

FOKUS | AUTOMOTIVE

Integration verschiedener Sensormodalitäten

Kohärentes Lidar – Schlüssel für Fahrzeugautonomie

Lidar ist den Vision- und Radarsystemen überlegen.
Insbesondere die kohärenten Erkennungssysteme sind ein entscheidender Schritt in Richtung zunehmender Fahrzeugautonomie.

 VON CHET BABLA, SENIOR VICE PRESIDENT
FÜR STRATEGIC MARKETING
BEI INDIE SEMICONDUCTOR

Lidar erreicht eine bessere Auflösung, Reichweite und Tiefenwahrnehmung als Bildverarbeitung und Radar, und die darauf basierenden neuen kohärenten Erkennungssysteme bieten zusätzliche Vorteile gegenüber den etablierten Time-of-Flight-Techniken (ToF).

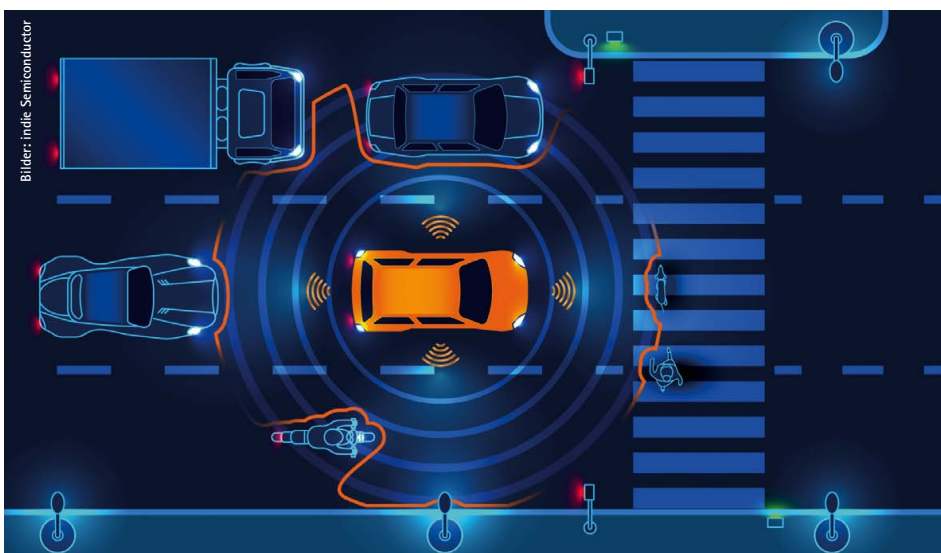
Advanced-Driver-Assistance-Systeme (ADAS) nutzen verschiedene Sensormodalitäten, um Daten über die äußere und innere Umgebung eines Fahrzeugs zu sammeln. Weil die Umgebung eines Fahrzeugs dynamisch ist, müssen diese Daten schnell verarbeitet werden, um zeitnahe Entscheidungen und Sicherheitsreaktionen wie Bremsen, Lenken oder Fahrerwarnungen zu ermöglichen. Modalitäten wie Ultraschall, Radar, Lidar und Vision sind für die Sensorfähigkeit eines Fahrzeugs von grundlegender Bedeutung, wobei jede davon ihre ei-

genen Vorteile bietet, um das »Umgebungs-bewusstsein« des Fahrzeugs zu maximieren.

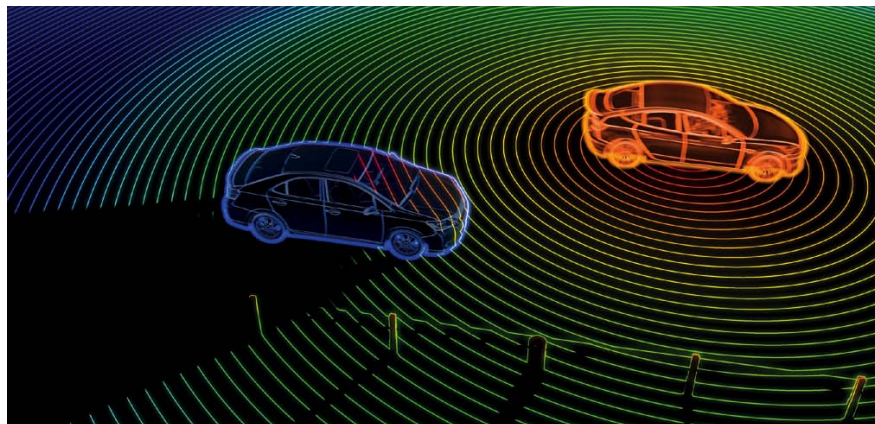
Ultraschallsensoren werden seit einigen Jahren eingesetzt, wie sie überall dort, wo es auf geringe Reichweite ankommt, praktisch, robust und kostengünstig sind, etwa in Parkassistenten. Ursprünglich meist allein eingesetzt, werden sie heute häufig mit Parkkameras kombiniert.

Radar ist seit vielen Jahren in Fahrzeugen der Oberklasse üblich und bietet Warnfunktionen zur Kollisionserkennung. Je nach gewählter Betriebsfrequenz aus dem 20- bis 120-GHz-Funkspektrum lassen sich Objekte und relative Geschwindigkeiten in einem Bereich von weniger als 1 m bis zu etwa 200 m wahrnehmen. In jüngerer Zeit wurde Radar mit aktiven Sicherheitsfunktionen wie automatischer Notbremsung (AEB; Automatic Emergency-Breaking) und kombinierten Sicherheits-/Komfortanwendungen wie adaptiver Geschwindigkeitsregelung (ACC; Adaptive Cruise-Control), Spurwechselassistent und Erkennung des toten Winkels kombiniert. Mit dem neuesten 120-GHz-Radar von indie bietet diese Modalität auch die Leistungsfähigkeit und Auflösung, die für die Innenraumerkennung erforderlich ist. Damit erfüllen sie die Anforderungen an Fahrer- und Insassenüberwachungssysteme (DMS/OMS; Driver/Occupant-Monitoring-System), einschließlich der Erkennung von Vitalfunktionen und Atmung.

Vision-Sensoren arbeiten im sichtbaren Licht- oder im Infrarotspektrum. Sie bieten eine hervorragende räumliche Auflösung, die, wenn sie durch wahrnehmungsfähige Algorithmen verbessert und mit Farb-, Kontrast- und Zeichenerkennungsfunktionen kombiniert wird, die Interpretation der Szene, Objektklassifizierung und Fahrervisualisierung erlauben. Vision-Sensing kann Surround-View, Einpark-



Durch die Kombination der jeweiligen Vorteile verschiedener Sensormodalitäten erhält ein Fahrzeug eine möglichst umfassende und detaillierte Sicht auf seine Umgebung.



Darstellung der Lidar-Erfassung

hilfe, digitale Spiegel, AEB, Spurhalteassistent und ACC ergänzen. Das Gleiche gilt für neue Systeme zur Überwachung von Fahrer und Insassen.

Lidar arbeitet im Nahinfrarotbereich (NIR) und bietet ähnliche Funktionen wie Radar. Am oberen Ende des Spektrums (ca. 1550 nm) erreicht Lidar jedoch eine räumliche Auflösung, die bis zu 2500-mal höher liegt als die von Radar. Damit lassen sich genaue 3D-Darstellungen der Fahrzeugumgebung erstellen.

Lidar nutzt eine Laserquelle, um eine Szene mit Licht zu beleuchten, das in der horizontalen und vertikalen Achse gescannt wird. Die daraus resultierenden Reflexionen werden von Empfangs-Fotodetektoren erfasst, die ein 3D-Bild oder eine Punktwolke erzeugen.

Automotive-Lidar war ursprünglich für vollständig autonome Fahrzeuge vorgesehen. Aufgrund seiner überlegenen Auflösung, Reichweite und Tiefenwahrnehmung im Vergleich zu Vision- und Radarsystemen ist es jedoch für ADAS in Serienfahrzeugen sofort relevant geworden. Es lohnt sich daher, auf die Technik näher einzugehen.

Das Aufkommen von kohärentem Lidar

Bei Lidar gibt es zwei Ansätze: inkohärent (auch als direktes Verfahren bekannt), bei dem die Laufzeitmessung (Time of Flight, ToF) zum Einsatz kommt, und neue kohärente Systeme, die ein moduliertes Dauerstrichradar (FMCW, Frequency-Modulated Continuous Wave) zur Erfassung verwenden.

Beim kohärenten Ansatz wird die Zeit gemes-

nung zum Objekt berechnet. Dabei wird ein Quellsignal auf eine ausgesendete kohärente Laserwelle aufmoduliert und dann am Empfänger durch Vergleich von Phase und Frequenz des empfangenen Signals mit dem als Referenz dienenden Originalsignal erkannt. Die Messung der Doppler-Verschiebung des empfangenen Lichts ermöglicht die schnelle und genaue Positionierung, Klassifizierung und Wegvorhersage von Objekten über große Entfernungen.

ToF-basierte Lidar-Systeme, die im NIR-Bereich arbeiten, verwenden Laserquellen und Halbleiterdetektoren, wie sie in bestehenden Datenkommunikations- und Verbraucher-Anwendungen bereits vorhanden sind. Kohärente Lidar-Systeme arbeiten im kurzwelligen Infrarotbereich (SWIR; Short-Wave-Infrared) mit einer Wellenlänge von 1300 bis 1600 nm, was eine Erkennung über größere Entfernungen ermöglicht. Ein weiterer Vorteil ist, dass die ver-

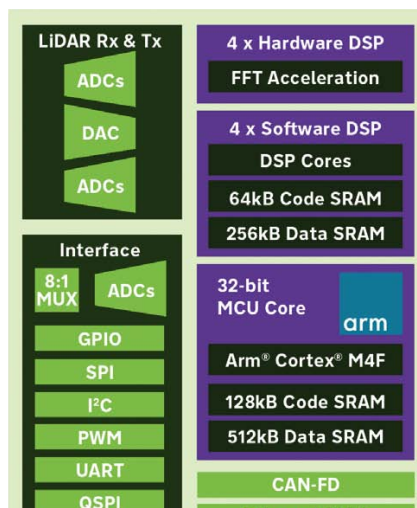
wendeten Komponenten für den Einsatz in der Telekommunikation entwickelt wurden und sich gut für die Integration eignen.

Kohärente Erfassung hat gegenüber dem inkohärenten ToF-Ansatz mehrere Vorteile und hat dazu geführt, dass sie im Automotive-Bereich immer mehr an Bedeutung gewinnt. Dazu gehören die Unterstützung der Geschwindigkeit pro Punkt und eine bessere Unempfindlichkeit gegenüber Störungen durch andere Lichtquellen wie Sonnenlicht und andere Lidars in der Umgebung des Fahrzeugs. Die inhärente Empfindlichkeit ist um mehrere Größenordnungen höher, sorgt für eine größere effektive Reichweite und bietet (je nach Anwendungsbedarf) die Möglichkeit, die optische Sendeleistung für ein gewünschtes Leistungsniveau zu senken. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass SWIR-Wellenlängen im Vergleich zu NIR-Wellenlängen für die Augen sicherer sind, sodass eine höhere optische Leistungsfähigkeit sicher zum Einsatz kommen kann.

Weil sich die erforderlichen Komponenten für den Aufbau von kohärenten Lidar-Systemen auf halbleiterbasierten Photonik-Schaltkreisen integrieren lassen, können die aus der Halbleitertechnik bekannten Skaleneffekte genutzt werden; die Baugrößen schrumpfen deutlich.

Ein skalierbarer Ansatz für die Verarbeitung

Bislang wurden die komplexen und rechenintensiven Anforderungen kohärenter Lidar-Systeme mithilfe von High-End-FPGAs durchgeführt. Obwohl sie flexibel und vielseitig sind,



FOKUS | ENTWICKLUNGS - DIENSTLEISTUNGEN

haben FPGAs einen hohen Preis. Zudem sind sie stromhungrig und thermisch anspruchsvoll. Dies macht sie für den Massenmarkt der Automotive-Anwendungen ungeeignet.

Obwohl kohärente Erfassung eine komplexere Verarbeitung erfordert, können neue digitale Signalverarbeitungstechniken hier Abhilfe schaffen. Wenn also das FPGA-Problem gelöst werden kann, setzt sich auch die neue Technik durch, um die kommerziellen und technischen Anforderungen der zunehmend komplexeren und leistungsstärkeren ADAS zu erfüllen. Eine Lösung ist ein ASIC, das, wenn es von Anfang an für die Endanwendung entwickelt wird, Energieeinsparungen, eine kleinere Stückliste und verkleinerte Systeme zu geringeren Kosten als ein auf FPGAs basierendes Design ermöglicht. Obwohl komplexe ASICs mehrere Jahre Entwicklungszeit und hohe Vorabinvestitionen erfordern, ist ihre Einführung mit den Stückzahlen im Automotive-Bereich vereinbar. Die Zahlen werden weiter steigen, wenn die Fahrzeughersteller das Ziel des unfallfreien Autos anstreben wollen.

Architekturen für mehrere Sensormodalitäten

Das exponentielle Wachstum eingesetzter Sensoren für ADAS führt zu einem entsprechenden Anstieg des Datenvolumens, das übertragen und verarbeitet werden muss. Dies stellt immer höhere Anforderungen an die Rechenleistung des Fahrzeugs. Entwickler im Automotive-Bereich können diese Herausforderung mit zentralisierten oder verteilten Ansätzen angehen. Die zentralisierte Verarbeitung verfügt über eine einfachere Softwarearchitektur und eine geringere Anzahl von Komponenten und trägt dazu bei, die Verarbeitungslatenz zu reduzieren. Sie ist jedoch stromhungrig (eine besondere Herausforderung im Zeitalter elektrifizierter Antriebsstränge), was zu großen Bauformen und einem komplexen Wärmemanagement führt. Zu diesen Nachteilen kommt noch die hohe Bandbreite hinzu, die für den Fluss der Sensor-Rohdaten zu einem zentralen Punkt erforderlich ist. Darüber hinaus eignet sich eine zentrale Rechenarchitektur möglicherweise

nicht für Fahrzeugklassen, die für den Massenmarkt bestimmt sind und bei denen der technische und kommerzielle Aufwand für eine Überversorgung mit Rechenleistung praktisch nicht erschwinglich ist.

Diese Herausforderungen machen die verteilte Datenverarbeitung interessant. Hier wird ein gewisses Maß an lokaler Vorverarbeitung in den oder in der Nähe der Sensoren in einem lokalen Sensorfusionsprozessor oder zonalen Controller für die Datenaggregation, -verarbeitung oder -fusion mit anderen Sensordaten integriert. Dies verringert die Anforderungen an die zentrale Verarbeitung, reduziert die Notwendigkeit, Multi-Gigabit-Kommunikation im gesamten Fahrzeug zu unterstützen, mildert die Herausforderungen hinsichtlich Wärmeentwicklung und Formfaktor und ermöglicht Skalierbarkeit über die Fahrzeugklassen eines Anbieters hinweg. Der Nachteil besteht darin, dass die Software-Verwaltung verteilter Knoten und die »Sense-Think-Act-Latenz« sorgfältig geprüft und umgesetzt werden müssen. Doch das geschieht derzeit bereits. (ha) ■

Focus | AUTOMOTIVE

Integration of different sensor modalities

Coherent Lidar – Key for Vehicle Autonomy

Lidar is superior to vision and radar systems.
In particular, the coherent detection systems are a crucial one
Step towards increasing vehicle autonomy.

 BY CHET BABLA, SENIOR VICE PRESIDENT
 FOR STRATEGIC MARKETING
 AT INDIE SEMICONDUCTOR

Lidar achieves better resolution, Range and depth perception as Image processing and radar, and the new coherent recognition systems based on this offer additional benefits compared to the established time-of-flight Techniques (ToF).

Advanced driver assistance systems (ADAS) use various sensor modalities to collect data about a vehicle's external and internal environment. Because a vehicle's environment is dynamic, this data must be processed quickly to enable timely decisions and safety responses such as braking, steering or driver alerts. Modalities such as ultrasound, radar, lidar and vision are fundamental to a vehicle's sensing capability, each offering its own advantages to maximize the vehicle's

“environmental awareness.”

Ultrasonic sensors have been used for several years as they are practical, robust and cost-effective wherever short range is important, such as in parking assistants. Originally mostly used alone, they are now often combined with parking cameras.

Radar has been common in luxury vehicles for many years and offers collision detection warning functions. Depending on the selected operating frequency from the 20 to 120 GHz radio spectrum, objects and relative speeds can be detected in a range from less than 1 m to around 200 m. More recently, radar has been combined with active safety features such as automatic emergency braking (AEB) and combined safety/convenience applications such as adaptive cruise control (ACC), lane change assist and blind spot detection. Featuring Indie's latest 120GHz radar, this modality also provides the performance and resolution required for indoor detection. This means they meet the requirements for driver and occupant monitoring systems (DMS/OMS; Driver/Occupant Monitoring System), including the detection of vital functions and breathing.

Vision sensors work in the visible light or infrared spectrum. They provide excellent spatial resolution that, when enhanced by perceptual algorithms and combined with color, contrast and character recognition capabilities, allow scene interpretation, object classification and driver visualization. Vision sensing can complement



By combining the respective advantages of different sensor modalities
 A vehicle receives the most comprehensive and detailed view of its surroundings.

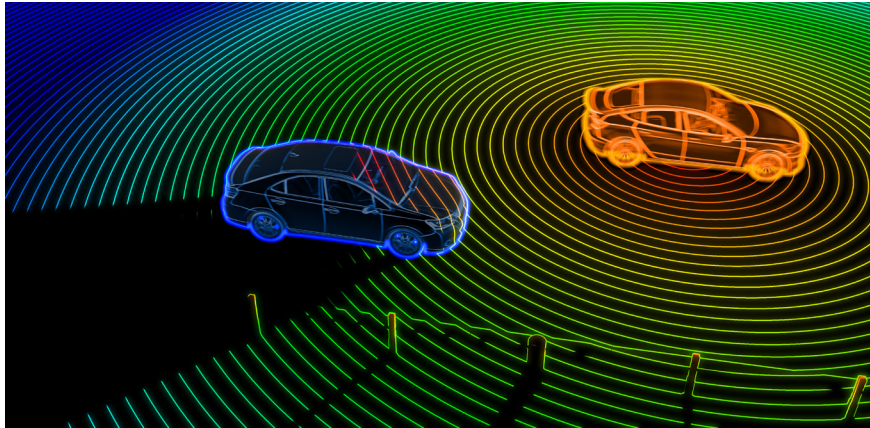


Illustration of lidar detection.

surround view, parking assistance, digital mirrors, AEB, lane departure warning and ACC. The same applies to new systems for monitoring drivers and passengers. awareness."environment. Because a vehicle's environment is dynamic, this data must be processed quickly to enable timely decisions and safety responses such as braking, steering or driver alerts. Modalities such as ultrasound, radar, lidar and vision are fundamental to a vehicle's sensing capability, each offering its own advantages to maximize the vehicle's "environmental awareness."

Lidar works in the near infrared (NIR) range and offers similar functions to radar. However, at the upper end of the spectrum (around 1550 nm), lidar achieves a spatial resolution that is up to 2500 times higher than that of radar. This allows accurate 3D representations of the vehicle's surroundings to be created.

Lidar uses a laser source to illuminate a scene with light that is scanned in the horizontal and vertical axes. The resulting reflections are captured by receiving photodetectors, which create a 3D image or point cloud.

Automotive lidar was originally intended for fully autonomous vehicles. However, it has become immediately relevant for ADAS in production vehicles due to its superior resolution, range and depth perception compared to vision and radar systems. It is therefore worth going into the technology in more detail.

The advent of coherent lidar

There are two approaches to lidar: incoherent (also known as direct), which uses time of flight (ToF), and new coherent systems, which use frequency-modulated continuous wave (FMCW) radar Use capture.

The coherent approach measures the time it takes for the emitted light pulses to return to the photodetector. The distance to the object is then calculated based on this measurement. A source signal is modulated onto an emitted coherent laser wave and then recognized at the receiver by comparing the phase and frequency of the received signal with the original signal that serves as a reference. Measuring the Doppler shift of received light enables rapid and accurate positioning, classification and path prediction of objects over long distances.

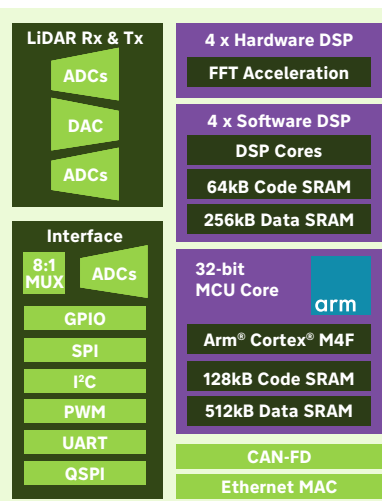
ToF-based lidar systems operating in the NIR range use laser sources and semiconductor detectors already present in existing data communications and consumer applications. Coherent lidar systems operate in the short-wave infrared (SWIR) range with a wavelength of 1300 to 1600 nm, which enables detection over longer distances. Another advantage is that the components used were developed for use in telecommunications and are well suited for integration.

Coherent sensing has several advantages over the incoherent ToF approach and has led to it becoming increasingly important in the automotive sector. These include support for speed per point and better immunity to interference from other light sources such as sunlight and other lidars around the vehicle. The inherent sensitivity is several orders of magnitude higher, providing greater effective range and (depending on application needs) the ability to lower the optical transmit power for a desired performance level. Another advantage is that SWIR wavelengths are safer for the eyes compared to NIR wavelengths, allowing higher optical performance to be used safely.

Because the components required to build coherent lidar systems can be integrated into semiconductor-based photonics circuits, the economies of scale known from semiconductor technology can be used; the sizes are shrinking significantly.

A scalable approach for processing

Until now, the complex and computationally intensive requirements of coherent lidar systems have been carried out using



Focus | DEVELOPMENT SERVICES ●

high-end FPGAs. Although they are flexible and versatile, FPGAs come at a high price. They are also power hungry and thermally demanding. This makes them unsuitable for the mass market of automotive applications.

Although coherent capture requires more complex processing, new digital signal processing techniques can help. So if the FPGA problem can be solved, the new technology will also prevail to meet the commercial and technical requirements of increasingly complex and powerful ADAS. One solution is an ASIC that, when designed from the start for the end application, enables power savings, a smaller bill of materials, and downsized systems at a lower cost than an FPGA-based design. Although complex ASICs require several years of development time and high upfront investments, their introduction is compatible with the volumes in the automotive sector. The numbers will continue to rise if vehicle manufacturers aim to achieve the goal of

accident-free cars.

Architectures for multiple sensor modalities

The exponential growth of sensors deployed for ADAS leads to a corresponding increase in the volume of data that needs to be transmitted and processed. This places ever higher demands on the vehicle's computing power. Automotive developers can address this challenge with centralized or distributed approaches. Centralized processing has a simpler software architecture and a smaller number of components, helping to reduce processing latency. However, it is power hungry (a particular challenge in the age of electrified powertrains), which leads to large designs and complex thermal management. Added to these disadvantages is the high bandwidth required to flow raw sensor data to a central point. In addition, a centralized

computing architecture may not be suitable for mass-market vehicle classes where the technical and commercial costs of overprovisioning computing power are practically unaffordable.

These challenges make distributed data processing interesting. Here, some level of local preprocessing is integrated into or near the sensors in a local sensor fusion processor or zonal controller for data aggregation, processing or fusion with other sensor data. This reduces central processing requirements, reduces the need to support multi-gigabit communications throughout the vehicle, mitigates thermal and form factor challenges, and enables scalability across a vendor's vehicle classes. The disadvantage is that software management of distributed nodes and sense-think-act latency must be carefully considered and implemented. But this is already happening. (Ha) ■