



© BillionPhotos.com | Adobe-Stock

HOCHGESCHWINDIGKEITS-BORDNETZ FÜR DISPLAYS UND SENSOREN

Zukünftige Mobilität

Das Innovationstempo in der Automobilbranche steigt. War die Entwicklung der Elektrifizierung in den letzten 20 Jahren linear, so ist sie in den letzten zwei bis drei Jahren exponentiell verlaufen. Für mehr Kameras, mehr Verbindungen und mehr Sensoren mit höherer Genauigkeit, weniger Gewicht und mehr Sicherheit ist ein Bordnetz erforderlich, das die Herausforderungen bewältigt. Doch wie müssen diese Bordnetze getestet werden?

Früher war ein Auto nur ein Mittel, um von A nach B zu kommen. Das gilt für die heutigen Fahrzeuge mit Sicherheit nicht mehr und schon gar nicht für zukünftige Fahrzeuge. So gut wie jedes neue Auto auf dem Markt verfügt über eine Rückfahrkamera, einen Einparkassistenten und eine Überwachung des toten Winkels. Einige bieten eine 360-Grad-Ansicht. Andere Funktionen ermöglichen Echtzeit-Verkehrsinformationen, eine Mobilfunkverbindung zu potenziellen Gefahren, anderen Verkehrsteilnehmern wie Fahrzeugen oder Fußgängern. Es gibt Funktionen, die erkennen können, ob ein Fahrer abgelenkt oder müde ist. Währenddessen sind sich die Menschen im Auto oft nicht über die Fahrbedingungen im Klaren, während sie die Infotainment-Systeme genießen. Diese Funktionen werden durch eine Mischung aus Sensoren, Kameras und Netzwerken bereitgestellt.

Fahrerassistenzsysteme (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS) erfordern Kamera- und Radarsysteme mit immer höherer Auflösung, weil die An-

forderungen steigen. Das bedeutet mehr Übertragungsgeschwindigkeit und Bandbreite für Netzwerke, Switches und die Datenverbindungen. Fortschrittliche Automobiltechnologien, die mit Datenraten von mehr als 1 Gbit/s über die bestehenden Verkabelungsinfrastrukturen laufen, sind mittlerweile möglich. Netzwerke mit höherer Bandbreite und niedrigeren Latenzzeiten werden eine entscheidende Rolle bei der Bewältigung der zeitkritischen und komplexen Automobiltechnologien der Zukunft spielen. Viele dieser Anforderungen können durch Automotive Ethernet mit einer Bandbreite von bis zu 10 Gbit/s erfüllt werden. Wenn man bedenkt, dass die Anforderungen für einige der Kameras bei bis zu 3.500 Mbit/s liegen, müssen auch andere Technologien in Betracht gezogen werden, um diese Datenmenge zu übertragen.

Anforderungen an die Bandbreite

Um die Anforderungen an die Bandbreite (Tabelle 1) nachvollziehen zu können –

die ungefähre Bitrate eines Video-Datenstroms wird wie folgt berechnet:

- Frame-Größe = Auflösung x Farbtiefe
- Bit-Rate = Frame-Größe x Frame-Rate

Für eine ADAS-Kamera, die ein 1080p-Bild mit einer Farbtiefe von 24 Bits aufnimmt und mit 30 Bildern pro Sekunde überträgt, entspricht die erforderliche Bitrate also:

- Frame-Größe = $1920 \times 1080 \times 24 = 49.766.400$
- Bit-Rate = $49.766.400 \times 30 = 1493 \text{ Mbit/s}$

Anforderungen der Industrie

Der Automobilmarkt wird von vielen Motivationen angetrieben, wie eine gestiegene Nachfrage nach hoher Bandbreite und leichten Materialien, nach Fahrerassistenzsystemen, nach Luxusfahrzeugen, nach zukunftssicherer Technologie und Security.

Es wurde bereits festgestellt, dass Technologien mit hoher Bandbreite und geringem Gewicht erforderlich sind, um die Kraftstoffeffizienz oder Batterieeffi-

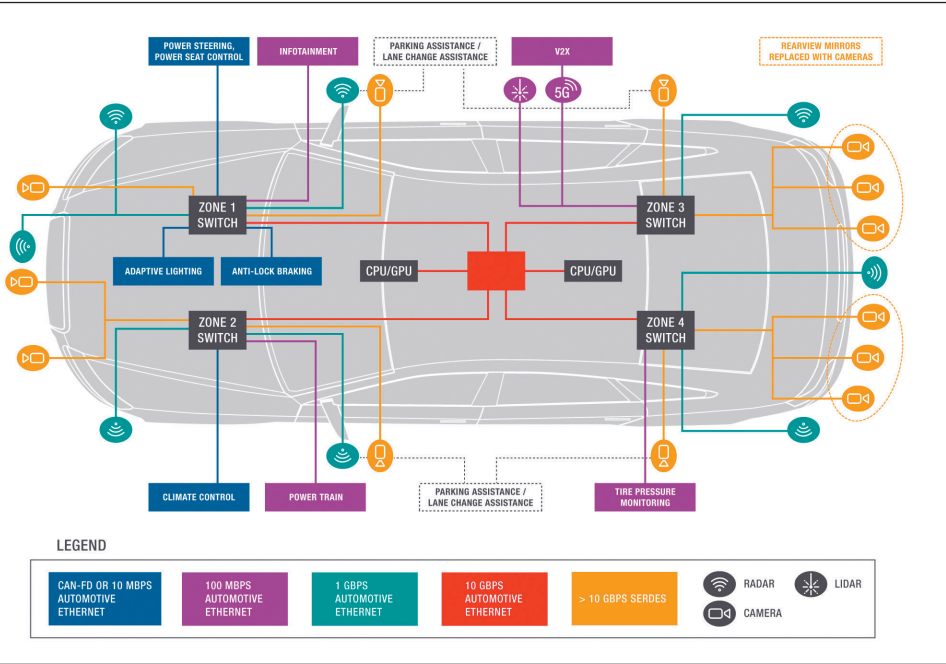


Bild 1: Ein konzeptionelles Diagramm einer zonenbasierten Bordnetzarchitektur.

© Keysight Technologies

zienz zu maximieren. Alle Sensoren für Rückfahrkamera, Einparkhilfe und Spurwechselassistent, ganz zu schweigen von Head-up- und Beifahrer-Displays sowie zusätzlichen Infotainment-Systemen, ergeben sich aus dem Bedarf an ADAS- und autonomen Fahrzeugtechnologien (AV).

Außerdem muss man verstehen, wie das Fahrzeug mit der Verbesserung der Technologie skaliert werden muss. Heute wird davon ausgegangen, dass ein Auto 10 bis 15 Jahre halten wird.

Möglicherweise muss heute schon ein Design in Betracht gezogen werden, das zusätzliche ADAS/AV-Funktionen ermöglicht, die der Endverbraucher während der Lebensdauer seines Fahrzeugs wünscht. Dazu müssen kosteneffiziente Verbindungslösungen zusätzliche Bandbreite unterstützen können. Darüber hinaus sind Safety und Security ein äußerst wichtiger Bereich für das Design von Fahrzeugen. Weil immer mehr AV- und ADAS-Funktionen menschliche Aufgaben übernehmen, steht die Sicherheit der Fahrgäste im Vordergrund.

Zonenbasierte Architektur

Ziel ist es, die Komplexität des Bordnetzes zu reduzieren. Bild 1 ist eine abstrakte Version eines Fahrzeugs, das viele verschiedene Datenraten in der Backplane verwendet. Es handelt sich um ei-

ne grobe Vereinfachung, aber für die Zwecke dieser Diskussion hilft sie bei der Vorstellung, wie einige dieser Technologien und Standards zusammenarbeiten.

Eine zonenbasierte Architektur bündelt mehrere Eingänge und verringert letztlich die Komplexität, die Kosten und das Gewicht des Kabelbaums, indem sie von einer „Viele-zu-einem“-Architektur zu einer verketteten Eins-zu-eins-Architektur übergeht. Das ist ein Beispiel für eine zonenbasierte Architektur. Andere ziehen wiederum eine domänenbasierte Architektur in Betracht. In beiden Fällen werden Kamera- und Sensordaten zu-

sammengefasst, wobei Ethernet als Verbindungsglied zwischen den einzelnen Zonen oder Bereichen dient. Da ein zentraler Rechnerkomplex über vernetzte zonenbezogene Gateways mit den Sensoren und Geräten verbunden ist, kann ein zonenbezogener Ansatz eine bessere Skalierbarkeit sowie eine höhere Zuverlässigkeit und Funktionalität bieten.

Einführung von SerDes

In heutigen Infotainment-Systemen ist es üblich, dass Kameras und Displays im Fahrzeug über eine Serializer-Deserializer-Verbindung (SerDes) mit der bildverarbeitenden elektronischen Steuereinheit (ECU) verbunden sind. Heute werden sie von einzelnen Anbietern unter Verwendung geschlossener, proprietärer Standards bereitgestellt.

Die Ausweitung der Reichweite von funktionsreichen SerDes-Verbindungen kann den Betrieb mit niedrigeren Baudraten und Modulationen höherer Ordnung, wie PAM-4, erfordern. Darüber hinaus sind Ethernet-Verbindungen mit höherer Bandbreite als primäre Verbindungen zwischen den Zonen erforderlich, wobei 802.3ch einen Durchsatz von bis zu 10 Gbit/s unterstützt.

SerDes-Standards wie Mobile Industry Processor Interface (MIPI) A-PHY und Automotive SerDes Alliance (ASA) werden von mehreren Halbleiterherstellern umgesetzt. Dadurch entsteht ein Wettbewerbsmarkt, der die Kosten senkt und gleichzeitig anwendungsspezifische Funktionen bietet. Es besteht auch der Wunsch nach standardisierten

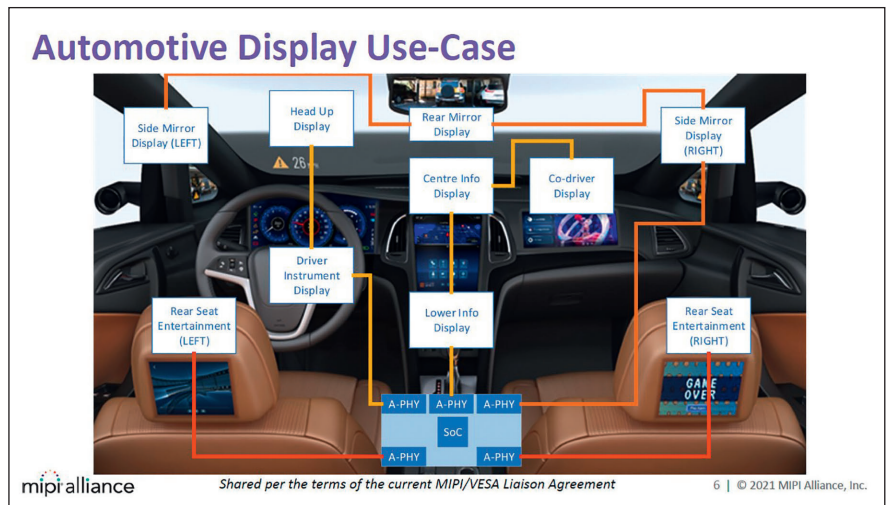


Bild 2: Anwendungsfall Automobil-Display.

© MIPI Alliance



Bild 3: Ansicht der Rückfahrkamera eines Fahrzeugs, die Lücken in der Übertragung zeigt. © Keysight Technologies

Testmethoden im gesamten Ökosystem, die Interoperabilitätsanforderungen festlegen. Das würde zu einheitlichen Anforderungen an Halbleiterunternehmen sowie Automobilhersteller und -zulieferer führen. Einheitliche Testanforderungen ermöglichen es diesen Unternehmen wiederum, ihren Entwicklungszyklus zu beschleunigen, die Kosten zu senken und die Interoperabilität mit anderen kommerziellen Geräten zu verbessern.

Bild 2 ist ein Beispiel für einen Anwendungsfall für Fahrzeug-Displays. Einige der neuen Funktionen von SerDes unterstützen die Service-orientierte Architektur der Zukunft mit Protokoll-Tunneling und -anpassung, die es aufkommenden SerDes-Standards ermöglichen werden, ältere Protokolle über Daisy-Chain-Verbindungen an das entsprechende Steuergerät oder Brückengerät weiterzuleiten. Die Stream-Duplizierung bietet sicherheitskritischen Systemen die Möglichkeit, sich selbst zu duplizieren, wenn die primäre Verbindung ausfällt. Durch Daisy-Chaining lassen sich mehrere SerDes-Ports hintereinanderschalten, um die Daten auf der Verbindung zu aggregieren, bevor sie am Steuergerät ankommen. Schließlich wird die Funktionale Sicherheit durch die Bereitstellung von End-to-End-Schutzmechanismen, die der ISO 26262 entsprechen, berücksichtigt.

Diese Funktionen sind in der nächsten Generation von ADAS/AV-Fahrzeugen willkommen, aber es gibt auch einige Herausforderungen zu bewältigen: Unter anderem verschiedene medienabhängige Schnittstellenkabel und -stecker, die Sicherung des Netzes, die Interoperabilität mit anderen Anbietern und technische Bedenken bei der Tx-Prüfung

zur Gewährleistung der Linearität und PSD von PAM-N-Netzen. Von entscheidender Bedeutung ist es auch, die Robustheit der Empfänger gegenüber elektromagnetischen Störungen (EMV) zu validieren, um den Betrieb in der rauen Automobilumgebung sicherzustellen. Es handelt sich hierbei um eine komplexe Messung, bei der vordefinierte, kalibrierte Rauschpegel an den RX-Pin des SerDes eingespeist werden und gleichzeitig dessen Fähigkeit, Symbole innerhalb akzeptabler Fehlergrenzen zu takten, überwacht wird.

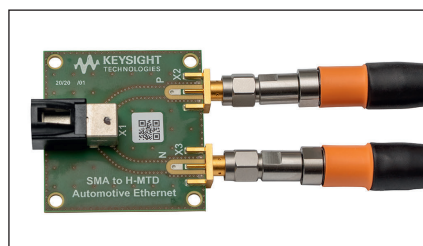


Bild 4: Beispiel eines MDI-Steckers mit H-MTD und SMA. © Keysight Technologies

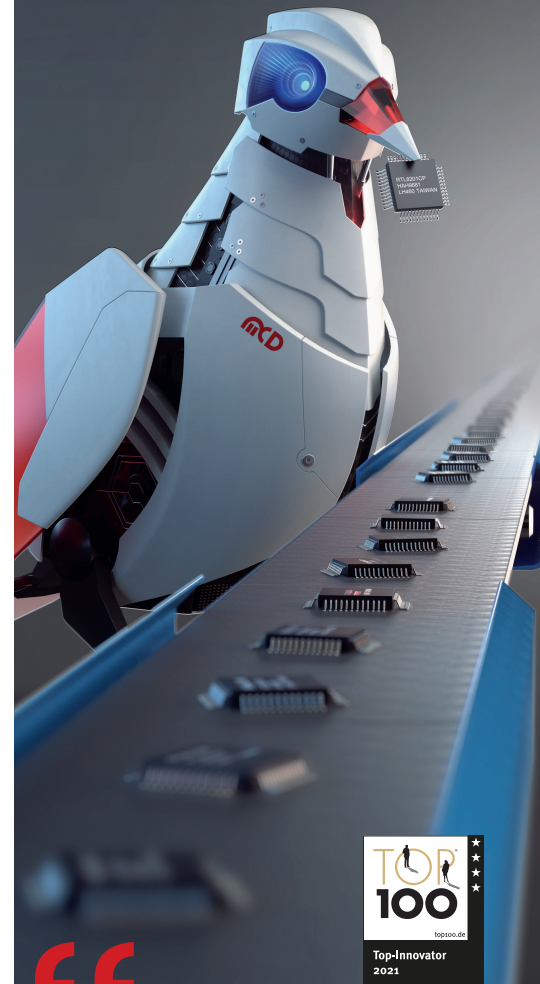
Testen der Bitübertragungsschicht

Interoperabilität ist ein echtes Problem. Transceiver sind empfindliche Geräte, die in der notorisch rauen Automobilumgebung arbeiten müssen, die Hitze, Vibration, elektrostatische Entladung (ESD) und EMV umfasst.

Das wird in drei verschiedene Testbereiche unterteilt:

- Übertragung – um sicherzustellen, dass das, was gesendet wird, dem entspricht, was erwartet wird.
- Empfangsfähigkeit – wie zuverlässig kann das Gerät (Gateway, Modul, Switch, PHY) die richtigen Signale empfangen.
- Die Leistung der passiven Verbindung zwischen den Transceivern, dem Verbindungssegment.

Die Validierung der Bitübertragungsschicht umfasst alle drei dieser Elemente. Oberstes Ziel all dieser Tests ist die Interoperabilität zwischen den Anbietern der verschiedenen Geräte. Es kann mehr als 100 verschiedene Hersteller geben, die zu einem Auto beitragen, und es gibt Normungsorganisationen, die Spezifikationen erstellen. Diese Anwendungen sind eine Möglichkeit, bekannte Standards zu überprüfen, um sicherzustellen, dass die Datenintegrität gewahrt bleibt.



Die Guten ins Töpfchen

...

Schlechte Teile kommen an uns garantiert nicht vorbei!

Mehr darüber, wie MCD Testsysteme die Qualitätssicherung in Ihrer Produktion revolutionieren können, erfahren Sie unter mcd-elektronik.de

Übertragungstest

Im Falle des Senders soll sichergestellt werden, dass die Signalcharakteristik gut ist. Es kommt also ein Tool zum Einsatz, das als Empfänger fungiert – in diesem Fall ein Oszilloskop. Der Prüfling wird in eine Reihe von bekannten Zuständen versetzt, und der Empfänger stellt sicher, dass das Signal „gültig“ ist. Bild 3 ist ein Beispiel für die Ansicht einer Rückfahrkamera mit Linien darin. Die Linien entstehen durch Lücken in der Übertragung, d. h. durch verlorene Pakete. Bei ein oder zwei Linien kann das Bild noch erkannt werden, aber das Bild soll nicht schwarz sein, wenn ein Kind hinter dem Fahrzeug ist.

Die Kamera stammt von einem Hersteller, das Kabel von einem anderen, von wieder anderen der Switch, der das Signal weiterleitet, ebenso die GPU oder ECU, die die Daten verarbeitet, und schließlich die Bremsen, die das Fahrzeug letztlich anhalten müssen. Diese Produkte müssen – trotzdem sie von verschiedenen Herstellern stammen – zusammenarbeiten. Außerdem steigt die Datenrate auf das 100– bis 1000-fache von CAN an und wird bei höheren Datengeschwindigkeiten wesentlich komplexer. Die Modulationsart ist zunehmend komplexer geworden. Standards wie CAN verwenden NRZ oder PAM-2, im Gegensatz zu PAM-3 oder PAM-4 für Automotive Ethernet und Automotive SerDes. Daher müssen diese Tx-Tests auch die Datenintegrität prüfen, die Folgendes umfasst:

- Jitter-Tests, weil Taktfehler Jitter beim Sender verursachen können.
- Leistungsspektraldichte, eine Messung des Rauschens (mit einer schnellen Fourier-Transformation (FFT) oder einem Spektrumanalysator) über einen Frequenzbereich, weil sich Leiterbahnen bei hohen Geschwindigkeiten wie Antennen verhalten können.
- Linearitätstest zur Suche nach Verzerrungen durch Reflexionen, die wiederum Übertragungsfehler und Bitfehler verursachen können.

Letztlich muss man sicherstellen, dass die Daten keine Strahlungsemissionen, Reflexionen oder Dämpfungen verursachen sowie andere Schaltkreise nicht stören. Wenn die Daten einen dieser Tests nicht bestehen, kommt es zu

Symbol- oder Paketfehlern, die beim Empfänger zu ausgelassenen Frames oder Linien in der Anzeige führen.

Kanaltests

Die Verbindung oder der Kanal besteht aus dem Kabel, dem Steckverbinder, der Halterung und dem Kabelbaum, der die Geräte miteinander verbindet. Ein Vektor-Netzwerkanalysator (VNA) kann die Auswirkungen des Kanals auf das Signal charakterisieren und sicherstellen, dass die Signalintegrität zwischen Sender und Empfänger erhalten bleibt. Angesichts der Kabellängen, die in der rauen Automobilumgebung verwendet werden, ist es entscheidend, die Impe-

Sensor	Bit-Rate/Sensor
Kamera	500 bis 3500 Mbit/s
Lidar	20 bis 100 Mbit/s
Radar	0,1 bis 5 Mbit/s
Ultraschallsensoren	0,01 Mbit/s

Tabelle 1: Typische Datenmengen der verschiedenen Sensoren, die beim autonomen Fahren zum Einsatz kommen.

© Keysight Technologies

danz im Verhältnis zur Frequenz zu betrachten, um vorherzusagen, wie der Kanal im Fahrzeug funktionieren wird. Ein Verbindungssegment besteht aus Kabeln und Inline-Steckern sowie Buchsen an beiden Enden. Letztlich ist der Kabelbaum für die Übertragung von Steuer- und Nutzlastdaten sowie für die Bereitstellung von Gleichstrom für entfernte Sensoren verantwortlich.

Die Kanalcharakterisierung für SerDes-Verbindungen umfasst sowohl eine Analyse im Zeitbereich als auch im Frequenzbereich. Dies erfordert eine Betrachtung des Verkabelungssystems, der MDI sowie der Anforderungen an die Befestigung und den Testaufbau.

Der eigentliche MDI-Stecker ist nicht genormt, aber es gibt einige starre Spezifikationen, die dafür sorgen, dass die Wechselwirkungen zwischen MDI und Kabel minimiert werden. Bild 4 zeigt ein Beispiel für einen H-MTD-Steckverbinder, der für Multi-Gig-Ethernet im Automobilbereich verwendet wird und auch für aufkommende SerDes-Standards eingesetzt werden könnte. Bei den Kanaltests werden folgende Fehler gesucht:

- Impedanz-Fehlanpassung
- Signalverzerrungen oder -fehler
- Übersprechen zwischen den Kabeln

Empfänger-Tests

Die Empfänger sind für die Auswertung der über die Verbindung gesendeten Daten verantwortlich und leiten sie dann zur weiteren Verarbeitung an ein Steuergerät oder ein Anzeigegerät weiter. Bitfehler am Empfänger führen zu verlorenen oder beschädigten Daten, die von sicherheitskritischen Sensoren wie Kamera, Radar und Lidar stammen.

Die ordnungsgemäße Funktion des Empfängers wird bei komplexen Modulationen wie PAM-4 immer schwieriger, insbesondere, wenn sie über lange Kanäle gesendet werden, die vielen gleichzeitigen Rauschquellen ausgesetzt sind. Um die Fähigkeiten des Empfängers zu charakterisieren, müssen die Fehlerraten bei Vorhandensein mehrerer Rauschquellen gemessen werden, wie Schmalband-Interferenz, Stromeinspeisung, Online-Transienten oder Nebensprechen fremder Kabelbündel. Der Messaufbau kann Rauschquellen, Verstärker und Kopplungsschaltungen umfassen, die es ermöglichen, präzise Rauschpegel in eine aktive SerDes-Verbindung zu injizieren. Die Signalqualitätsregister des Prüflings werden dann abgefragt, um zu überprüfen, ob der Empfänger die Symbole in Gegenwart von Rauschen korrekt interpretieren kann. Der Schwerpunkt beim Empfängertest liegt auf der Belastung des Empfängers, um sicherzustellen, dass er die BER-Raten beibehalten kann. ■ (eck)

www.keysight.com



Carrie Brown ist Produktmanagerin für den Geschäftsbereich autonome Fahrzeuge bei Keysight Technologies.

© Keysight Technologies



Kevin Kershner ist verantwortlich für die Definition der Anforderungen an zukünftige IVN-Lösungen von Keysight. Er nimmt an MIPI A-PHY, ASA- und VESA-Standardtreffen teil.

© Keysight Technologies