

Status Quo der Steuergeräte-Kommunikation

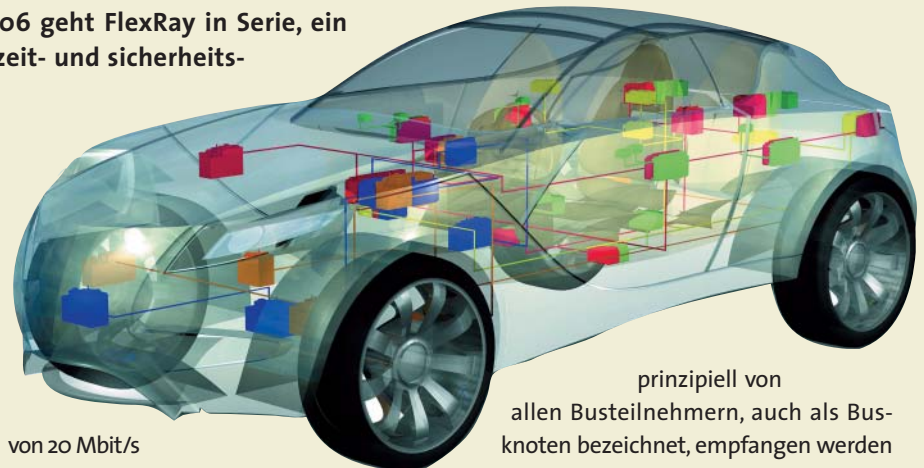
Serielle Bussysteme im Automobil

Um den mit zunehmender Vernetzung einhergehenden Verkabelungsaufwand und damit die Kosten, das Gewicht und den Platzbedarf zu reduzieren, setzen die Kfz-Hersteller schon lange auf die serielle Datenübertragung. Neben dem seriellen Bussystem CAN haben sich in kürzester Zeit auch LIN und MOST im Fahrzeug etabliert. Ende 2006 geht FlexRay in Serie, ein Bussystem speziell für den Einsatz in zeit- und sicherheitskritischen Anwendungen.

Moderne Kraftfahrzeuge weisen eine Vielzahl unterschiedlicher serieller Bussysteme auf (Bild 1). Das 1994 international standardisierte Controller Area Network (CAN) ist das meistverbreitete serielle Bussystem, von dem sich in einem Fahrzeug gleich mehrere befinden: ein eher langsames CAN-Bussystem zur Vernetzung von Komfort-Steuergeräten mit einer maximalen Übertragungsrate von 125 kbit/s (CAN-Low-Speed) und ein schnelles CAN-Bussystem zur Vernetzung von Steuergeräten des Antriebs und Fahrwerks mit einer maximalen Übertragungsrate von 1 Mbit/s (CAN-High-Speed).

LIN (Local Interconnected Network) wird für die kostengünstige und einfache Datenübertragung im Sensor/Aktor-Bereich eingesetzt. Die Datenrate ist auf 20 kbit/s beschränkt, was aber zur Übertragung zeitunkritischer Sensor- und Aktorsignale völlig ausreicht.

Da CAN als ereignisgesteuertes serielles Bussystem bei steigender Buslast die Echtzeitfähigkeit immer weniger garantieren kann, bedarf es für echtzeitkritische Anwendungen im Kfz eines Bussystems, welches unabhängig von der Buslast harte Echtzeit garantiert. Bei echtzeitkritischen Systemen handelt es sich oft auch um sicherheitskritische Systeme. FlexRay ist hier die Lösung: Bei einer maximalen Datenrate



von 20 Mbit/s und auf Grund einer garantierten äquidistanten Datenübertragung stellt FlexRay deterministische Zeitverhältnisse sicher. Ein zweiter Kommunikationskanal ermöglicht redundante Datenübertragung. Falls die Daten auf einem Kanal gestört werden, stehen sie immer noch über den zweiten Kanal zur Verfügung. Infotainment-Geräte, wie Navigation, Radio und Telefon, benötigen eine verhältnismäßig hohe Bandbreite, da nicht nur Steuer-, sondern auch Video- und Audiosignale übertragen werden. Für Multimedia-Vernetzung im Kfz kommt daher MOST (Media Oriented System Transport) zum Einsatz. MOST stellt eine verhältnismäßig große Bandbreite zur Verfügung: bei einer Abtastfrequenz von 48 kHz ca. 23 Mbit/s für die Übertragung von Bitstreams und 768 kbit/s für die Übertragung von Steuersignalen.

prinzipiell von allen Busteilnehmern, auch als Busknoten bezeichnet, empfangen werden (Broadcasting).

Im Unterschied zur Punkt-zu-Punkt-Verbindung ist der Verkabelungsaufwand erheblich geringer. Dies reduziert die Kosten, den Platzbedarf sowie das Gewicht, zudem wird die Zuverlässigkeit höher und die Projektierung übersichtlicher. Im Zusammenhang mit der seriellen Datenübertragung müssen unter anderem folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- ▶ Framing (Aufbau von Botschaften),
- ▶ Adressierung (Erstellung einer eindeutigen Zuordnung zwischen einem Frame und den Busknoten),
- ▶ Buszugriff bzw. Einhaltung von Zeitbedingungen,
- ▶ Datensicherung bzw. Fehlerbehandlung und
- ▶ Synchronisation.

Serielle Datenübertragung

In einem seriellen Bussystem teilen sich mehrere elektronische Komponenten ein gemeinsames Übertragungs- bzw. Kommunikationsmedium. Daten werden bitseriell übertragen und können

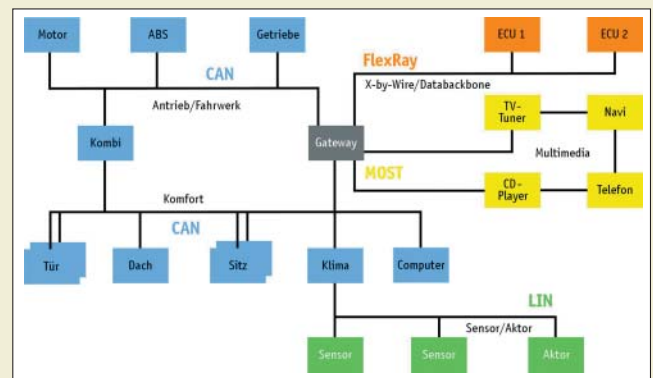


Bild 1: Vernetzung von modernen Fahrzeugen mit seriellen Bussystemen (Alle Bilder: Vector Informatik GmbH)

AUTOR

Dipl.-Ing., Dipl.-Techpaed. Eugen Mayer arbeitet seit 1999 als technischer Trainer bei der Vector Informatik GmbH in Stuttgart.
E-Mail: eugen.mayer@vector-informatik.de

Aspekt	CAN	LIN	FlexRay
Steuerung	Ereignis	Zeit	Zeit
Zeitverhalten	Nicht deterministisch	Deterministisch	Deterministisch
Architektur	Multi-Master	Master-Slave	Multi-Master
Buszugriff	Zufällig (CSMA/CA)	Kontrolliert (Delegated Token)	Kontrolliert (TDMA)
Adressierung	Nachrichten	Nachrichten	Nachrichten
Maximale Datenrate	1 Mbit/s	20 Kbit/s	20 Mbit/s
Maximale Anzahl Datenbyte/Frame	8	8	254
Medium	Twisted Pair	Single Wire	Twisted Pair, Plastic Optical Fiber
Topologie	Linie, Stern	Linie	Linie, Stern

Tabelle 1: CAN, LIN und FlexRay im Vergleich

CAN

CAN ist ein demokratisches Nachrichtenverteilsystem. Auf Grund der Nachrichtenadressierung steht jede CAN-Botschaft jedem Knoten zum Empfang zur Verfügung. Eine CAN-Botschaft überträgt bis zu acht Datenbytes. Mit der elf Bit breiten Nachrichtenadresse (Identifizier) können bis zu 2048 unterschiedliche CAN-Botschaften spezifiziert werden. Jeder CAN-Knoten besitzt das Recht bei Bedarf auf den CAN-Bus zuzugreifen, um eine CAN-Nachricht zu übertragen.

Damit eine laufende Botschaftsübertragung nicht von einem sendewilligen CAN-Knoten zerstört wird, überwachen alle sendewilligen CAN-Knoten den Bus. Erst wenn der CAN-Bus frei ist, darf ein CAN-Knoten auf ihn zugreifen. Um Kollisionen bei simultanen Buszugriffen zu vermeiden, weist jede CAN-Botschaft eine eindeutige Priorität auf, die an den Identifizier gekoppelt ist: je kleiner der Identifizier, desto höher die Priorität der Botschaft (**Bild 2**). Bei dieser Form des Buszugriffes kann es

zu Übertragungsverzögerungen kommen. Betroffen sind vor allem niederpriore CAN-Botschaften. Ab einer bestimmten Buslastgrenze kann CAN die Echtzeitfähigkeit deshalb nicht mehr garantieren. Dank der hohen einstellbaren Datenraten werden trotzdem die geforderten Zeitbedingungen im Antriebsstrang und im Komfortbereich erfüllt. erfüllt. CAN bietet eine außerordentlich hohe Übertragungssicherheit. Einen wichtigen Beitrag dazu leisten die Differenzsignalübertragung und das Zusammenwirken von fünf Fehlererkennungsmechanismen (u. a. Bitmonitoring, Form Check, Cyclic Redundancy Check), die von den CAN-Controllern abgewickelt werden.

LIN

Mit der Forderung nach einem kostengünstigen Kommunikationssystem für den Einsatz im Sensor-/Aktorbereich fand LIN ab dem Jahr 2000 als so genannter „Subbus“ den Weg ins Fahrzeug. Die LIN-Kommuni- ►

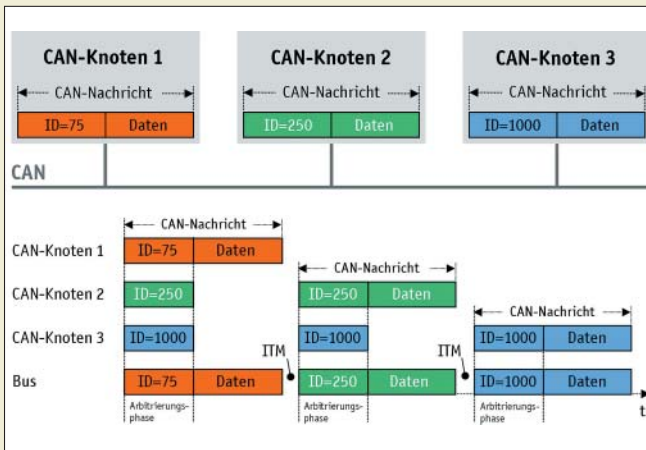


Bild 2: Kommunikation im CAN-Netzwerk: Die zeitliche Abfolge des Botschaftsverkehrs leitet sich aus den Botschafts-Identifiern ab. Je niedriger der Botschafts-Identifizier, desto höher die Botschaftspriorität.

kation kommt ohne Kommunikationscontroller und Quarz aus. Die Datenübertragung erfolgt über eine einzelne Leitung (Single-Wire). Um trotzdem die für Kraftfahrzeuge typischen Störfestigkeitsanforderungen zu erfüllen, entsprechen die Übertragungspegel der Batteriespannung. Dies erhöht aber auch die Störabstrahlung. Deshalb ist die Übertragungsrate in einem LIN-Cluster auf 20 kbit/s limitiert.

Als Master-Slave-Architektur ist die LIN-Kommunikation deterministisch. Ein Master steuert auf der Basis einer wohl definierten Zeittabelle die gesamte Kommunikation in einem LIN-Cluster (Bild 3). Sobald ein Sendezeitpunkt erreicht ist, legt der Master ein mit einem Identifier versehenes Token auf den LIN-Bus. Einer durch das Token angesprochener LIN-Slave überträgt im Anschluss an das Token die entsprechende Antwort, die aus bis zu acht Datenbytes bestehen kann. Die aus Token (Message-

Da im LIN-Knoten kostengünstige Taktgeber arbeiten, die eine Frequenztoleranz von bis zu 15 % aufweisen dürfen, beginnt eine LIN-Botschaft stets mit dem so genannten Sync-Break. Mit dessen Hilfe synchronisieren sich alle LIN-Slaves. Die Datenintegrität wird mittels Parity-Bits im Message-Header und einer in der Message-Response übertragenen Checksumme geprüft. Die gesamte Datensicherung obliegt im Unterschied zu CAN dem Software-Entwickler, weil diese nicht in der Hardware implementiert ist.

FlexRay

FlexRay wurde vor allem für zeit- und sicherheitskritische Anwendungen im Kfz entwickelt. Deshalb wartet FlexRay sowohl mit einer vergleichsweise hohen Datenrate (maximal 20 Mbit/s) als auch mit einer deterministischen und sicheren Datenübertragung auf. Zusätzlich zur deter-

Header) und Antwort (Message-Response) zusammengesetzte LIN-Botschaft steht durch die Nachrichtenadressierung jedem LIN-Knoten zum Empfang zur Verfügung. Auf Grund des sechs Bit breiten Identifiers lassen sich bis zu 64 LIN-Botschaften spezifizieren. Im Gegensatz zu CAN ist LIN ein zentral gesteuertes Nachrichtenverteilsystem.

ministischen ist in einem reservierten Zeitbereich auch eine dynamische Übertragung möglich.

Die Echtzeitfähigkeit wird über einen exakt definierten Zeitablauf garantiert. Die gesamte Kommunikation ist in so genannte Kommunikationszyklen gegliedert. Diese sind wiederum in ein statisches und ein dynamisches Kommunikationssegment unterteilt (Bild 4).

Das statische Kommunikationssegment überträgt Botschaften synchron: Die Sendezeitpunkte sind festgelegt und die Botschaften werden in vordefinierten Zeitschlitzen (Static Slots) übertragen. Damit ist deterministisches Zeitverhalten garantiert. Echtzeitrelevante Botschaften werden deshalb vorzugsweise im statischen Segment übertragen.

Das dynamische Kommunikationssegment steht für die dynamische Botschaftsübertragung zur Verfügung. Dabei regelt das so genannte Minislottting-Verfahren den Buszugriff, um Kollisionen zu vermeiden. Vor allem für die Übertragung von Daten mit geringeren Echtzeitanforderungen eignet sich das dynamische Segment.

Bei der Definition des Kommunikationszyklus hat der Systemdesigner alle Freiheiten. Auch ein rein statischer oder dynamischer Betrieb ist möglich. Diese Flexibilität eröffnet FlexRay ein breites Anwendungsspektrum im Fahrzeug. Im Übrigen gefällt FlexRay den Kfz-Herstellern auch auf Grund der vereinfachten Systemintegration. Denn ein FlexRay-Netzwerk ist mit seiner zeitgesteuerten Kommunikation ein zusammensetzbares Kommunikationsnetzwerk: Das Hinzufügen oder Entfernen von FlexRay-Knoten wirkt sich nicht auf das zeitliche Verhalten des Gesamtsystems aus.

Die Übertragungssicherheit wird mithilfe einer Differenzsignalübertragung und der mehrstufigen Anwendung des Cyclic Redundancy Checks über das Botschaftsformat hinweg sichergestellt. Buswächter gewährleisten, dass die FlexRay-Knoten nur zu den ihnen erlaubten Time-Slots senden. Eine hohe Fehlersicherheit wird vor allem mithilfe eines redundanten Kommunikationskanals herbeigeführt. Der zweite Kanal lässt sich aber ohne weiteres auch zur Erhöhung der Bandbreite heranziehen. Ein Kommuni-

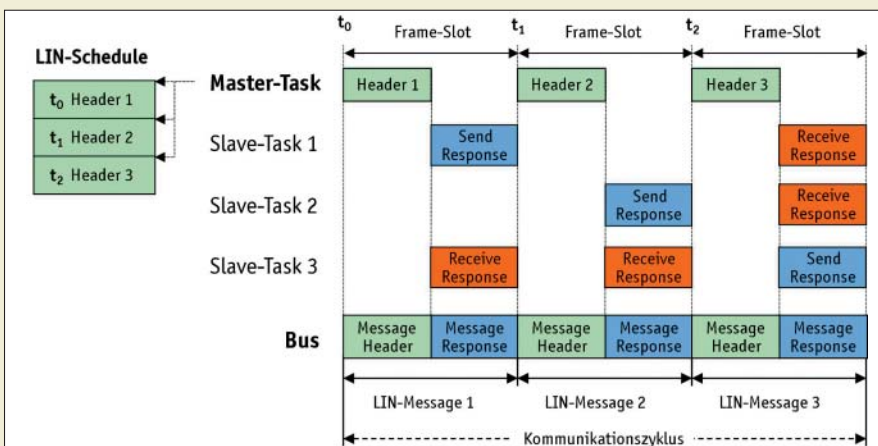


Bild 3: Kommunikation im LIN-Netzwerk: Die Kommunikation ist in Kommunikationszyklen organisiert.

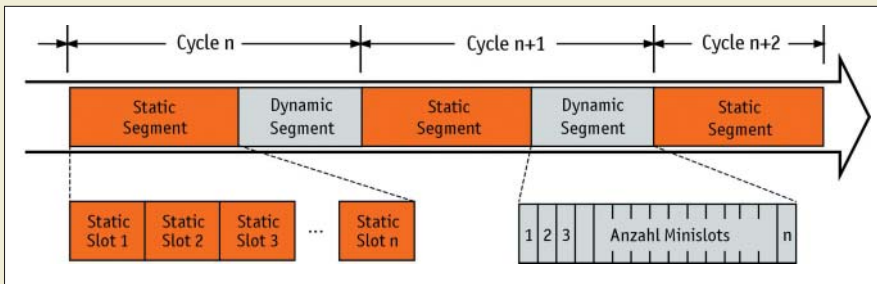


Bild 4: Kommunikation in einem FlexRay-Netzwerk: Die Kommunikation ist organisiert in Kommunikationszyklen. Jeder Kommunikationszyklus ist unterteilt in ein statisches und in ein dynamisches Kommunikationssegment.

kationskanal weist eine Bandbreite von 10 Mbit/s auf. Im Extremfall bietet FlexRay also eine Bandbreite von bis zu 20 Mbit/s.

MOST

MOST hebt sich von den seriellen Bussystemen CAN, LIN und FlexRay ab, da neben Steuersignalen auch Bitstreams (Audio- und Videosignale) übertragen werden. MOST stellt zur Bitstream-Übertragung (synchrone Datenübertragung) bis zu 60 Kommunikationskanäle à 384 kbit/s zur Verfügung, die über den Steuerkanal (768 kbit/s) allokiert werden können. Je nach Anwendung lässt sich eine Anzahl an Kommunikationskanälen über den Boundary-Descriptor zum so genannten Paketdatenkanal zusammenfassen. In diesem Paketdatenkanal können bis zu 1024 Byte große Datenpakete asynchron übertragen werden.

Ein Knoten im maximal 64 Knoten umfassenden über Lichtleiter gekoppelten Ring übernimmt die Aufgabe des Timing-Masters. Dieser sorgt dafür, dass so genannte MOST-Frames von Knoten zu Knoten zyklisch weitergegeben werden. Der Zeitzyklus entspricht in der Regel der Ab-

tastfrequenz einer CD (44,1 kHz) oder einer DVD (48 kHz). Alle im MOST-Ring angeschlossenen Knoten leiten den Takt aus den ankommenden MOST-Frames ab und sind deshalb Timing-Slaves. Der MOST-Frame, der sich aus 60 Kommunikationskanälen à 8 Bit und einem Steuerkanal à 16 Bit zusammensetzt, stellt sozusagen einen Datencontainer dar, mit dessen Hilfe die Bitstreams, die Paketdaten und Steuersignale kanalbezogen übertragen werden (Bild 5).

Neben dem Timing-Master existiert im MOST-Ring ein weiterer Master: der System-Master. Dieser steuert das Kommunikationssystem mithilfe so genannter MOST-Kommandos, u. a. das Bitstreaming zwischen einer Datenquelle und einer Datensenke. Die MOST-Kommandos werden mithilfe von MOST-Steuerbotschaften (Control Message) im Steuerkanal übertragen.

Reibungslose Kommunikation

Bei der Vernetzung mit CAN, LIN, FlexRay und MOST unterstützt Vector Informatik die Fahrzeughersteller und -zulieferer mit einer durchgängigen Werkzeugkette und mit Softwarekomponenten. Die Anwender des Werkzeugs CANoe profitieren

beispielsweise während des gesamten Entwicklungsprozesses von praxisingerechten Funktionen für Modellerstellung, Simulation, Funktionstest, Diagnose und Analyse. Folgende Optionen und Protokolle stehen für CANoe zur Verfügung und können beliebig kombiniert werden: CAN, LIN, FlexRay, MOST, CANopen, SAE J1939, SAE J1587, NMEA2000 und ISO11783.

Werkzeuge für die Entwicklung, Kalibrierung und Diagnose von Fahrzeugsteuergeräten ergänzen das umfangreiche Vector-Angebot. Für den Entwicklungsprozess von elektronischen Systemen bietet das Stuttgarter Unternehmen neben Beratung auch eine Werkzeugumgebung.

Zusammenfassung

Elektronische Systeme übernehmen im Automobil eine riesige Palette unterschiedlicher Aufgaben. Zur Kopplung der Systeme haben sich verschiedene Bussysteme etabliert. Die Tabelle 1 zeigt zusammenfassend die seriellen Bussysteme CAN, LIN und FlexRay und deren wesentliche Eigenschaften. CAN bietet eine sehr hohe Datensicherheit bei relativ niedrigen Kosten und ist deshalb prädestiniert für den Einsatz im Antriebs- und Komfortbereich. Auf Grund seiner noch kostengünstigeren und einfachen Kommunikationsarchitektur eignet sich LIN hervorragend als Subbus. FlexRay wird überall dort eingesetzt, wo es auf eine schnelle, deterministische und sichere Datenübertragung ankommt. Als Multimediabus zum Austausch von A/V-Daten zwischen Infotainmentgeräten dient MOST.

In Zukunft ist es nicht auszuschließen, dass das Anwendungsfeld von CAN im Kfz kleiner wird. FlexRay wird deutlich an Bedeutung gewinnen, da sowohl zeit- und sicherheitskritische als auch datenintensive Anwendungen realisiert werden können. Durch die steigende Zahl an intelligenten Sensoren und Aktoren wird auch LIN in Zukunft eine bedeutende Rolle spielen. (jj)

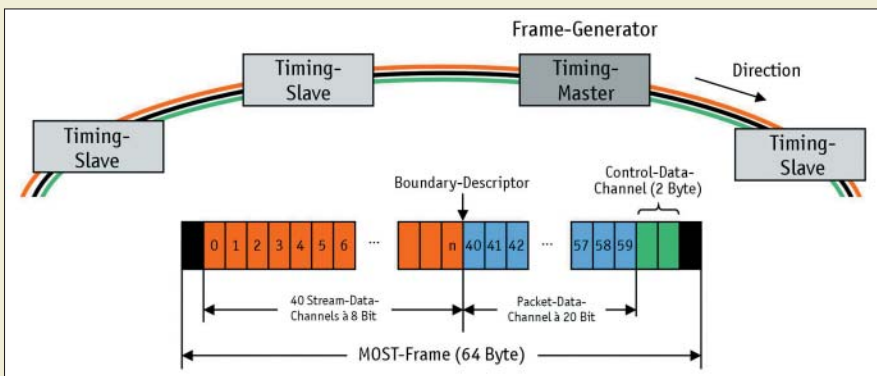


Bild 5: MOST-Frame-Übertragung mit einem Boundary-Descriptor-Wert von 10 Quadlets (ein Quadlet entspricht einem Bündel von 4 Byte).

infoDIRECT 555eio606
www.elektronik-industrie.de
 ▶ Link zu Vector Informatik