Fraunhofer IPMS

Whitepaper

Zonenbasierte Automotive E/E-Architektur: CAN XL und Automotive Ethernet

Inhalt

1. Zonenbasierte E/E-Architektur

2. Automotive Ethernet Backbone

3. CAN XL und 10BASE-T1S

4. Automotive Subsystem des Fraunhofer IPMS

5. Fazit

1. Zonenbasierte E/E-Architektur

Drei große Trends revolutionieren derzeit das Fahrzeug-Design: das automatisierte, elektrische und das vernetzte Fahren. Diese Trends haben weitreichende Folgen für die Elektrische/Elektronische Architektur (E/E-Architektur) des Fahrzeugs.

Herkömmliche Bordnetz-Architekturen, die bisher in der Regel durch signalbasierte Kommunikation und physikalisch getrennte Bussysteme mit unterschiedlichen Funktionen geprägt waren, sollen durch zonale E/E-Architekturen ersetzt werden. Im zonalen Ansatz werden die Endgeräte nicht gemäß ihrer Funktion, sondern nach ihrer optimalen Verortung innerhalb des Fahrzeugs verteilt und miteinander vernetzt. Eine derartige Architektur bietet das Potential die Gesamtlänge des Kabelbaums, um bis zu 50 % zu verringern, ein Bauteil, das zu den größten, schwersten und kostenintensivsten im Fahrzeug gehört. In simplen Fahrzeugarchitekturen existieren bspw. vier Zonen, eine für jede Ecke des Fahrzeugs, wie in Abbildung 1 dargestellt. Alle Geräte in einer Zone werden von einer oder mehreren ECUs gesteuert, die mit einem zonalen Gateway verbunden sind. Diese Gateways sind einerseits mit dem jeweils nächsten Gateway verbunden und andererseits über eine Basisnetzwerkstruktur (Backbone) mit Automotive Ethernet vernetzt und können so in Verbindung mit einem oder mehreren zentralen Vehicle Computer stehen, die die Hauptfunktionalitäten in der zonalen Architektur verwalten. Ziel dieser Architektur ist es einerseits die gewichtsintensive Verkabelung und die Anzahl der Steuergeräte zu verringern, als auch die steigende Daten- und Rechenleistung, die vor allem durch neue Technologien für das automatisierte Fahren (englisch=Advanced Driver Assistant Systems, kurz ADAS) notwendig werden, gerecht zu werden.

Die Nutzung einer Middleware, die als ein software-basiertes Overlay über mehrere Steuergeräte hinweg dient, soll die funktionsübergreifende Kommunikation erleichtern. Diese zukünftige Architektur soll es außerdem erlauben, neue Funktionen und Aktualisierungen unabhängig von Bussystem und Hardware zu implementieren. Das Konzept, das auch als software-definiertes Fahrzeug bezeichnet wird, verlangt nach einer breitbandigen und dynamischen Datenübertragung im Fahrzeug. Daraus ergeben sich neue Anforderungen an das Netzwerk, die vorherrschende Netzwerkprotokolle wie CAN vor neue Herausforderungen stellt und Automotive Ethernet endgültig als Backbone des Fahrzeugs etabliert.

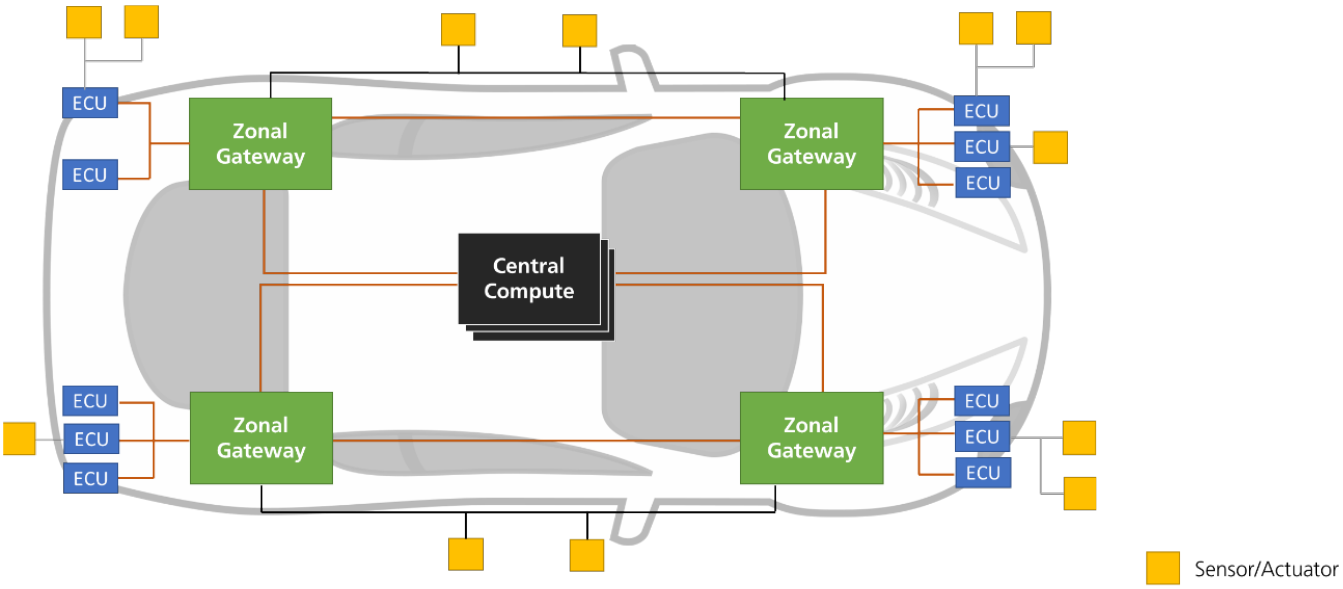

Abbildung 1: Zonenbasierte E/E-Architektur

2. Automotive Ethernet Backbone

Die traditionellen Kommunikationsnetze im Fahrzeug ermöglichen zwar eine Kommunikation mit geringer Latenz, erfüllen aber nicht die Anforderungen an die hohe Bandbreite. Ethernet ist eine Technologie, die schon seit langem in der Computervernetzung und mittlerweile auch in der Industrieautomatisierung etabliert ist. Die Automobilarchitektur hat allerdings einzigartige Anforderungen. Klassische Ethernet-Kabel nutzen zur Datenübertragung vier differentielle Leiterpaare, was zusätzliches Gewicht und eine komplexe Verlegung der Kabel bedeutet, ein deutlicher Nachteil für die Automobilanwendungen. Um dieses Problem zu lösen, wurden vom IEEE spezielle Physical-Layer-Standards für den Einsatz in Konnektivitätsanwendungen des Automobilbereiches entwickelt. Diese sind 802.3bw (100BASE-T1), 802.3bp (1000BASE-T1) sowie 802.3.cg (10BASE-T1S) und 802.3ch (2.5/5/10 GBASE-T1). Neue Standards 802.3cy (25 Gbit/s), 802.3cz (optische 2,5/5/10/25/50 Gbit/s) und 802.3dh sind in Vorbereitung, um Konnektivität mit mehr als 10 Gbit/s zu ermöglichen.

Das ursprüngliche Ethernet ist allerdings nicht für deterministische Anforderungen ausgelegt, weswegen sich eine Taskforce der IEEE namens Ethernet AVB- Task Force (Audio Video Bridging) dieser Herausforderung annahm. Die daraus entwickelten Standards werden heute von der IEEE Time Sensitive Networking (TSN)-Arbeitsgruppe weiterentwickelt. Die Arbeitsgruppe hat eine Reihe von Standards entwickelt, um die Anforderungen an die fahrzeuginterne Kommunikation mit hoher Bandbreite und niedriger Latenzzeit zu erfüllen. Dazu gehört unter anderem die Unterstützung von Taktsynchronisation, Ressourcenreservierung für verschiedene Arten von Datenverkehr, verschiedene Traffic Shaper, Unterstützung von planmäßigem Datenverkehr, Frame Preemption (Unterbrechung und damit Fragmentierung von Frames) und Netzwerkmanagement-Mechanismen. Dieses Ethernet bildet das Backbone der zonalen Architektur.

3. CAN XL und 10BASE-T1S

Für die Konnektivität bis zu den Sensoren und Aktoren kommen derzeit vor allem zwei Technologien in Frage: CAN oder 10BASE-T1S. Beide Technologien schließen die Bitratenlücke. Knapp 90 Prozent aller Netzwerkknoten im Fahrzeug kommunizieren mit Geschwindigkeiten bis zu 10 Mbit/s, was zu einer hohen Anwendungsbreite über Audio, Radar, Ultraschall bis zur Karosseriesteuerung führt. Sie bieten eine vergleichbare Performance und haben mehrere Verbesserungen in Bezug auf die Nutzbarkeit von Protokollen auf höherer Ebene, z.B. in Bezug auf Security oder Energieversorgung, berücksichtigt.

Die klassischen CAN-Varianten haben sich seit über drei Jahrzehnten in Fahrzeugen bewährt. CAN und CAN FD arbeiten im Bereich von 0,5...5 Mbit/s und werden vor allem im Bereich der Motor- und Karosseriesteuerung eingesetzt. CAN XL ist eine Weiterentwicklung von CAN und CAN FD und soll die Lücke in der Übertragungsrate zwischen der signalbasierten Kommunikation und der IP-basierten Automotive Ethernet-Technologie schließen. Erste Arbeiten wurden bereits 2018 im Rahmen der CAN in Automation (CiA) begonnen. Im Gegensatz zum klassischen CAN- und zum CAN-FD-Protokoll wurde beim CAN-XL-Protokoll die Doppelfunktion des CAN-Identifiers separiert. In den ersten beiden CAN-Protokoll-Generationen diente das 11 Bit beziehungsweise 29 Bit lange ID-Feld sowohl einer eindeutigen Prioritätszuteilung für den Buszugriff, als auch zur Inhaltskennzeichnung. In CAN XL gibt es dagegen ein 11 Bit langes Prioritäts-Feld (priority field) und ein separates 32 Bit langes Akzeptanz-Feld (acceptance field), in dem eine Adresse oder eine Inhaltskennzeichnung steht, die vom nächsthöheren Protokoll ausgewertet wird. Dies erlaubt nun eine Trennung der Prioritätsfunktion von der Adress- und Inhaltsfunktion. Nicht nur die höhere Datenübertragungsrate bis 20 Mbit/s ist für künftige Automobilanwendungen wichtig, ein entscheidender Faktor von CAN XL ist auch die skalierbare Nutzdatenläge, die eine variable Länge von 1...2048 Byte bereitstellt, statt zuvor

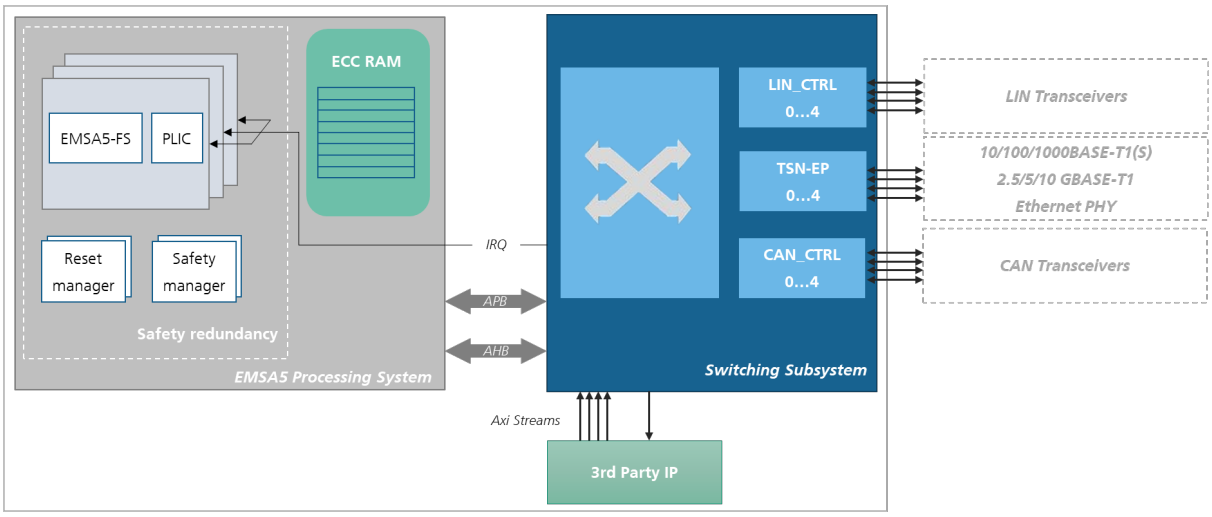

Abbildung 2: Automotive Multiprotocol Subsystem

8 Byte oder bis zu 64 Byte bei CAN FD. Das versetzt künftige Kommunikationssysteme im Automobil außerdem in die Lage, Ethernet-Frames direkt in CAN-XL-Botschaften zu verpacken und so IP-Kommunikation via CAN XL zu nutzen, um so die Interoperabilität zu verbessern. Mit einer angestrebten Datenrate bis zu 20 Mbit/s sowie dem maximalen Payload von 2048 Bytes erlaubt CAN XL das Tunneln von TCP/IP-Paketen, womit eine deutlich bessere Interoperabilität und darüber eine Öffnung für neuartige Anwendungen erreicht wird. Der Anschluss von CAN-XL Zweigen an 100BASE-T1 Strukturen erfordert in der Regel ein Gateway.

Anders als andere Ethernet-Standards besitzt 10BASE-T1S Ähnlichkeiten zu CAN. So überträgt dieser ebenso mit zwei verdrillten, differentiellen Adern im Halbduplex-Betrieb und besitzt ein Verfahren zur garantierten Kollisionsvermeidung, um die Integrität des Frames zu garantieren. Anders als die typischen Point-to-Point-Verbindungen von Ethernet setzt auch 10BASE-T1S auf eine Shared-Bus-Verbindung. 10BASE-T1S arbeitet mit einer Übertragungsrate von 10 Mbit/s . "S" steht für Short Distance, dass sich speziell auf den Automobilbereich bezieht und eben für kurze Distanzen bis 25 Meter steht. Die Netzwerkteilnehmer sind über kurze Stich-Leitungen (Stubs) in einer sogenannten Multi-Drop-Bustopologie, an eine gemeinsame Ethernet-Leitung angebunden. Der kollisionsfreie Zugriff wird mittels PLCA (Physical Layer Collision Avoidance) ermöglicht. Ziel des PLCA-Verfahrens ist es, durch Halbduplex- und Multidrop-Übertragungen eine hohe Übertragungsleistung bei geringer Knotenzahl zu erreichen. Da das Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Zugriffsverfahren für Halbduplex-Übertragungen eine zufällige, unbestimmbare Latenzzeit verursacht, ist es für Echtzeitanwendungen nur bedingt geeignet. Im Gegensatz dazu garantiert PLCA spezifische Latenzzeit und einen höheren Durchsatz. Die Kopplung an 100BASE-T1 ist über einen Switch möglich.

4. Automotive Subsystem des Fraunhofer IPMS

Das Fraunhofer IPMS entwickelt seit mehr als 20 Jahren IP Cores, vor allem für den Automotive-Bereich. Der CAN-CTRL IP Core war der erste IP-Core, der zur Lizensierung bereitgestellt wurde und deckt alle Standards beginnend bei CAN 2.0 bis CAN XL ab. Das IPMS ist außerdem Mitglied der CAN in Automation und arbeitet aktiv an den Standards mit. Neben einem LIN Controller Core bietet das IPMS außerdem umfangreiche Lösungen für das Automotive Ethernet Backbone. Neben einem Low-Latency Ethernet MAC Core wurde eine TSN IP-Core-Familie bestehend aus einer Endpunktlösung (TSN-EP) einer Switched Endpunkt-Lösung (TSN-SE) und einem TSN-Switch (TSN-SW) entwickelt. Der EMSA5-FS, ein auf der RISC-V ISA basierender Prozessor wurde für 32-Bit-(Echtzeit-)anwendungen entwickelt, von der Systemsteuerung bis hin zu Hardware-Sicherheitsmodulen (HSMs) und Safety-Islands, und natürlich für den Einsatz als eigenständiger Mikrocontroller.

Ein besonderer Fokus liegt auf der Entwicklung von sicherheitskritischen elektronischen Systemen nach der ISO 26262. Viele der Fraunhofer IPMS IP Cores sind ASIL-D ready vorzertifiziert und verkürzen so den Entwicklungs- und Zulassungsprozess des Gesamtsystems erheblich, da relevante Dokumente wie die FMEDA (Failure Mode and Effects Analysis) und das Sicherheitshandbuch bereits vorliegen und notwendige Sicherheitsfunktionen vollständig implementiert und getestet sind. Der SGS TÜV Saar ist Zertifizierungspartner für Fraunhofer IPMS IP Cores im Bereich Automotive.

In Abbildung 2 wird ein Automotive Multiprotocol Subsystem dargestellt, dass die Fraunhofer IPMS IP Cores integriert. Der RISC-V Prozessor Core EMSA5-FS verwendet unter anderen den CAN-CTRL IP Core als Peripheriebaustein. Der RISC-V Prozessor Core für funktionale Sicherheit ist als 32-Bit-Prozessor mit fünfstufiger Pipeline ausgelegt. Für automobile Bussysteme sind garantierte niedrige Latenzen und teils hohe Bandbreiten

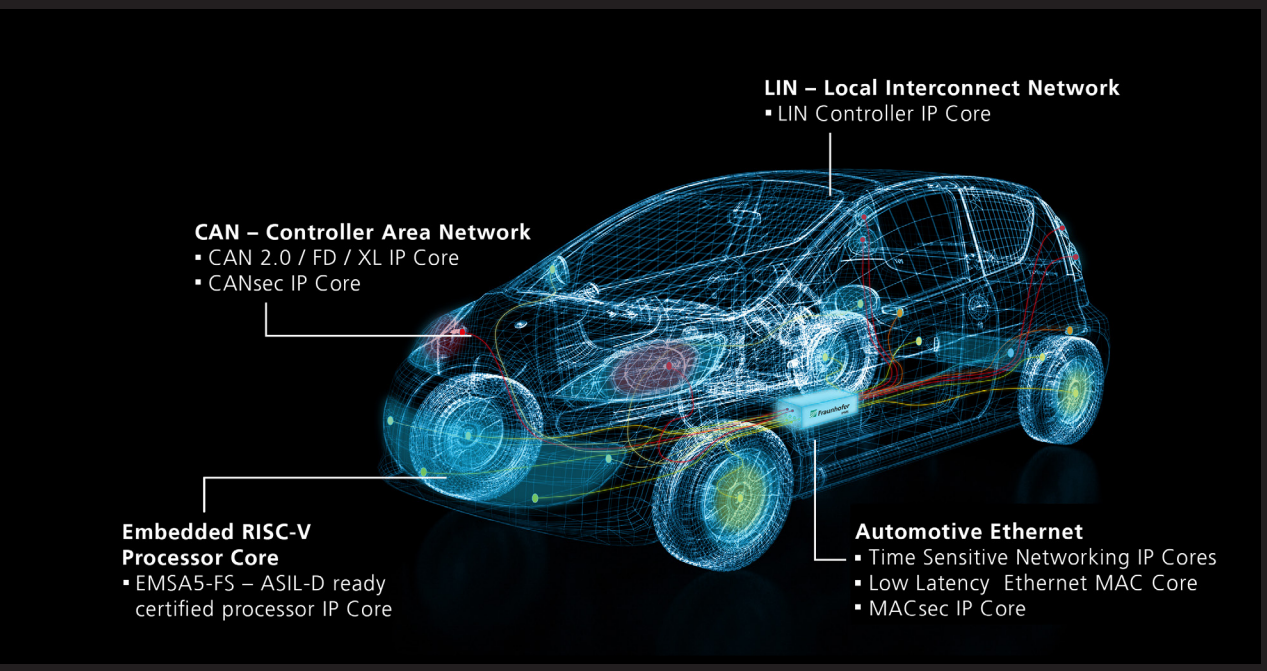

Abbildung 3: Fraunhofer IPMS Automotive IP-Cores

bei der Übertragung von Nutzdaten erforderlich. Dabei kommen neue Kommunikationsprotokolle wie CAN-XL oder Ethernet-TSN im Kontext von Automotive Ethernet parallel zu klassischen Protokollen wie CAN-FD, CAN2.0 oder LIN zum Einsatz. Damit alle Vorteile diverser Bussysteme in Automotive Anwendungsszenarien genutzt werden können, wird zudem Bridging- und Interbus-Switching integriert. Gateways erlauben beispielsweise das Bridging von Datenpaketen zwischen CAN XL und Ethernet und vice versa sowie die Integration von Echtzeitstandards wie TSN. Damit können Echtzeitdatenströme aus Powertrain, Chassis, Cabin und Infotainment, die jeweils verschiedene spezifische Anforderungen mitbringen, in effizienten E/E-Architekturen kombiniert werden. Die gezielte Kombination diverser Protokolle ermöglicht so für jeden Kunden eine zugeschnittene anwendungsnahe Lösung.

5. Fazit

Obwohl Automotive Ethernet das Fahrzeug erobert hat, wird es CAN nicht vollständig verdrängen, sondern eher ergänzen. Mit einer Nutzdatenlängen bis 2048 Byte liefert CAN XL die Voraussetzung künftig auch Ethernet-Frames zu transportieren und IP-Kommunikation zu nutzen. So könnte CAN XL als auch 10BASE-T1S in Zukunft gemeinsam als Bindeglied zwischen der signalbasierten Kommunikation auf den unteren Ebenen und der serviceorientierten Kommunikation der höheren Systeme fungieren. Die notwendige Ko-Existenz von CAN und Ethernet wird vor allem deutlich, wenn man die Evolution der E/E Architektur betrachtet, in der neue und performante elektronische ECUs mit Steuergeräten koexistieren, die aus vergangenen Generationen stammen. Darüber hinaus ist CAN derzeit für vielfältige Anwendungsfälle der Fahrzeugvernetzung kostengünstiger. Unterschiedliche Ansätze in der Automobilindustrie hinsichtlich Kosteneffizienz und Flexibilität erfordern verschiedene Netzwerktechnologien im Fahrzeug, um sich den steigenden Anforderungen der nächsten Jahre technisch und wirtschaftlich optimal anzupassen.

Über das Fraunhofer IPMS

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist die weltweit führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung. Mit ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien sowie auf die Verwertung der Ergebnisse in Wirtschaft und Industrie spielt sie eine zentrale Rolle im Innovationsprozess. Als eins von 76 Instituten arbeitet das Fraunhofer IPMS an elektronischen, mechanischen und optischen Komponenten und ihrer Integration in miniaturisierte Bauelemente und Systeme. Unser Leistungsangebot reicht von der Konzeption über die Produktentwicklung bis zur Pilotfertigung in eigenen Labor- und Reinräumen.

Das Geschäftsfeld DCC entwickelt und lizensiert IP-Cores wie CAN, LIN, TSN und RISC-V an Unternehmen aus verschiedenen Branchen weltweit und hat dabei einen besonderen Fokus auf die funktionale Sicherheit im Automotive-Bereich nach ISO-26262. Neben der Lizensierung von IP-Cores bietet das Fraunhofer IPMS Integrationssupport, kundenspezifische Anpassungen und Erweiterungen, als auch Analog und Mixed-Signal-Design für spezifische Lösungen an.

Kontakt

Stephan Kube
0351 88 23-1211
stephan.kube@ipms.fraunhofer.de

Fraunhofer IPMS
Maria-Reiche-Str. 2
01109 Dresden
www.ipms.fraunhofer.de