

## ZEITGESTEUERTE KOMMUNIKATION MIT CAN

# Die Zeit ist reif!

Nicht nur elektronische Steuergeräte, sondern auch eine steigende Anzahl von Sensoren und Aktoren sind in modernen Personenkraftwagen an fahrzeuginterne Netzwerke angeschlossen, so dass Informationen im ganzen Fahrzeug zur Verfügung stehen. Diese steigende Komplexität muss beherrscht werden – insbesondere in sicherheitskritischen Anwendungen. Ein Übergang von einem ereignisgesteuerten hin zu einem zeitgesteuerten Senden von Nachrichten ist es deshalb sehr vorteilhaft.

Üblicherweise wird der Zuwachs an Komplexität, der durch die steigende Informationsmenge verursacht wird, durch eine geeignete Mehrnetzarchitektur beherrscht. Dabei erfüllen die verschiedenen Netzwerke unterschiedliche Anforderungen bezüglich Bandbreite, Verfügbarkeit und Redundanz. Dementsprechend gibt es eine Reihe von Netzwerk-Protokollen mit unterschiedlichen Eigenschaften. **Bild 1** zeigt ein Beispiel für eine solche Vernetzungsstruktur.

## Controller Area Network

Ein Protokoll, das sich im Kraftfahrzeug und in der Automatisierungstechnik etabliert hat, ist das Controller Area Network (CAN). Dieses von Bosch entwickelte und in ISO 11898 international standardisierte Protokoll wird auf Grund seiner Flexibilität und Robustheit für verschiedene Klassen von Fahrzeugnetzwerken eingesetzt. In einer CAN-Botschaft können bis zu 8 Datenbytes übertragen werden. Jede

Nachricht verfügt über einen Identifier, der die Nachricht eindeutig charakterisiert. Der Identifier ist mit einer Priorität behaftet, d. h., die Nachricht mit dem niedrigeren Identifierwert erhält bei gleichzeitigem Buszugriff das Senderecht. Die im CAN-Protokoll definierte Busarbitrierung erfolgt zerstörungsfrei, so dass die höchstprioräre Nachricht ohne Verzug den Buszugriff bekommt. Das CAN-Protokoll unterstützt eine ereignisgesteuerte Kommunikation in hervorragender Weise. Wann immer ein Ereignis eintritt, das über den Bus kommuniziert werden soll, wird ein Sendeversuch gestartet. Hochprioräre Nachrichten kommen sehr schnell durch, und Nachrichten mit niedriger Priorität können erfolgreich gesendet werden, sobald keine hochpriorären Sendeanforderungen mehr anstehen.

## Zeitgesteuerte Kommunikation

Um die steigende Komplexität insbesondere auch in sicherheitskritischen Anwendungen besser beherrschen zu können, ist ein Übergang zu einem zeitgesteuerten Senden von Nachrichten vorteilhaft (**Bild 2**). Zeitgesteuert im Sinne der reinen Lehre bedeutet, dass alle Aktivitäten ausschließlich durch das Fortschreiten der Zeit ausgelöst werden. In einem zeitgesteuerten Kommunikationssystem werden damit alle Sendetätigkeiten in Abhängigkeit von der

Systemzeit ausgelöst. Somit sind die Sendezeitpunkte aller Nachrichten im Vorhinein bekannt. Typischerweise eignet sich ein solches Kommunikationssystem besonders gut für Anwendungen, in denen der gesamte Nachrichtenverkehr periodischer Natur ist. Das TTCAN-Protokoll (time-triggered communication on CAN) ist eine Ergänzung zum beschriebenen CAN-Protokoll, die die zeitgesteuerte Übertragung von Nachrichten definiert. Das CAN-Protokoll bleibt als zu Grunde liegende Verbindungsschicht unverändert. Einer der überzeugenden Vorteile dieses Ansatzes ist es, dass die umfangreichen Erfahrungen mit CAN im Feldeinsatz unverändert übernommen werden können. Mehr noch, auch die Entwicklungswerkzeuge, die für die erfolgreiche Entwicklung eines vernetzten Systems Voraussetzung sind, können weiterhin verwendet werden. TTCAN ermöglicht es, zeitgesteuert Nachrichten über das CAN-Netzwerk zu schicken. Die gesende-

## DER AUTOR



*Dr. Bernd Müller ist tätig im Zentralbereich Forschung und vorausentwicklung der Robert Bosch GmbH. Er beschäftigt sich mit Fragen der Sicherheit und Zuverlässigkeit, insbesondere im Gebiet der sicherheitsgerichteten Kommunikation*

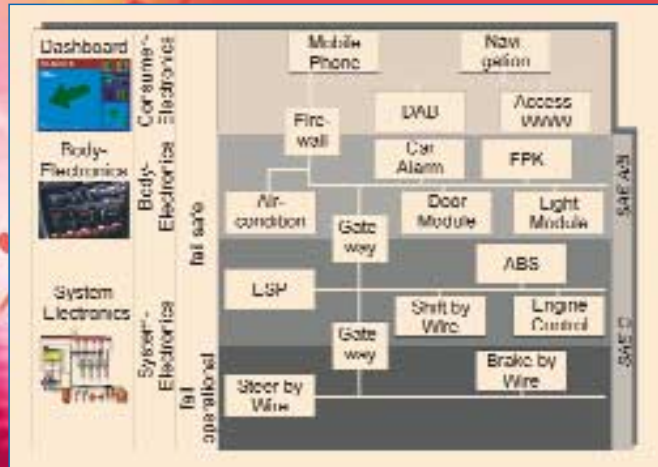


Bild 1:  
Vernetzungs-  
struktur

ten Nachrichten sind CAN-Botschaften, die von jedem handelsüblichen CAN-Controller verstanden werden. Die Zeitsteuerung selbst und damit auch die Synchronisation der verschiedenen Steuergeräte im Netzwerk wird von dem TTCAN-Protokoll übernommen. Die Anwendungssoftware, die solche Aufgaben bislang selbst übernehmen musste, wird dadurch stark entlastet. Wenn das TTCAN-Protokoll komplett in Hardware ausgeführt ist, wovon mittelfristig auszugehen ist, bedeutet dies darüber hinaus eine massive Entlastung des Hostrechners.

#### TTCAN Beschreibung

Die Grundvoraussetzung für ein zeitgesteuertes Kommunikationssystem ist eine systemweit synchronisierte Zeitbasis. Denn nur wenn alle Knoten das gleiche Verständnis von der Zeit haben, können sie sinnvoll nach dem gleichen Busfahrplan senden. In TTCAN ist die Basis für diese Zeit die sogenannte Referenz-

nachricht. Diese ist eine mit einem bestimmten Identifier gekennzeichnete Nachricht, die den Beginn einer Runde einleitet. Sobald eine Referenznachricht empfangen wird, wird die Rundenzeit neu gestartet. Jeder Knoten verfügt über eine eigene Uhr, die typischerweise über einen Zähler von Oszillatorschwingungen implementiert ist. Über diese Uhr kann nach dem Erhalt der Referenznachricht die Rundenzeit verfolgt werden. Sobald eine Zeitmarke erreicht wird, bei der der Knoten eine Nachricht senden soll, verschickt er die entsprechende Botschaft (Bild 3).

Damit ist der Zeitraum, der sich an eine Referenznachricht anschließt, in Zeitfenster unterteilt. Die Referenznachricht und die darauf folgenden Zeitfenster bis zur nächsten Referenznachricht bilden einen Basiszyklus. Jeder Basiszyklus wird also durch eine Referenznachricht eingeleitet und besteht dann aus einer festgelegten Reihe von Zeitfenstern. Um noch mehr Flexibilität zu schaffen, ist es erlaubt, verschiedene Basiszyklen zu verwenden. Dies erzeugt dann in der gesamten Abfolge der Basiszyklen einen Gesamtzyklus, in dem es pro-

blemlos möglich ist, Nachrichten mit unterschiedlichen Wiederholperioden über den Bus zu schicken (Bild 4).

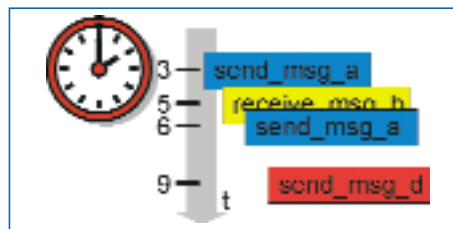
Wie schon erwähnt wird die Basiszykluszeit mit jeder Referenznachricht netzwerkweit neu gestartet, d. h., mit jeder Referenznachricht wird das gesamte Netzwerk resynchronisiert. Im Anschluss an eine Referenznachricht laufen die Uhren in den verschiedenen Knoten mit den Geschwindigkeiten, die durch ihre lokalen Uhren vorgegeben sind. Diese Geschwindigkeiten sind nie in allen Knoten genau gleich, sie unterscheiden sich aber typischerweise nur wenig. Damit sammelt sich zwischen zwei Referenznachrichten allmählich ein kleiner Unterschied in der "Uhrzeit" der verschiedenen Knoten an, der direkt vor dem Erhalt der zweiten Referenznachricht maximal wird. Obwohl dieser Unterschied in der Regel sehr klein ist, gibt es Anwendungen, für die selbst das noch zu viel ist oder deren

profitieren, tritt dennoch oft der Fall auf, dass nicht alle Bus-Zugriffe einem starren zeitlichen Raster folgen sollten. Deshalb tritt von Anwendungsseite mehr und mehr der Wunsch nach einem Kommunikationssystem auf, das sowohl zeitgesteuerte als auch ereignisgesteuerte Nachrichten unterstützen kann. Solche Funktionalitäten können in TTCAN in verschiedener Weise unterstützt werden.

Es mag sein, dass bisher der Eindruck erweckt wurde, dass die Referenznachricht selbst periodisch gesendet wird. Dies ist auch durchaus beabsichtigt und für einen ausschließlich zeitgesteuerten Betrieb sinnvoll. Es ist aber keinesfalls zwingend notwendig. In TTCAN ist es möglich, das Senden der Referenznachricht auch durch ein Ereignis auslösen zu lassen. Dieses Ereignis hat seinen Ursache typischerweise außerhalb des Kommunikationssystems und kann, falls es der Applikationsentwickler für richtig hält, die Transmission einer Referenznachricht triggern. Die Anwendungen dieser Funktion sind vielfältiger Natur. So erlaubt dies eine Synchronisation des gesamten Systems auf Vorgänge, die nicht zeitlich periodisch sind. Ein Musterbeispiel ist die Erzeugung eines kurbelwellensynchronen Verhaltens. Da der Motor eines Fahrzeugs nicht mit konstanter Drehzahl läuft tritt der optimale Einspritzzeitpunkt nicht zeitlich periodisch auf. Die Verwendung von TTCAN zur Synchronisation auf die Kurbelwelle führt zu einem abgas- und verbrauchsoptimierten Verhalten.

Wie schon erwähnt ist einer der wichtigsten Vorteile von TTCAN, dass das Protokoll auf dem unveränderten und vielfach erprobten CAN-Protokoll aufbaut. Dies führt nicht nur zu einem recht mächtigen Fehlererkennungsverhalten, es bedeutet auch, dass der gleichzeitige Zugriff zweier Knoten auf den Bus nicht zu einer Kollision auf dem Bus führt. Damit ist es möglich, das Konzept eines arbitrierenden Fensters einzuführen. Bei den bisher geschilderten Zeitfenstern

Bild 2: Prinzip der zeitgesteuerten Kommunikation

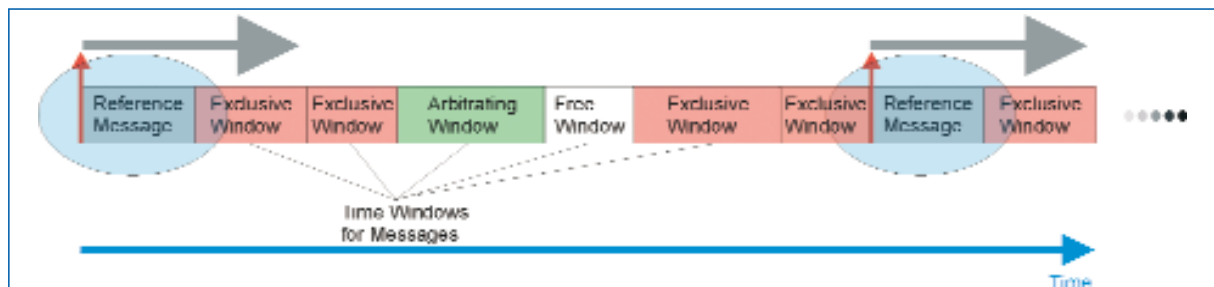


Leistungsfähigkeit optimiert werden kann, wenn dieser Unterschied möglichst klein wird. Dazu gibt es in TTCAN die Möglichkeit, die Uhren auch zwischen zwei Referenznachrichten zu synchronisieren indem man die Geschwindigkeit der lokalen Uhren einander angleicht. Damit ist eine Synchronisationsgenauigkeit bis etwa zu einer Bitzeit realisierbar (bei einer Datenrate von 1 Mbit/s ist dies etwa 1 µs!). Dies reicht auch für anspruchsvolle Anwendungen in der Regel bei weitem aus.

### Ereignissteuerung in TTCAN

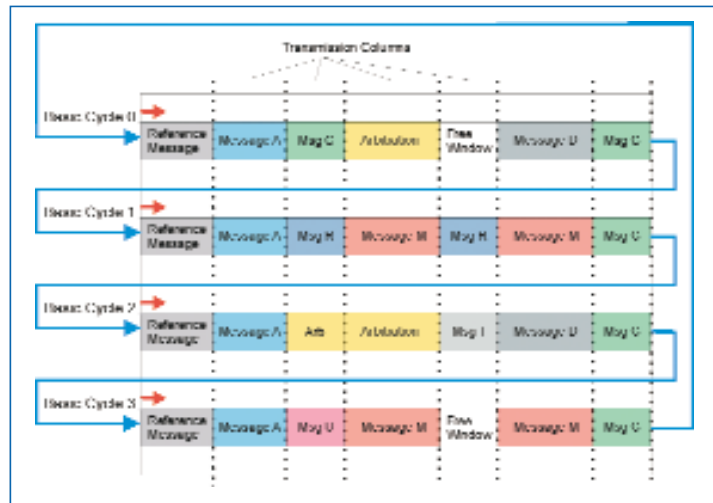
Obwohl viele Anwendungen von einem zeitgesteuerten Kommunikationssystem

Bild 3: Reference Message und Basic Cycle



wurde betont, dass in einem Zeitfenster nur ein Knoten im Netzwerk auf den Bus zugreifen sollte. Zeitfenster, für die dies gilt, sind exklusive Zeitfenster. Es ist jedoch auch möglich andere Zeitfenster zu verwenden, bei denen mehrere Knoten gleichzeitig auf den Bus zugreifen dürfen. Falls dies eintritt entscheidet die Arbitrierung des CAN Protokolls darüber, welche Nachricht gesendet wird. Die Nachricht mit der höchsten Priorität wird übertragen. Es ist in diesem Fall zwar nicht mehr möglich, für jede Nachricht zu garantieren, dass sie durchkommt, aber das ist bei der Wahl eines arbitrierenden Fensters auch nicht die Designabsicht. Eine typische Anwendung ist das Versenden von Diagnosenachrichten. Diese unterliegen nicht denselben Echtzeitanforderungen wie die funktionellen Nachrichten, und es spielt deshalb keine große Rolle, ob diese Nachricht in dieser oder der nächsten Runde gesendet wird. Um die exklusiven Zeitfenster in einem Zyklus nicht zu verzögern, müssen die arbitrierenden Zeitfenster zu einem definierten Zeitpunkt geschlossen werden. Somit ist die zeitliche Integrität eines sich anschließenden exklusiven Fensters niemals verletzt, unabhängig davon, wer die Arbitrierung gewinnt.

Noch mehr Flexibilität ist möglich, wenn aufeinanderfolgende arbitrierende Fenster zu einem großen arbitrierenden Zeitfenster zusammen-



**Bild 4:**  
Beispiel  
für eine  
System-  
matrix

gefasst werden. In diesem herrschen dann die üblichen CAN-Spielregeln. Falls eine Nachricht die Arbitrierung verliert, so kann sie direkt im Anschluss wieder versuchen, den Buszugriff zu erhalten. Entscheidend ist aber auch hier wieder, dass das Ende dieses Fensters netzwerkweit definiert ist und die zeitliche Integrität eines sich anschließenden exklusiven Fensters nicht verletzt wird, unabhängig davon, wie viele Nachrichten noch darauf warten, gesendet zu werden. Insbesondere bei Anwendungen, bei denen eine zeitliche Garantie nur für einige wenige Nachrichten gegeben werden soll, ist dies eine interessante Option.

**Zusammenfassung**

Mit TTCAN ist ein zeitgesteuertes Protokoll verfügbar, das auf der Ba-

sis des bewährten CAN-Protokolls abläuft. TTCAN erlaubt eine nahezu freie Skalierbarkeit zwischen einem rein zeitgesteuerten und einem komplett ereignisgesteuerten Systementwurf und kann daher fast vollständig die Vorteile beider Ansätze nutzen. TTCAN stellt äußerst kostengünstig eine synchronisierte Netzwerkzeit hoher Qualität zur Verfügung. Darüber hinaus bietet TTCAN den Vorteil, dass es einen Migrationspfad von schon bestehenden ereignisgesteuerten CAN-Anwendungen zu zeitgesteuerten Systemen anbietet. TTCAN kann die Echtzeitperformance von CAN-Netzwerken erhöhen und ist damit für eine Vielzahl von Applikationen eine besonders günstige Kommunikationsschicht.