

Whitepaper

Inklusive Interview:
„Zukunftssicher automatisieren mit CAN FD als Basis“

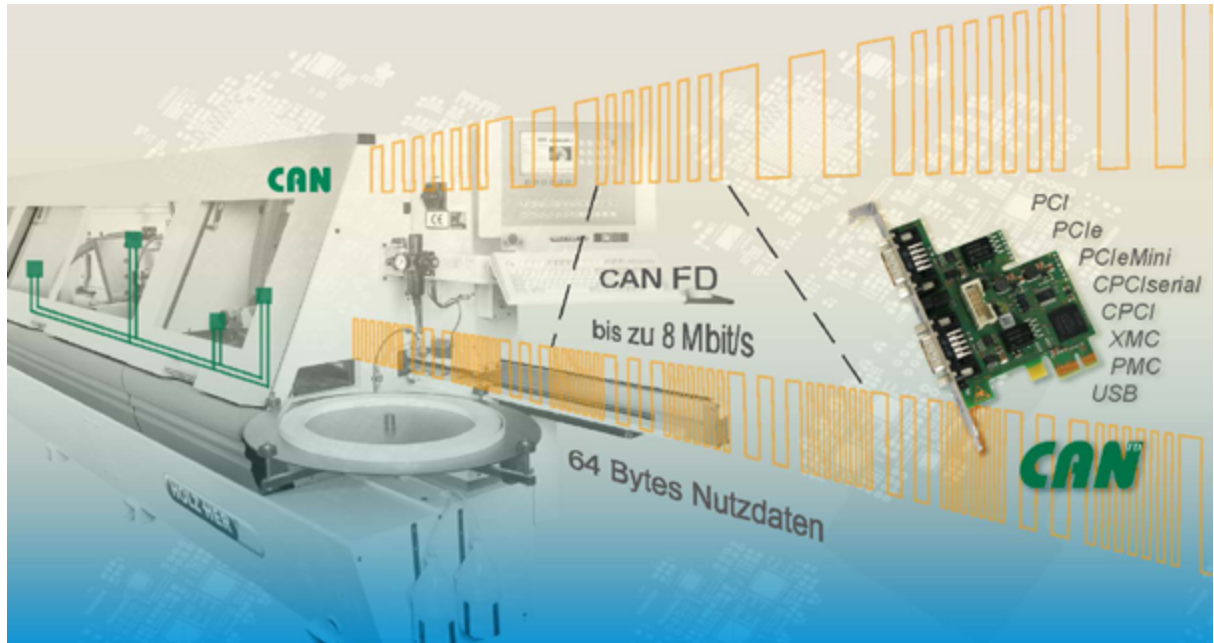


Bild: esd electronics gmbh

Bild: CAN FD-Boards mit verschiedenen Formfaktoren

CAN FD - das bessere CAN

Vorteile einer Migration zu CAN FD

Triebfeder hinter dem CAN FD- (CAN mit flexibler Datenrate) Protokoll waren, wie schon beim klassischen CAN-Protokoll, die Automobilhersteller. In Zusammenarbeit mit Bosch und weiteren Experten begann 2011 die Arbeit an einer Lösung mit dem Ziel, die existierenden Grenzen des klassischen CAN in Bezug auf die maximal erreichbare Datenrate bzw. den maximal erreichbaren Datendurchsatz zu verschieben. Gleichzeitig sollten die bewährten Konzepte des klassischen CAN-Protokolls (Echtzeitfähige Bus-Arbitrierung, Ereignissteuerung, 11- und 29 Bit Identifier, Multimasterfähigkeit) erhalten bleiben. Dazu gehören unter anderem hohe Robustheit

gegen Störungen, geringer Energiebedarf sowie die Nutzung existierender Topologien.

Die angestrebten Ziele wurden erreicht durch:

- Beibehaltung der klassischen CAN-Konzepte in der Arbitrierungs- und Bestätigungsphase sowie bei der Fehlerbehandlung.
- Erhöhung der Bitrate in der Datenphase von bisher maximal 1 Mbit/s auf bis zu 8 Mbit/s ^[1] und mehr.
- Erhöhung der Zahl der in einer CAN-Nachricht übertragenen Datenbytes von bisher maximal 8 auf 64 Bytes.

Das neue Protokoll wurde 2015 als internationaler Standard ^[1] veröffentlicht, wobei alle CAN FD-Controller abwärtskompatibel sind und nach wie vor auch das klassische CAN-Protokoll unterstützen. Zehn Monate später wurde der Testplan zur Validierung der Konformität einer Implementierung als ISO Standard ^[3] publiziert, so dass mittlerweile ein großes Angebot an dedizierten CAN FD-Controllern, Mikrocontrollern mit integrierten CAN FD-Schnittstellen und FPGA basierte Lösungen verfügbar ist.

Protokolldetails

Im klassischen CAN kann die Übertragung einer Nachricht

logisch grob in die Phasen Busarbitrierung, Daten und Bestätigung unterteilt werden. Die Bits werden hier in allen Phasen mit der identischen Bitrate übertragen, wobei alle Busteilnehmer diese kontinuierlich nachsynchronisieren, um Phasenrauschen und -drift der unabhängigen lokalen Oszillatoren zu kompensieren. Dies ist insbesondere während der Arbitrierungs- und Bestätigungsphase notwendig, da mehrere Knoten gleichzeitig auf dem Bus senden und jeder einzelne Knoten sein gesendetes Bit mit denen anderer Busteilnehmer vergleichen können muss. Diese Eigenschaft des klassischen CAN-Protokolls bestimmt die physikalischen Grenzen für die maximal mögliche Bitrate bzw. Kabellänge.

Die Idee hinter CAN FD besteht nun darin, während der Datenphase mit einer zweiten (in der Regel deutlich höheren) Bitrate zu senden und in dieser Phase die Nachsynchronisation auszusetzen, da es prinzipbedingt jetzt nur noch einen Sender auf dem Bus geben sollte. Zusätzlich wurde die Zahl der maximal möglichen Nutzdaten einer Nachricht von bisher 8 auf 64 Bytes erhöht, was die Effizienz bezüglich des Verhältnisses zwischen Protokoll- und Nutzdaten erheblich verbessert.

Bei einem Verhältnis der Bitraten zwischen Arbitrierungs- und Datenphase von 1:4 ergeben sich in Abhängigkeit

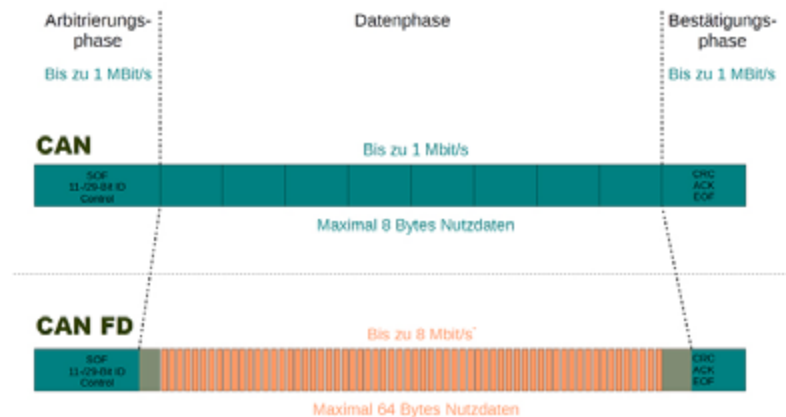


Bild 2: Vergleich der Protokoll-Rahmen

von der Zahl der gesendeten Bytes in der Datenphase eine Verbesserung der Nettodatenrate um die Faktoren 2 bis 5. Zur Realisierung des CAN

FD-Format. Das neue BRS-Bit bestimmt, ob in der Datenphase die höhere Bitrate genutzt wird oder mit der Arbitrierungsbitrate weiter ge-

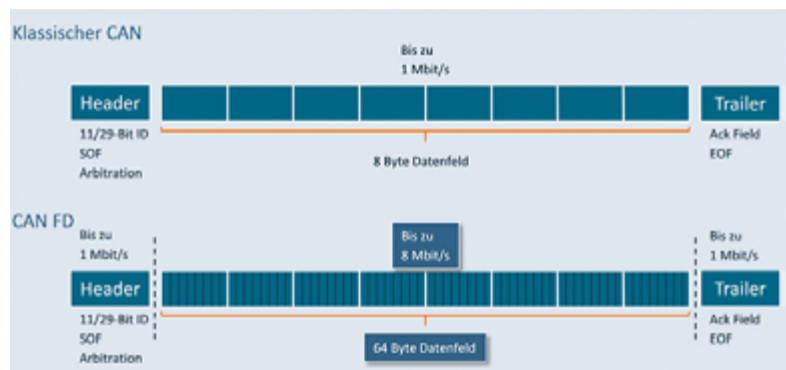


Bild 3: Vergleich der Datenfelder

FD-Protokolls wurde im Steuerfeld der CAN-Nachricht ein bisher reserviertes Bit genutzt bzw. es wurden zwei weitere Bits hinzugefügt:

- Extended Data Length (EDL)
- Bit Rate Switch (BRS)
- Error State Indicator (ESI)

Anhand des rezessiven EDL-Bits (beim klassischen CAN-Protokoll dominant und ungenutzt) erkennt ein CAN-Controller das CAN

sendet wird und das ESI-Bit zeigt mit einem dominanten Status an, dass sich der Sender im Error Active Status befindet. Die Größe des Data Length Code (DLC) blieb gegenüber dem klassischen CAN mit 4 Bit aus Effizienzgründen unverändert, so dass bei CAN FD-Nachrichten mit mehr als 8 Datenbytes nur in diskreten Größen gesendet werden können.

Um trotz einer längeren Datenphase die gleiche Robust-

Zukunftssicher automatisieren mit CAN FD als Basis

Seit gut vier Jahren ist das CAN FD-Protokoll mit höherer und flexibler Datenrate standardisiert. Durch die Abwärtskompatibilität dieser Technologie lassen sich klassische CAN-Applikationen einfach zu CAN FD migrieren oder als Basis in neuen Applikationen nutzen. Wir sprachen mit Dirk Flege, Vertriebsleiter bei esd electronics.

Red.: Das CAN FD-Protokoll zeichnet sich durch eine große Robustheit gegen Störungen aus. Wie wird diese Eigenschaft des CAN-Protokolls bei CAN FD erhalten?

D. Flege: Das CAN FD-Protokoll ist so angelegt, dass klassische CAN-Konzepte in der Arbitrierungs- und Bestätigungsphase sowie bei der Fehlerbehandlung beibehalten werden können. Um auch in der längeren Datenphase die gleiche Robustheit gegenüber Kommunikationsfehlern zu erreichen, verwendet das Protokoll zur Kontrolle statt der üblichen 15-Bit-Prüfsumme eine 17-Bit-Prüfsumme (Nachrichten mit bis zu 16 Bytes Nutzdaten) oder eine 21-Bit-Prüfsumme (Nachrichten mit mehr als 16 Bytes Nutzdaten).

Red.: Das CAN FD-Protokoll ist abwärtskompatibel zum klassischen CAN-Protokoll. Welche Chancen bietet das für die industrielle Automatisierung?

D. Flege: Durch das abwärtskompatible Design lassen sich CAN-Applikationen einfach auf die leistungsfähigere CAN FD-Kommunikation umstellen, ohne die bestehende Verdrahtung ändern zu müssen. Alternativ können CAN FD-Komponenten auch als Basis in aktuellen CAN-Applikationen eingesetzt und zu einem späteren Zeitpunkt einfach auf die CAN FD-Kommunikation umgestellt werden. Hierfür bietet esd electronics CAN FD-Boards mit verschiedenen Formfaktoren an. Das Angebot reicht von PCI, PCIe, PCIeMini, M.2, CPCI, CPCI

Serial, PMC/XMC über AMC, VME, ISA, PC/104, PCI-104 bis hin zu USB und Ethernet



Bild 11: CAN-PCIe/402-FD



Red.: Neben Standard CAN FD-Controllern sind auch CAN FD Controller in FPGAs auf dem Markt, die eine höhere Flexibilität hinsichtlich der Leistungsfähigkeit und der Funktionsdichte aufweisen. Welche Vorteile bieten FPGA-basierte CAN-Controller?

D. Flege: Der Schreib- und besonders der Lesezugriff auf Standard-Controller ist im Vergleich zur Zykluszeit moderner CPUs eher langsam. Daher haben wir einen FPGA-basierten CAN-Controller entwickelt, der nun die Basis unserer CAN-Interfaces bildet. Der Advanced CAN Controller (esdACC) hat ein bis zu 32 Bit breites Interface, unterstützt einen 64 Bit Timestamp und kann einen 100-prozentigen Busload generieren. Hiervon leitet sich der CAN FD-Controller für FPGA

ab, der das CAN FD-Protokoll gemäß ISO11898-1:2015 unterstützt.



Bild 12: FPGA-basierter Controller

Red.: Welche Vorteile bringt das FPGA konkret für die CAN FD-Interfaces?

D. Flege: Das CAN-Interface „CAN-PCIe/402-FD“ beispielsweise ist ein universell einsetzbares Board, das für den PCIe-Bus entwickelt wurde und über ein oder zwei CAN FD-Interfaces gemäß ISO 11898-2 verfügt. Für die Datenübertragung zum Host-Speicher nutzt es das Bus-Mastering. Dadurch wird eine Verringerung der Latenzzeit während der I/O-Transaktionen, insbesondere durch die höhere Datenrate und der Reduzierung des CPU-Loads, erreicht. Durch die Verwendung von MSI (Message Signaled Interrupts) kann das PC-Board beispielsweise in Hypervisor-Umgebungen arbeiten. Zudem unterstützt es hochauflösende Hardware-Timestamps.

Red.: Wie unterstützt esd electronics den Kunden beim Design und der Inbetriebnahme von CAN-Netzen?

D. Flege: Zu unseren CAN-Interfaces erhält der Anwender kostenfrei das

Monitoring- und Diagnose-Tool CANreal zur Anzeige und Aufzeichnung von CAN-Nachrichten. Es vereinfacht das CAN FD-Handling durch vielfältige Konfigurationsmöglichkeiten wie einstellbare CAN-ID-Filter, Loggen der CAN-Nachricht, anzeigen von DBC-Signalen, hochauflösende Zeitstempel, anspruchsvolle CAN-Statistiken mit Buslastberechnung und vieles mehr. Bei CANreal sind somit wichtige Signale und Daten für den Anwender immer im Focus. Die zeitliche Veränderung von bis zu 200 dieser Signale ist übersichtlich darstellbar und im Klartext online zu analysieren und zu beobachten. Diese Darstellung kann auch offline zur nachträglichen Auswertung bereits aufgezeichneter CAN-Nachrichten genutzt werden.

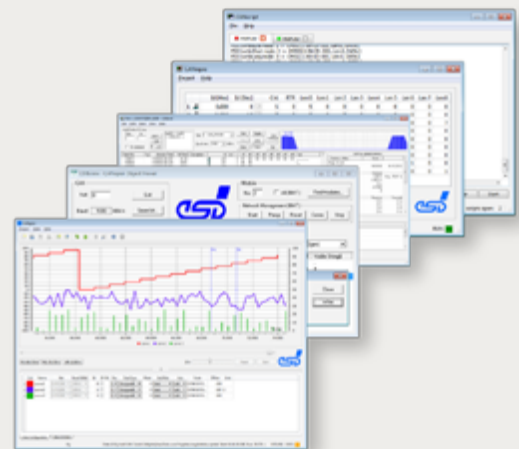


Bild 13: esd electronics unterstützt mit kostenfreien Monitoring- und Diagnose-Tools

Red.: Herr Flege, vielen Dank für das Gespräch.

Das Interview führte:
Renate Klebe-Klingemann
(Team esd-Redaktion)

Fortsetzung von Seite 2

heit gegenüber Kommunikationsfehlern zu erreichen, wird statt einer 15-Bit Prüfsumme (klassisches CAN) bei CAN FD eine 17-Bit Prüfsumme (Nachrichten mit bis zu 16 Bytes Nutzdaten) bzw. eine 21-Bit Prüfsumme (Nachrichten mit mehr als 16 Bytes

Datenphase und Nachrichten mit bis zu 64 Datenbytes) können in unterschiedlichster Weise in der Applikation genutzt werden:

- Verbesserter Datendurchsatz, der sich insbesondere bei der Übertragung großer Datenmengen (z.B.

gerung existierender CAN-Busse, die bei der genutzten Bitrate bereits an ihrer physikalischen Grenze betrieben werden, durch Reduzierung der Arbitrierungs-Bitrate und Nutzung einer höheren Bitrate in der Da-

DLC	Classical CAN		CAN FD		DLC	Classical CAN		CAN FD	
	Nutzdaten	Prüfsumme	Nutzdaten	Prüfsumme		Nutzdaten	Prüfsumme	Nutzdaten	Prüfsumme
0	0	CRC-15	0	CRC-17	8	8	CRC-15	8	CRC-17
1	1	CRC-15	1	CRC-17	9	8	CRC-15	12	CRC-17
2	2	CRC-15	2	CRC-17	10	8	CRC-15	16	CRC-17
3	3	CRC-15	3	CRC-17	11	8	CRC-15	20	CRC-21
4	4	CRC-15	4	CRC-17	12	8	CRC-15	24	CRC-21
5	5	CRC-15	5	CRC-17	13	8	CRC-15	32	CRC-21
6	6	CRC-15	6	CRC-17	14	8	CRC-15	48	CRC-21
7	7	CRC-15	7	CRC-17	15	8	CRC-15	64	CRC-21

Bild 4: Vergleich des Data Length Code (DLC) zwischen CAN und CAN FD

Nutzdaten) zur Prüfung der Korrektheit verwendet.

Die Tabelle in Bild 4 gibt eine Übersicht über die Zuordnung des DLC zu der Zahl der übertragenen Datenbytes sowie zu der jeweils verwendete Prüfsumme.

Weggefallen ist im CAN FD-Protokoll hingegen die Möglichkeit, Remote Transmission Requests (RTR) zu versenden. Aufgrund der Abwärtskompatibilität wird dies für das klassische CAN Protokoll auch von CAN FD-Controllern nach wie vor unterstützt.

Vorteile von CAN FD

Die Nutzung einer oder beider mit dem CAN FD-Protokoll eingeführten Hauptneuerungen (Höhere Bitrate in der

bei Firmwareaktualisierungen) bemerkbar macht.

- Verbessertes Echtzeitverhalten (Reduzierung der Latenz) bei unverändertem Protokoll [2] mit höherer Bitrate in der Datenphase.
- Reduzierte Buslast bei unverändertem Protokoll mit höherer Bitrate in der Datenphase erlaubt Erweiterungen in Systemen, die aufgrund der aktuellen Buslast nicht mehr erweiterbar wären und u.U. einen weiteren CAN-Bus erfordert hätten.
- Einfache Wahrung der Datenkonsistenz bei Prozessdaten von mehr als 8 Datenbytes, die jetzt in einer Nachricht mit mehr Datenbytes versendet werden können.
- Möglichkeit zur Verlän-

tenphase, so dass eine identische oder sogar größere Nettodatenrate erreicht wird.

Der verbesserte Schutz gegen Übertragungsfehler mittels erweiterter Prüfsummen des ohnehin schon sehr robusten CAN Protokolls sowie ein Hinweis auf den Zustand (Error Passive oder Error Active) des Senders einer Nachricht sind zusätzliche Vorteile, die die Kommunikation sicherer gestalten.

Leistungsgewinn

Eine Aussage über den zu erwartenden Gewinn an Durchsatz oder die Reduzierung der Latenz beim Wechsel von CAN auf CAN FD ist durch die Art der Implementierung nicht einfach direkt zu ermitteln und hängt stark von dem verwendeten Protokoll und

weiteren Randbedingungen ab. Zur besseren Abschätzung stellt die nachfolgende Tabelle

Bitratenverhältnis	Classical CAN		CAN FD	
	N/A	1	2	4
Datenbytes	Datenbits*			
1	55	64	47	38
2	63	72	51	40
3	71	80	55	42
4	79	88	59	44
5	87	96	63	46
6	95	104	67	48
7	103	112	71	50
8	111	120	75	52
12	198**	152	91	60
16	222**	184	107	68
20	309**	220	125	77
24	333**	252	141	85
32	444**	316	173	101
48	666**	444	237	133
64	888**	572	301	165

Bild 5: Bitverhältnis CAN zu CAN FD

le die benötigten Bits für die Übertragung von Nachrichten mit 11-Bit Identifier bei unterschiedlichen Datenlängen und unterschiedlichen Verhältnissen zwischen der Bitrate in der Arbitrierungs- und Datenphase für CAN FD dar. Die Zahl der Nachrichten-Bits bezieht sich dabei auf Bitzeiten der Arbitrierungsphase.

Ausgehend von der Tabelle in Bild 5 sollen zwei Extrema bezüglich des Aufwandes bei einer Umstellung von CAN auf CAN FD betrachtet werden.

Umstellung ohne Änderung des Protokolls

Der (Software-) Aufwand reduziert sich neben der Anschaffung von CAN-FD-fähiger Hardware im besten Fall lediglich auf das Setzen der erhöhten Bitrate in der Datenphase. Bei einem Verhältnis zwischen Arbitrierungs- zu Datenphasen-Bitrate von

1:4 und einem Protokoll, das hauptsächlich auf Nachrichten mit 8 Datenbytes basiert,

kann mit einer Verbesserung des Durchsatzes um mehr als Faktor 2 bzw. um eine entsprechende Halbierung der Latenzzeiten gerechnet werden.

Umstellung mit Änderung des Protokolls

Wird neben der Erhöhung der Datenrate mit zusätzlichem Software-Aufwand auch das

Protokoll angepasst, so dass die höhere Zahl von möglichen Datenbytes bei CAN FD ausgenutzt wird, sind noch deutlich größere Leistungszuwächse möglich. Ausgehend vom vorherigen Beispiel soll erneut ein Protokoll (z.B. für die Aktualisierung eines Gerätes), das bisher auf 8 Byte CAN Nachrichten basierte, auf 64 Byte CAN FD-Nachrichten umgestellt werden. Die nachfolgende Abbildung betrachtet dabei Blöcke von 64 Bytes.

Die Grafik zeigt anschaulich, dass bei unverändertem Protokoll und einem Verhältnis von Arbitrierungs- zu Datenphasen-Bitrate von 1:4 der Datendurchsatz bereits um das Fünffache und bei einer weiteren Steigerung des Bitratenverhältnisses auf 1:8 um mehr als das Neunfache. Im letzten Fall benötigt die Übertragung der 64 Byte CAN FD-Nach-

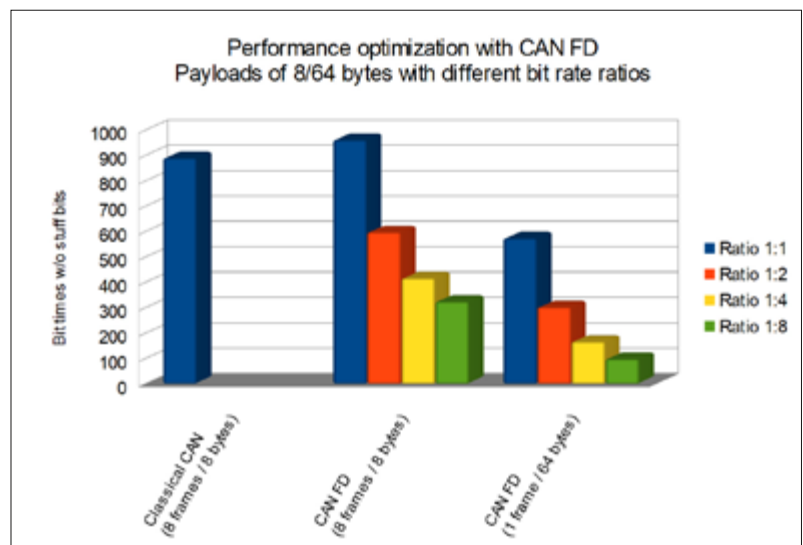


Bild 6: Verhältnis von Arbitrierungs- zu Datenphasen-Bitrate

richt sogar weniger Zeit als in der ursprünglichen Version des Protokolls die Übertragung einer einzelnen 8 Byte CAN-Nachricht, so dass unter diesen Randbedingungen noch zusätzlich eine Reduzierung der Latenz erreicht wird.

Migration zu CAN FD für Hardware Entwickler

Die Unterstützung von CAN FD für neue Hardware Entwicklungen ist mittlerweile vergleichsweise einfach. Wie schon beim klassischen CAN, getrieben durch die Automobilindustrie, ersetzen ein oder mehrere CAN FD-Schnittstellen bei aktuellen Mikrocontrollern die klassischen CAN Schnittstellen. Bis zu einem bestimmten Verhältnis der Bitrate von Arbitrierungs- zur Datenphase akzeptiert CAN FD die gleiche Oszillatortoleranz wie CAN ^[9] aber es empfiehlt sich einen für CAN FD nach ^[2] spezifizierter Transceiver einzusetzen, dessen Vorteile dem Kunden, auch bei einer Nutzung mit ausschließlich klassischem CAN, zu Gute kommen. Auch die Erweiterung existierender Designs um eine CAN FD-Anbindung ist mit mittlerweile verfügbaren Standalone Controllern oder durch Nutzung eines FPGA IP Cores einfach zu realisieren.

Migration zu CAN FD für Software Entwickler

Der Aufwand der Migration einer Applikation nach CAN FD hängt stark von der bisher für klassisches CAN genutzt

ten API ab. Bleibt diese unverändert auch für die CAN FD-Hardware verfügbar, kann eine Migration in 3 Schritten stattfinden.

1. Alle Teilnehmer nutzen die CAN FD-Schnittstellen wie bisher mit dem klassischen CAN-Protokoll.
2. Umstellung aller Teilnehmer auf die Nutzung einer höheren Bitrate in der Datenphase, was bei unverändertem Protokoll sofort zu einer Verringerung der Latenz und Busauslastung bzw. Erhöhung des Durchsatzes führt. Der Entwickler muss zuvor prüfen, ob sein Protokoll das Versenden von RTR Nachrichten fordert, da dies bei CAN FD nicht mehr unterstützt wird.
3. Veränderung/Erweiterung des Protokolls durch Übertragung von mehr als 8 Byte Nutzdaten.

Der letzte Schritt erleichtert neben eines weiteren Gewinns beim Datendurchsatz insbesondere die Lösung von Problemen in Verbindung mit Datenkonsistenz von mehr als 8 Byte Nutzdaten sowie die Implementierung von Protokollen z.B. im Bereich Sicherheit (im Sinne des englischen Security und Safety), die oftmals mit lediglich 8 Byte Nutzdaten schwer oder gar nicht zu realisieren sind. Insbesondere bei Schritt 3 muss der Entwickler jedoch überprüfen, ob die gewünschte Echtzeiteigenschaften seiner Implementierung (Latenz-

zeiten) nach wie vor erhalten geblieben sind.

Migration zu CAN FD für Systemintegratoren

Der Vorteil für Systemintegratoren bei einer Migration zu CAN FD besteht darin, dass die Busteilnehmer mit einem klassischen CAN-Controller zunächst (auch in mehreren Stufen) gegen Busteilnehmer mit einem CAN FD-Controller getauscht werden können. Aufgrund der Abwärtskompatibilität kann zunächst weiterhin das klassische CAN-Protokoll genutzt werden.

Besteht zu einem späteren Zeitpunkt der Bedarf nach mehr Busbandbreite und/oder geringerer Latenz kann die Applikation entsprechend umgestellt werden. Dabei ist vorteilhaft, dass jederzeit wieder auf den klassischen CAN Zustand zurück gewechselt werden kann, wenn es bei der CAN FD-Kommunikation zu Problemen kommen sollte, da ja die Verdrahtung unverändert bleibt.

Der einzige Nachteil bei der Migration ist lediglich, dass eine Umstellung auf CAN FD erst erfolgen kann, wenn alle Busteilnehmer das CAN FD-Protokoll unterstützen, da klassische CAN-Controller die CAN FD-Nachrichten als Protokollfehler interpretieren.

Higher Layer Protokolle

Nach Veröffentlichung des Standards ^[1] in 2015 wurden inzwischen auch eine Reihe

von klassischen CAN-basierenden Higher-Layer-Protokollen unterschiedlicher Industrie-domänen an die Erweiterungen von CAN FD angepasst oder stehen kurz vor einer Veröffentlichung. Beispiele hierfür sind ISO TP ^[4] und J1939 ^{[6],[7]} (Automobilindustrie), CANopen FD ^[5] (Automatisierung) oder ARINC825 ^[8] (Luftfahrt).

Fazit

CAN FD führt durch die Erhöhung der Bitrate in der Datenphase kombiniert mit der Effizienzsteigerung durch die Erhöhung der Zahl der Nutzdatenbytes zu höherem

Datendurchsatz unter Beibehaltung der Qualitäten des klassischen CAN. Es ist daher das optimale Protokoll für alle, die bereits Erfahrung mit CAN gesammelt haben und/oder existierende Anlagen mit klassischer CAN-Kommunikation betreiben, jedoch zukünftig mehr Datendurchsatz bzw. Busbandbreite benötigen, ohne den Schritt zu einer komplett anderen Technologie, wie Industrial Ethernet, zu gehen, die aktuell teurer ist. Die Absicht der Automobilindustrie das klassische CAN mittelfristig durch CAN FD zu ersetzen, ist ein Garant für Produktvielfalt, Langzeitverfügbarkeit und geringe

Bauteilkosten, aufgrund der dort benötigten hohen Stückzahlen. Die Abwärtskompatibilität zum klassischen CAN bedeutet, dass man schon heute CAN FD-Komponenten in sein System integrieren sollte, auch wenn noch ausschließlich klassisches CAN eingesetzt wird, da dann zu einem späteren Zeitpunkt einfach auf CAN FD migriert werden kann.

Copyright ©:
esd electronics gmbh
www.esd.eu

Literaturverzeichnis:

- [1] ISO 11898-1:2015 - Road vehicles -- Controller area network (CAN) -- Part 1: Data link layer and physical signalling, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2015.
- [2] ISO 11898-2:2016 - Road vehicles -- Controller area network (CAN) -- Part 2: High-speed medium access unit, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2016.
- [3] ISO 16845-1:2016 - Road vehicles -- Controller area network (CAN) conformance test plan -- Part 1: Data link layer and physical signalling, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2016.
- [4] ISO 15765-2:2016- Road vehicles -- Diagnostic communication over Controller Area Network (DoCAN) -- Part 2: Transport protocol and network layer services, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2016.
- [5] CiA 1301 - CANopen FD application layer and communication profile, CAN in Automation, 2017
- [6] SAE J1939-17 (WIP), CAN-FD Physical Layer, 500 kbps/2 Mbps, SAE International, 2012
- [7] CiA 602 - CAN FD in commercial vehicles, CAN in Automation, 2017
- [8] ARINC 825-4, CAN in Airborne Applications, Aeronautical Radio, Incorporated, 2018 (Erwartet)
- [9] Dr. Arthur Mutter, Robustness of CAN FD bus systems, Proceedings of the 14th International CAN Conference, Paris, France, 2013