/10069070a_AM0.pdf

<https://www.hella.com/HELLA-com/de/HELLA-im-Ueberblick-723.html>



Tobias Geiger

ist Projektleiter Automotive Electronics bei der b-plus-Gruppe und begleitet Kundenprojekte sowie Eigenproduktentwicklungen von der Idee bis zur Nachbetreuung. Er ist seit 2017 bei b-plus tätig. Zuvor sammelte er in verschiedenen Firmen im Automotive-Bereich mit dem Fokus auf Automotive Ethernet Erfahrung als Softwareentwickler, Testingenieur und Projektmanager. Sein Studium absolvierte er in der Medientechnik, B.Eng., sowie dem Wirtschaftsingenieurwesen (Netzwerktechnik), M. Eng..



Georg Vogl

ist seit fünf Jahren als Produktmanager bei der b-plus Gruppe. Er ist unter anderem Experte für das Messdaten-Interface MDILink. Sein Wissen für Datenverarbeitung und -weiterleitung und im Bereich der Embedded-Computer-Technologien sammelte er in über 20 Jahren Branchentätigkeit. Seiner beruflichen Karriere liegt ein Studium der Elektrotechnik in Regensburg zugrunde.