

Kommunikationsprotokolle in modernen ADAS-Architekturen



Chanakya Mehta

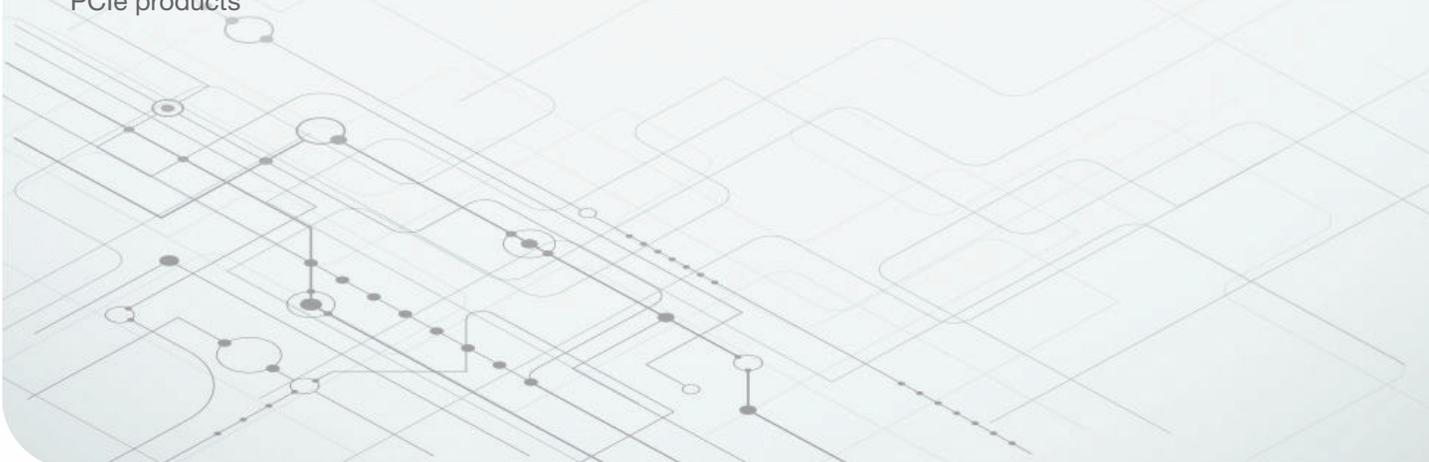
Systems and applications manager
FPD-Link™ SerDes

Shannon Lippincott

Product marketing engineer
Transceivers

Connie Lu

Product marketing engineer
PCIe products



Das moderne Fahrzeug nutzt Hochgeschwindigkeits-Kommunikationstechnologien für den Automobilbereich, die Daten schneller und weiter übertragen, um die Fahrzeugsicherheit und -autonomie zu verbessern.

Auf einen Blick

In diesem Dokument werden vier Kommunikationsprotokolle für die Automobilindustrie und ihre Koexistenz untersucht, um die Fahrzeugsicherheit und -autonomie zu verbessern.

-  **1 Ethernet**
Ethernet ermöglicht Hochgeschwindigkeits-Datenübertragungen durch das gesamte Fahrzeug
-  **2 FPD-Link-Technologie**
Flat Panel Display (FPD)-Link optimiert Daten von Kameraeingängen mit unkomprimierten Echtzeitdaten.
-  **3 CAN-Bus**
Controller Area Network (CAN) priorisiert Daten von verschiedenen elektronischen Steuergeräten (ECUs).
-  **4 PCIe-Technologie**
Peripheral Component Interconnect Express (PCIe) erfüllt die Leistungsanforderungen mit hoher Bandbreite und extrem geringer Latenz.

Einführung

Elektrische Komponenten in Fahrzeugen wurden erstmals im Jahr 1915 eingeführt, als Ford Motor Co. elektrische Lichter und ein elektrisches Horn in seinem Modell T-Automobil eingeführt. Seitdem nimmt die Abhängigkeit von elektrischen und elektronischen

Systemen in Automobilen stetig zu. Die anfänglichen Systeme waren in der Regel lokal und unabhängig – ein Schalter, der die direkt an die Batterie angeschlossenen Scheinwerfer steuerte, oder ein Relais, das einen monotonen Lautsprecher steuerte.

Mit der Weiterentwicklung der Architekturen haben sich auch die Mechanismen weiterentwickelt, durch die verschiedene Subsysteme innerhalb des Fahrzeugs kommunizieren. Da das Fahrzeug beispielsweise reduziertes Umgebungslicht außerhalb des Fahrzeugs erkennt, aktiviert es möglicherweise automatisch die Scheinwerfer, aber das ist noch nicht alles. Es würde wahrscheinlich die Helligkeitsniveaus auf allen Displays anpassen, den Weißabgleich aller Kameras optimieren, den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug erhöhen und den Bremsmodulen mehr Gewicht verleihen, um ein sichereres Fahrerlebnis zu schaffen.

Mit dem Streben nach autonomen Fahrzeugen steigt der Kommunikationsaufwand, um sicher und in Echtzeit wie möglich zu sein. Diese Herausforderung wird nur noch dadurch verschärft, dass die Menge der gesendeten und empfangenen Daten nicht mehr in Hunderten Kilobits pro Sekunde, sondern in Dutzenden Gigabits pro Sekunde liegt.

In diesem Dokument werden vier Kommunikationsprotokolle für die Automobilindustrie untersucht: Ethernet, FPD-Link-™ Technologie (ein proprietäres Automobil-Serializer/Deserializer (SerDes)-Protokoll), CAN-Bus und PCIe-Bus. Sie zeigen die Kernnuancen jeder Technologie und bieten Beispiele und Funktionen, bei denen diese Technologien moderne

ADAS-Architekturen (Automobil-Fahrerassistenzsysteme) unterstützen, wie dargestellt in **Abbildung 1**.



Abbildung 1. Kommunikationstechnologie im Fahrzeug hervorgehoben.

Ethernet

Ethernet ist eine der am weitesten verbreiteten Hochgeschwindigkeitsschnittstellen zu Hause und im Büro und entwickelt sich zu einem vorherrschenden Kommunikationsprotokoll für Fahrzeuge. Einige Fahrzeuge verwenden Ethernet zur Übertragung einer Vielzahl von Hochgeschwindigkeitsdaten; Automobilanwendungen wie Radar- und Lidar-Module verwenden Single-Pair-Ethernet-Technologie. Single-Pair-Ethernet verwendet den Ethernet-Standard, aber die Daten werden über ein einziges verdrehtes Leiterpaar übertragen, was ein geringeres Kabelgewicht und niedrigere Kosten im Fahrzeug ermöglicht.

Ethernet ist ein paketisiertes System, bei dem Pakete zwischen Knoten auf verschiedenen Teilen der Netzwerkinformationen übertragen. Ethernet ist ebenso wie ein CAN-Bus bidirektional, und die Geschwindigkeit jeder einzelnen Verbindung nimmt mit steigender Anzahl von Knoten im System ab. Bei Single-Pair-Ethernet ist die Geschwindigkeit jeder einzelnen Verbindung auf eine bestimmte Geschwindigkeit (10 Mbit/s, 100 Mbit/s, 1 Gbit/s) begrenzt, und es dürfen keine dynamischen Geschwindigkeitsänderungen auf der Verbindung auftreten. Dennoch kann Single-Pair-Ethernet Daten über eine Verbindung bis zu 1.000-mal schneller als ein CAN-Bus übertragen. Der Wechsel zu Single-Pair-Ethernet würde die Datenübertragungsgeschwindigkeit

über einen CAN-Bus optimieren. Da Ethernet jedoch höhere Kosten pro Knoten hat, wird es wahrscheinlich keinen CAN-Bus ersetzen – sondern erweitern.

In einigen Fahrzeugen wird heutzutage Single-Pair-Ethernet für datenintensive Anforderungen wie Backup-Kameras und Radar verwendet. So sind beispielsweise der **DP83TC812S-Q1** und der **DP83TG720S-Q1** von Texas Instruments (TI) Single-Pair-Ethernet-Physical-Layer (Phys), die gemäß den Automobilstandards Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 802.3bw und 802.3bp des Automotive Council-Q100 der Güte 1 und 2 abgeschirmt sind und einen Loopback-Testmodus zur Erleichterung der Systemdiagnose enthalten. Um Video über ein Ethernet-Netzwerk zu übertragen, muss das Video, selbst wenn nur ein Videokanal übertragen wird, an der Quelle komprimiert und dann am Ziel dekomprimiert werden, um im Gegensatz zur FPD-Link™ -Technologie, die den unkomprimierten Transport von Videodaten ermöglicht, eine Überschreitung der Ethernet-Bandbreitenbeschränkungen zu vermeiden. Bei Anwendungen wie Backup-Kameras muss die Kamera mit einem Prozessor mit relativ hoher Leistung ausgestattet sein, der das Bild ausreichend komprimiert, um es in das Ethernet-Netzwerk einzubinden.

Der Bedarf an einem leistungsstarken Prozessor wiederum bedeutet, dass die Kamera physisch größer und teurer wird. Die Kamera weist eine höhere Verlustleistung auf als ein Ansatz, bei dem nicht viel Bildverarbeitung erforderlich ist. Ein weiterer Nachteil dieser Lösung ist, dass die Videokomprimierung und -Dekomprimierung die Latenzzeit der Verbindung erhöhen. Wenn mehrere Kameras oder andere Videoquellen das gleiche Ethernet-Netzwerk nutzen, besteht ein Kompromiss zwischen dem Komprimierungsgrad (und der entsprechenden Videoqualität) und der Anzahl der unterstützten Videokanäle. Es ist möglich, diese Einschränkung zu verringern, indem mehrere Netzwerke innerhalb des Fahrzeugs in einer hierarchischen

Konfiguration eingerichtet werden. Es gibt ein Netzwerk, das sich ausschließlich mit Motorsteuerung und Diagnose beschäftigt, ein zweites Netzwerk, das das Rücksitzunterhaltungsprogramm und das Audiosystem übernimmt, und ein anderes Netzwerk, das Fahrerassistenzfunktionen wie Bildverarbeitungskameras übernimmt. Letztlich bietet Single-Pair-Ethernet eine höhere Kapazität als der CAN-Bus zur Übertragung von Daten wie Radar und Lidar, was zu Lasten der größeren Komplexität geht. Es ist jedoch immer noch schwer, Anwendungen mit der höchsten Bandbreite wie Video zu verarbeiten.

FPD-Link-Technologie

FPD-Link ist eine proprietäre SerDes-Technologie für den Automobilbereich, die für die unkomprimierte Echtzeitübertragung von Daten mit hoher Bandbreite entwickelt wurde. FPD-Link wurde speziell für den Transport von Videodaten innerhalb des Fahrzeugs entwickelt. Dies ermöglicht eine verbesserte Datenanalyse und -verarbeitung in Fahrerassistenzanwendungen. So können beispielsweise unkomprimierte Videos an ein Display gesendet werden, während der Rückkanal Informationen von einer nach außen gerichteten Kamera an den Prozessor sendet, der Bildverarbeitung und Algorithmen verwendet, um ein Befehlssignal zurück an das Auto oder den Fahrer zu senden, beispielsweise zum automatischen Bremsen. Die Bitübertragungsschicht für FPD-Link ist entweder ein verdrehtes Leiterpaar oder ein Koaxialkabel. Die Verkabelung ist dediziert, sodass bei Verwendung von FPD-Link für eine Backup-Kamera ein Kabel von der Kamera zu einem Prozessor und ein zweites Kabel vom Prozessor zum Display in Fahrzeuginnenen führt. Der große Vorteil der Verwendung von FPD-Link in dieser Anwendung besteht darin, dass sowohl die Kamera als auch das Display wesentlich einfachere Schaltungen sein können, da Komprimierung und Dekomprimierung nicht erforderlich sind.

Da die Links dediziert sind, ist die Bildqualität eines Videosystems unabhängig davon, was sonst im Fahrzeug passiert. FPD-Link hat eine Vorwärtskanalbandbreite von 25 Gbps+ und einen simultanen Rückkanal mit niedriger Geschwindigkeit. Der Rückkanal kann zum Transport eines I2C-Busses mit 400 Kbit/s oder zur Steuerung von GPIO-Leitungen mit Raten von bis zu 1 Mbit/s verwendet werden. Über den Rückkanal können Sie eine Kamera konfigurieren, ein Zoomobjektiv bedienen oder Touchscreen-Informationen an einen Controller zurücksenden, ohne den Videofluss auf dem Vorwärtskanal zu unterbrechen. Bei selbstfahrenden Fahrzeugen wird ein weiterer wichtiger Faktor die Latenzzeit in der Verbindung sein. Die Verarbeitung, die zum Komprimieren und Dekomprimieren eines Bildes erforderlich ist, erhöht diese Latenz. Bei Anwendungen wie der Rücksitzunterhaltung ist eine Verzögerung zwischen dem Lesen der Daten von einer DVD und der Anzeige auf dem Bildschirm nicht wichtig. Wenn das zu transportierende Bild jedoch von einer Kamera stammt, die auf der Suche nach Fußgängern ist, die sich auf der Fahrbahn des Fahrzeugs befinden, kann die Latenz gravierende Folgen haben. FPD-Link eignet sich perfekt für Verbindungen, bei denen hohe Bandbreite und kurze Latenzzeit die wichtigsten Faktoren sind. Darüber hinaus vereinfacht die Möglichkeit zur Unterstützung eines Rückkanals und der Stromversorgung über eine einzelne Twisted-Pair- oder Koaxialverbindung die Verdrahtung und kann dazu beitragen, die Komplexität des Gesamtsystemdesigns zu reduzieren.

Abbildung 1 Zeigt einen OMAP-™ Videoprozessor, der mit zwei verschiedenen Kameras und einem Display mit einem einzelnen Twisted-Pair-Kabel an jedem Peripheriegerät angeschlossen ist. Dieses Twisted-Pair-Kabel unterstützt Kamera-Videodaten und Touchscreen- oder Kamera-Setup-Daten. Das Kabel kann auch den Bildschirm oder die Kamera mit Strom versorgen. Da jede Verbindung einem Peripheriegerät gewidmet ist, eliminiert es das Risiko von Störungen zwischen

den Signalen der beiden Kameras. Dies verbessert die Datenintegrität für die Verarbeitung und Analyse, wodurch ADAS-Funktionen zuverlässiger und genauer werden. Die Möglichkeit, Daten von mehreren Kameras zu übertragen, ist besonders vorteilhaft für Rundumsicht-Anwendungen wie das automatische Einparken, bei

denen eine 360-Grad-Ansicht der Fahrzeugumgebung dem Fahrer wichtige Informationen für ein sichereres Fahrerlebnis liefern kann. Erfahren Sie mehr über die Grundlagen von FPD-Link in unserem Video [Was ist FPD-Link?](#).

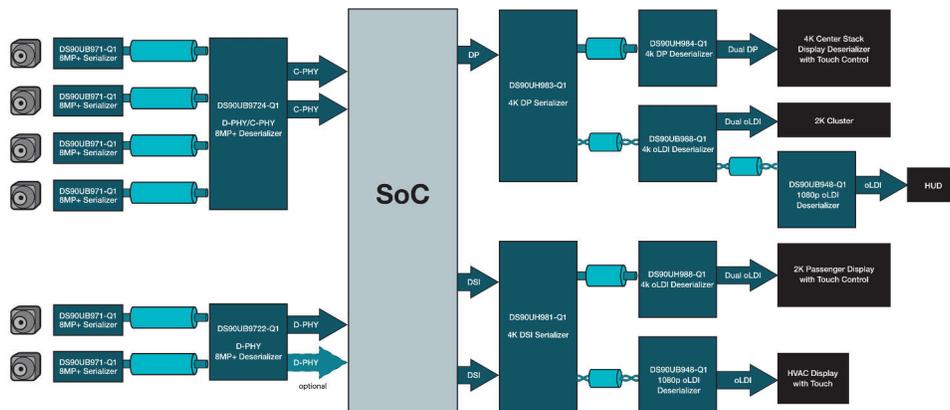


Abbildung 2. Multi-Kamera-System mit FPD-Link.

CAN-Bus

DIE CAN-Kommunikation hat sich seit ihrer Entwicklung durch die Robert Bosch GmbH in den 1980er Jahren stark weiterentwickelt. Das Multidrop-Netzwerkprotokoll reduzierte die im Fahrzeug erforderliche Kabelverdrahtung erheblich und ermöglichte gleichzeitig ein Vermittlungskommunikationssystem, das Buszugriff auf den Knoten mit höchster Priorität auf dem Bus gewährt. Das CAN-Protokoll und die Bitübertragungsschicht wurden Anfang der 1990er Jahre für Datenraten bis 1 Mbit/s genormt. Die heutige CAN-Kommunikation erreicht Geschwindigkeiten von bis zu 10 Mbit/s und überbrückt die Lücke zwischen dem klassischen 1990s CAN und Low-Speed-Ethernet für die Automobilindustrie wie 10Base-T.

CAN ist ein serieller Multicommander-Bus; mit anderen Worten: Kein einzelner Commander-Knoten steuert,

wenn einzelne Knoten den CAN-Bus lesen und schreiben können. Jeder Meldungsrahmen enthält eine Kennung, die die Priorität der CAN-Meldung festlegt. Wenn mehrere Knoten gleichzeitig versuchen, an den CAN-Bus zu übertragen, übernimmt der Knoten mit der höchsten Priorität (oder der niedrigsten Arbitration-ID) die Kontrolle über den Bus. DIE CAN-Kommunikation ist in rauen Umgebungen zuverlässig und ermöglicht Steuergeräten die Kommunikation mit nur einem einzigen Kabelpaar.

Als CAN in den 1980er Jahren ursprünglich entwickelt wurde, war die Anzahl der Steuergeräte in einem Fahrzeug relativ gering. Heute können Pkw mehr als 100 Steuergeräte enthalten, die Funktionen steuern, die von der wesentlichen Servolenkung bis hin zu Luxusfunktionen wie Sitzmassagegeräten und Lenkradheizungen reichen. Mit der Zunahme von Steuergeräten und dem Bedarf an fortschrittlicheren

Sicherheitsfunktionen in Pkws hat sich auch die CAN-Kommunikation weiterentwickelt.

Tabelle 1 Enthält weitere Informationen über CAN-Kommunikationsnetzwerke, einschließlich neuer Standards wie CAN FD Light, CAN Signal Improvement Capability (SIC) und CAN Extra Long (XL). Erfahren Sie mehr über CAN in der [Einführung zum Controller Area Network \(CAN\)](#).

Protokoll	Bitrate	Standard-	Beschreibung
CAN XL	10 Mbps +	CiA 610-1	CAN XL erhöhte die maximale Nutzlast auf 2 kB, um eine noch höhere Bitrate zu ermöglichen und somit die Lücke zwischen CAN und Low-Speed-Ethernet zu schließen
CAN FD SIC	< 8 Mbit/s	CiA 601-4	Die Signalverbesserungsfunktion reduziert das Überspringen an der dominanten zu rezessiven Flanke, um komplexere Topologien zu ermöglichen
CAN FD-Leuchte	≤ 5 Mbps	CiA 604-1	Zweidraht-Commander-Responder-Architektur mit der Robustheit der Bitübertragungsschicht des CAN-FD
CAN FD	< 5 Mbit/s	ISO 11898	Flexible Datenrate erhöhte die maximale Nutzlast von 64 Byte, um eine höhere Bitrate zu ermöglichen
CAN	≤ 1 Mbps	ISO 11898	Zweiadrigser serieller Multicommander-Bus mit einer maximalen Nutzlast von 8 Bytes
Local Interconnect Network (LIN)	1 – 20 kbps	ISO 17987	Einzeldraht-Commander-Responder-Architektur

Tabelle 1. Die Entwicklung von CAN.

PCle-Technologie

PCle ist ein Kommunikationsstandard für bidirektionale serielle Hochgeschwindigkeits-Busse, welche die Leistungsanforderungen mit hoher Bandbreite und extrem kurzer Latenzzeit erfüllen. PCle, das häufiger in industriellen Anwendungen eingesetzt wird, kommt jetzt auch in Automobilanwendungen zum Einsatz, da Hersteller damit begonnen haben, die Daten-Backbone-Architektur zu überdenken, um Systeme

mit hoher Bandbreite und geringer Latenz zu unterstützen, die den exponentiellen Anstieg der Sensordaten und Benutzerinformationen verarbeiten, der Echtzeitverarbeitung erfordert.

Um diese Herausforderung zu lösen, unterstützt ein zentralisierter Rechenknoten viele verschiedene Domärentypen (ADAS, Infotainment, Antriebsstrang). Diese zentralisierte Recheneinheit würde in der Regel viele Module enthalten, die verschiedene Funktionen des Fahrzeugs unterstützen. So erhalten Autohersteller die Flexibilität, Funktionen des Fahrzeugs nach oben und unten zu skalieren und anzupassen, ohne den gesamten Domänencontroller neu zu gestalten. Da PCle einen komplexen Root oder eine CPU (Central Processing Unit) für viele Endpunkte oder Empfänger unterstützt, kann ein zentralisiertes und modulares Design mit PCle die Gesamtzahl der in einem Auto benötigten Steuergeräte und Kabel erheblich reduzieren.

Als in der Automobilindustrie Coprocessing und Redundanz über den Daten-Backbone erforderlich wurden, wurde PCle immer attraktiver, da viele CPUs über eine native PCle-Schnittstelle verfügen und keine zusätzlichen Schnittstellenumwandlungen über die Backplane erfordern. PCle verfügt über ein riesiges Ökosystem mit offenen Softwareressourcen und hat die Bandbreite von Generation zu Generation mit einer sehr skalierbaren Bandbreite konsistent verdoppelt. So ist es möglich, dass das PCle-Protokoll mit der Bandbreite mithalten kann, die durch das exponentielle Wachstum der Datenverarbeitung in der Automobilindustrie erforderlich ist.

Beim Entwickeln eines Hochgeschwindigkeits-Datensignalwegs kann Signalverschlechterung zu einer großen Herausforderung werden. Zur Wiederherstellung und Kompensation der Einfügedämpfung und des Rauschens von Leiterplattenmaterial, Durchkontaktierungen, Steckverbindern oder über Kabel kann ein Signalumformer wie ein Redriver oder Retimer erforderlich sein. Sowohl Redriver als auch Retimer

verfügen über eine zuverlässige und lange Geschichte im PCIe-Ökosystem und verbessern die allgemeine Signalintegrität für die Übertragung von Daten über das PCIe-Protokoll. **Tabelle 2** Listet die Unterschiede zwischen einem Redriver und einem Retimer auf. Erfahren Sie mehr über die Elemente, die den PCIe-Signalpfad ausmachen, indem Sie das Video ansehen und Probleme mit der **PCIe-Signalintegrität lösen**.

Linearer PCIe-Redriver	PCIe-Retimer
Geringer Stromverbrauch (kein Kühlkörper erforderlich)	Hoher Stromverbrauch (in den meisten Fällen wird ein Kühlkörper benötigt)
Extrem kurze Latenzzeit (100 ps)	Mittlere Latenz (≤ 64 ns basierend auf PCIe 4,0-Spezifikationsanforderung)
Nimmt nicht an Link-Training teil, ist aber für Verhandlungen zwischen Root Complex (CPU) und Endpunkt (EP) transparent (protokollunabhängig)	Vollständige Teilnahme an Link-Training mit Root Complex (CPU) und Endpunkt (EP) (protokollfähig)
100-MHz-Referenztakt ist nicht erforderlich	100-MHz-Referenztakt ist erforderlich
Hilft bei Einfügedämpfung	Hilft bei Einfügedämpfung, Jitter, Übersprechen, Reflexionen und Lane-to-Lane-Versatz
CTLE ist die typische verwendete Entzerrungsschaltung	CTLE, DFE und Sender-FIR sind typische verwendete Entzerrungsschaltungen
Die Gesamtkosten für die Lösung liegen bei ca. 1X	Die Gesamtkosten für die Lösung liegen bei etwa 1,3 bis 1,5X

Tabelle 2. Vergleich eines PCIe-Redrivers und -retimers.

Fazit

Welche Schnittstelle eignet sich am besten für die Kommunikation im Automobilbereich? Das tun sie alle – aber jede für ihren eigenen Zweck. Wenn die Bandbreitenanforderungen steigen, z. B. für Radar- und LIDAR-Datenübertragungen, unterstützt Ethernet die erforderlichen Bandbreitenanforderungen. Wenn die höchste Bandbreite und die niedrigste Latenz erforderlich sind, wie zum Beispiel für ein Rundumsicht-Kamerasystem, das Eingangssignale für ein autonomes

Fahrzeug bereitstellt, dann ist FPD-Link bereit, sich der Herausforderung zu stellen. Der CAN-Bus bietet weiterhin ADAS-Unterstützung für Steueranwendungen bei niedrigen Drehzahlen, bei denen der Kostenfaktor ein wichtiger Faktor ist, wie Datenpriorisierung, Airbag-Auslösung und mehr. PCIe kann die Anforderungen an das Verschieben der ständig wachsenden Menge an Sensordaten und Benutzerinformationen erfüllen, die eine Echtzeitverarbeitung erfordern. Zusammen bilden diese vier kritischen Kommunikationsprotokolle für die Automobilindustrie ein integriertes, vernetztes Fahrzeug, das die Sicherheit des Fahrers in Echtzeit unterstützt und die ständig wachsenden Anforderungen an ADAS-Architekturen erfüllt. Erfahren Sie bei **Sensor Fusion** mehr darüber, wie unsere fortschrittlichen Kommunikationstechnologien die Zuverlässigkeit für sicherheitskritische Fahrerassistenzanwendungen verbessern.

Quellennachweise

1. **Was ist FPD-Link?**
2. Texas Instruments: **Einführung in das Controller Area Network (CAN)**
3. **Lösen von Herausforderungen bei der PCIe-Signalintegrität**

Wichtiger Hinweis: Die hier beschriebenen Produkte und Dienstleistungen von Texas Instruments Incorporated und seinen Tochterunternehmen werden unter den Standard-Verkaufsbedingungen von TI verkauft. Den Kunden wird empfohlen, aktuelle und vollständige Informationen zu TI-Produkten und Dienstleistungen einzuholen, bevor sie Bestellungen platzieren. TI übernimmt keine Haftung für Anwendungsunterstützung, Kundenanwendungen oder Produktdesigns, Softwareleistung oder Verletzung von Patenten. Die Veröffentlichung von Informationen über Produkte oder Dienstleistungen anderer Unternehmen bedeutet keine Genehmigung, Garantie oder Empfehlung seitens TI.

FPD-Link-™ and OMAP-™ are trademarks of Texas Instruments. All trademarks are the property of their respective owners.

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated