



Schnelles Messen und Reprogrammieren CAN FD liefert hohe Bandbreiten bei moderaten Kosten

Seit jüngstem bietet sich das neue CAN-FD-Protokoll (CAN mit flexibler Datenrate) neben FlexRay und Ethernet als kostengünstige Alternative zum Übertragen großer Datenvolumen an. Wichtige Einsatzgebiete sind das Programmieren von Flash-Speichern und das Kalibrieren von automotive Steuergeräten. So ist im Kalibrier-Protokoll ASAM XCP in der aktuellen Version 1.2 bereits die XCP-Transportschicht für CAN FD integriert. Mit den beiden genannten Anwendungsfällen haben sich die Netzwerkspezialisten von Vector Informatik auseinandergesetzt. Dabei wurde untersucht, wie CAN FD sich gegenüber den verfügbaren Alternativen bewährt.

Seit Jahren steigt der Code-Umfang der immer leistungsfähiger werdenden Steuergeräte im Automobil kontinuierlich an, so dass größere Datenmengen beim Kalibrieren der Steuergeräte und beim (Re)Programmieren ein ständig wachsender Zeit- und Kostenfaktor ist. Neue und schnellere Bussysteme wurden daher seit dem CAN-Bus eingeführt, um den Bandbreitenengpass zu beheben. Die Einführung von CAN FD als weiterer Lösungsansatz für diese Aufgabenstellung wird im Weiteren beleuchtet und den etablierten Bussystemen gegenüber gestellt.

In-Vehicle Messung und Kalibrierung

Im Rahmen der Steuergeräteentwicklung stellt das Kalibrieren der zahlreichen Parameter von Regel- und Steuergeräten einen maßgeblichen Anwendungsfall dar. Die Steuergeräteentwickler bedienen sich dazu vorzugsweise des vom ASAM e.V. standardisierten Mess- und Kalibrierprotokolls XCP (Universal Measurement and Calibration

Protocol), in dessen aktueller Version 1.2 CAN FD als neue XCP-Transportschicht integriert ist. XCP erlaubt es Mess- und Kalibrierwerkzeugen, wie beispielsweise CANape (**Bild 1**) von Vector, Parameter während des Betriebs in Echtzeit zu verändern und die Auswirkungen auf den Algorithmus messtechnisch zu erfassen. Je nach Komplexität der Anwendung und Anzahl der gemessenen Signale kann dabei die Bandbreite des Übertragungsmediums schnell an Grenzen stoßen. Mit bis zu 64 Bytes Nutzdatenlänge und Datenraten bis zu mind. 5 MBit/s in der Datenphase erweitert CAN FD gegenüber CAN die Nutzungsmöglichkeiten von XCP on CAN spürbar.

XCP on CAN FD Datendurchsatz in Theorie und Praxis

Um den maximal möglichen Datendurchsatz von XCP on CAN FD abschätzen zu können, wurden die Frame- bzw. Nutzdatengrößen bei der Ausführung einer Steuergeräte-messung verglichen. Basis für die Datendurchsatzberech-

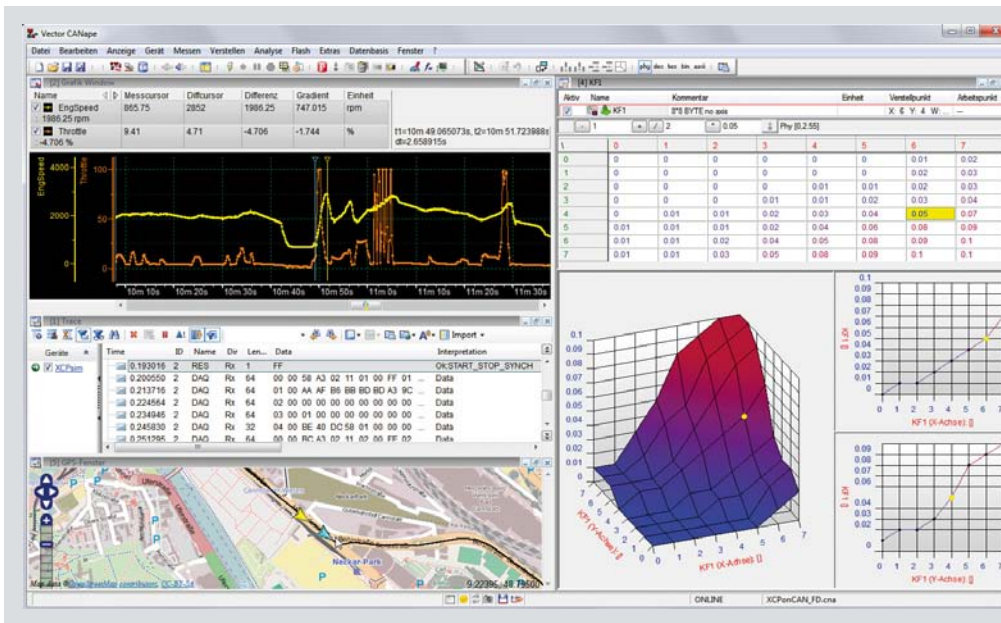


Bild 1: Kalibrieren über CAN FD mit CANape

nungen bildet die Annahme einer 100%igen Busauslastung sowie die in **Bild 2** und **Bild 3** aufgeführten Feldgrößen der CAN- und CAN-FD-Frames. Allerdings lässt sich die Größe der Frames weder für CAN noch für CAN FD eindeutig vorhersagen. Um das Synchronisieren der Busteilnehmer auf Signalfanken zu gewährleisten, wurde in die zu sendenden Frames inhaltsabhängig zusätzlich eine variable Anzahl Füll-Bits eingefügt, weshalb ein Best- und Worst-Case-Berechnung durchgeführt wurde.

Die Ergebnisse der Datendurchsatzberechnung lassen sich in Form eines Bandes veranschaulichen (**Bild 4**, **Bild 5**). Um diese theoretisch ermittelten Werte zu verifizieren, wurde mit Hilfe einer Simulationsumgebung ein realistischer Kalibriervorgang in der Praxis nachgebildet. Der Laboraufbau – bestehend aus der Kalibrier-Software CANape, geeigneter Schnittstellen-Hardware sowie einer PC-basierten Steuergeräteemulation – ermöglichte es, die Kommunikationszeiten zwischen Sender und Empfänger jeweils am Aus- und Eingang des CAN-/CAN-FD-Treibers zu messen. Die Ergebnisse

(**Bild 4**, **Bild 7**) belegen die Übereinstimmung der mathematischen Prognosen mit den praktisch ermittelten Messwerten. Vergleicht man die gewonnen Messdaten von CAN FD mit einer Messung über CAN zeigt sich, dass der Datendurchsatz von CAN FD um den Faktor 1,3 bis 5,4 höher ist (**Bild 6**).

Paketverknüpfungen mit CAN FD

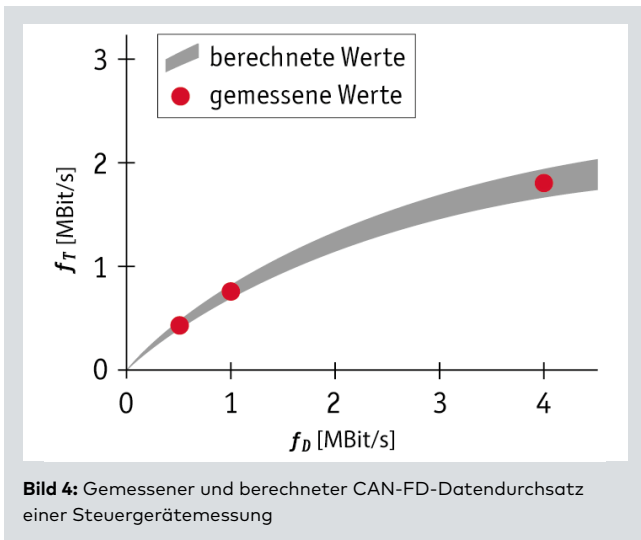
XCP on CAN FD birgt darüber hinaus weiteres Optimierungspotenzial: So ist es wahrscheinlich, dass die Kommunikationspfade bestehender Steuergeräte-Software nach einer Migration zu CAN FD weiterhin auf eine acht Byte Datenübertragung beschränkt sind und XCP somit lediglich von der höheren Übertragungsfrequenz profitieren kann. Um die Nutzdatenübertragungsrate zu optimieren, könnten bei XCP on CAN FD die Nutzdaten kleiner XCP-Pakete zusammengefasst und in einem CAN FD Frame als Paket verschickt werden **Bild 8**. Vector erarbeitet derzeit einen Vorschlag, in einer zukünftigen XCP-Spezifikation Paketverknüpfungen für CAN FD zu ermöglichen.

Name	Size [Bit]
Start of Frame	1
Arbitration Field	12
Control Field	6
Data Field	≤ 64
CRC Field	15
Acknowledge Field	2
End of Frame	10

Bild 2: Die Struktur eines CAN-Frames

Name	Size [Bit]
Start of Frame	1
Arbitration Field	12
Control Filed (1 st part)	4
Control Field (2 nd part)	5
Data Field*	≤ 512
CRC Field*	18 / 22
Acknowledge Field	2
End of Frame	10

Bild 3: Die Struktur eines CAN-FD-Frames



Flash-Programmierung

Das (Re)Programmieren von Flash-Speichern ist der zweite Anwendungsfall, bei welchem von schnelleren Netzwerkprotokollen wesentliche Verbesserungen zu erwarten sind. In den drei Flash-Phasen „Löschen“, „Download/Programmieren“ und „Verifizieren“ ist bei konventionellen CAN-Bus-Systemen die Download-Zeit ein wesentlicher Faktor, der durch schnellere Bussysteme wie FlexRay, Ethernet und CAN FD beeinflusst werden kann.

Unabhängig vom Übertragungsprotokoll sind beim Download zusätzliche Optimierungsstrategien wie Datenkompression und Pipelined Programming sinnvoll. Durch das Komprimieren mit einem LZSS-(Lempel-Ziv-Storer-Szymanski)-Algorithmus verringert sich zwar das zu übertragende Datenvolumen, allerdings hängt seine Effizienz stark von der Datenstruktur ab und das Entpacken erzeugt im Steuergerät zusätzlich eine nicht unerhebliche CPU-Last. Das Pipelined Programming hingegen stellt eine Art Parallelisierung dar: Während ein Datensegment im Steuergerät noch geschrieben wird, erfolgt bereits die Übertragung des nächsten Segments. Der mögliche Performance-Gewinn dieses Verfahrens ist daher am Größten, wenn die Programmierzeiten kleiner als die Datenübertragungszeiten sind.

FlexRay und Ethernet

FlexRay bietet eine Übertragungsrate von 10 MBit/s, diese steht jedoch für die (Re)Programmierung nicht vollständig

	Messwert CAN	Messwert CAN FD	Faktor
Min.	294 kBit/s	380 kBit/s	1,3
Max.	318 kBit/s	1712 kBit/s	5,4

Bild 6: Vergleich gemessener Datendurchsätze einer XCP Messung über CAN und CAN FD

f_D [kBit/s]	\bar{f}_T [kBit/s] Best Case	\bar{f}_T [kBit/s] Worst Case
500	407	341
1000	753	635
4000	2130	1825

Bild 5: Berechnete Datendurchsätze eines Kalibriervorgangs mit CAN FD (fA = 500 kBit/s)

zur Verfügung. Im zyklischen Kommunikationsablauf des Time Triggered Protokolls sind alle PDUs (Protocol Data Unit) in Slots fest vordefiniert. Reserviert man viele Slots für Diagnose Service Requests wie den Download, beschneidet das die Bandbreite für die Nutzdaten. Realistische Konfigurationen sehen pro Zyklus 4...8 PDUs mit je 42...255 Bytes für Diagnose Services vor. Unter Anwendung von Pipelined Programming haben die Vector Ingenieure Download-Raten von 40...60 KByte/s ermittelt.

Auch Ethernet eignet sich mit Diagnostics over IP (DoIP) nach ISO 13400-2 zum Reprogrammieren von Steuergeräten. Im Test mit 100-MBit-Ethernet und einem typischem Mikrocontroller mit einer reinen Flash-Schreibrate von 180 KByte/s sind die Ergebnisse deutlich von der Puffergröße des TransferData-Service abhängig. Mit 16 KByte Puffer erreicht der Durchsatz circa 150 KByte/s und liegt so bereits nahe am Limit des im Test verwendeten Flash-Speichers.

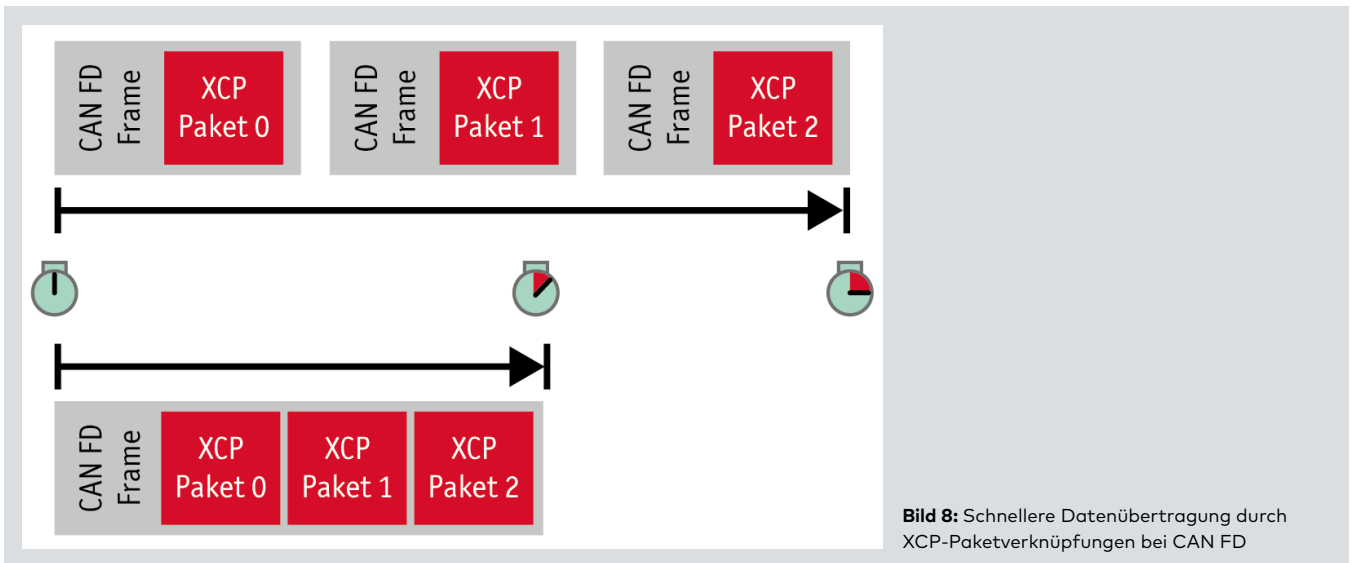
Reprogrammierung via CAN FD

Da von Seiten der Halbleiterhersteller noch keine Mikrocontroller mit CAN-FD-Unterstützung verfügbar sind, setzen die Netzwerkspezialisten von Vector für Messungen bei CAN FD ein Mikrocontroller-Board ein, bei dem der CAN-FD-Controller in einem FPGA implementiert ist. Der Software-Stack auf dem Board besteht aus einem Standard Vector UDS Boot-Loader. Die ISO 15765-2 Transportschicht und der CAN-Treiber wurden für die Unterstützung von CAN FD erweitert. Für einen schnellen Versuchsaufbau wurde zum Download das Simulations- und Testwerkzeug CANoe verwendet, da zu diesem Zeitpunkt bereits die CAN-FD-Unterstützung vorhanden war. Diese Software nutzt eine externe DLL, die die Flash-Programmier-Sequenz und Transport Layer Funktionen bereitstellt. Zukünftig wird für CAN FD das Vector Flash-Werkzeug vFlash zur Verfügung stehen.

Mit der verwendeten Transportschicht liegt die theoretisch erreichbare Übertragungsrate beim Flashen über CAN FD

f_D [kBit/s]	f_T [kBit/s]
500	401 ± 21
1000	724 ± 46
4000	1884 ± 172

Bild 7: Gemessene Datendurchsätze eines Kalibriervorgangs mit CAN FD (fA = 500 kBit/s)

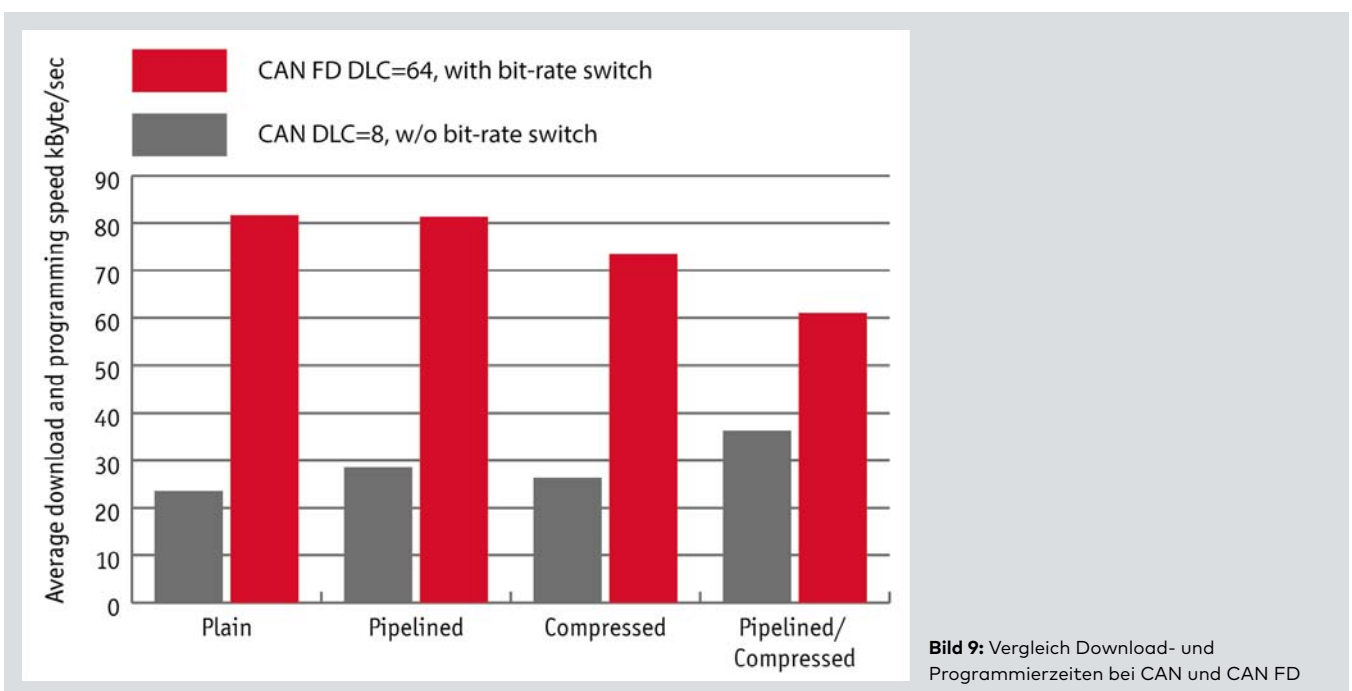


bei 270...370 KByte/s bei vier MBit/s in der CAN-FD-Datenphase. Die real gemessenen Werte liegen jedoch deutlich darunter (**Bild 9**). Erstaunlicherweise wirken die Optimierungsstrategien Kompression und Pipelining mit der verwendeten Testumgebung bei CAN FD kontraproduktiv. Hintergrund dafür ist, dass die Programmierzeit des internen Flash-Speichers beim verwendeten Laboraufbau zum begrenzenden Faktor des Flashvorgangs wird und somit Optimierungen der Download-Phase wirkungslos bleiben. Um allerdings allgemeinere Aussagen über den Datendurchsatz sowie die Wirksamkeit von Optimierungen für CAN FD

treffen zu können, müssen weitere Tests mit leistungsfähigeren CPUs durchgeführt werden. Die wesentliche Erkenntnis der Messungen ist jedoch, dass CAN FD gegenüber CAN einen deutlich höheren Datendurchsatz liefert (**Bild 9**); dabei sind die Migrationsaufwände überschaubar.

Fazit und Ausblick

Insgesamt ist ein objektiver Vergleich der Bussysteme CAN FD, FlexRay und Ethernet aufgrund verschiedener Mikrocontroller und Randbedingungen momentan noch schwierig, dennoch sind Tendenzen klar erkennbar. Bei FlexRay



schränken sich hohe Download-Geschwindigkeiten und hohe Performance für Echtzeitnutzdaten gegenseitig aus. 100-MBit-Ethernet liefert die höchsten Übertragungsraten, erfordert aber eine komplexe Software-Konfiguration und im Vergleich zu CAN FD fallen höhere Hardware-Kosten an. CAN FD präsentiert sich am ausgewogensten, es erreicht hohe Datenraten und ermöglicht weiteres Verbesserungspotenzial zu moderaten Kosten. Zusätzlich ermöglicht die enge Verwandtschaft zwischen CAN und CAN FD eine vergleichsweise einfache Migration auf den neuen CAN-Standard: Beide Protokolle basieren auf dem gleichen Physical Layer, dies ermöglicht eine Wiederverwendung von Transceivern, Verkabelung und Bustopologien. Da sich auch das Kommunikationsprinzip nicht geändert hat, kann bestehendes Know-how weiter verwendet werden. Anpassungen auf den bei der Kalibrierung und Reprogrammierung betroffenen Software-Schichten fallen vergleichsweise gering aus.

Mit CAN FD sind sowohl beim Messen und Kalibrieren als auch bei dem Reprogrammieren von Steuergeräten signifikante Durchsatzgewinne zu erreichen. Beim (Re)Programmieren verlagert sich damit der Engpass zunehmend auf den Flash-Speicher. Weiterentwicklungen der verwendeten MCUs hinsichtlich der Speicherzugriffszeiten versprechen damit eine weitere Leistungssteigerung. Auch die Bestrebungen von Vector, die XCP-Spezifikationen um eine Paketverknüpfung bei CAN FD zu erweitern, zeigt die noch vorhandenen Möglichkeiten zur Leistungssteigerung des neuen Protokolls auf.

Weiterentwicklungen der verwendeten MCUs hinsichtlich der Speicherzugriffszeiten versprechen damit eine weitere Leistungssteigerung. Auch die Bestrebungen von Vector, die XCP-Spezifikationen um eine Paketverknüpfung bei CAN FD zu erweitern, zeigt die noch vorhandenen Möglichkeiten zur Leistungssteigerung des neuen Protokolls auf.

Deutsche Übersetzung der englischen Veröffentlichung im CAN Newsletter, Ausgabe September/2014.

Bildrechte:

Alle Bilder Vector Informatik GmbH

Literaturhinweis:

CAN-FD-Spezifikation V1.0, Robert Bosch GmbH



Armin Happel (Dipl.-Ing.)

arbeitet seit 1997 bei Vector Informatik GmbH im Bereich Embedded Software-Entwicklung und ist dort für den Produktbereich Flash Bootloader verantwortlich.



Erik Sparrer (Dipl.-Ing.)

arbeitet seit 2013 Vector Informatik GmbH als Software-Entwickler im Bereich Calibration and Measurement mit Fokussierung auf die Integration von Kommunikations-Hardware und Datenaquisesystemen für CANape.



Peter Decker (Dipl.-Ing. (FH))

ist seit 2002 bei Vector Informatik GmbH und arbeitet als Product Manager im Bereich Multibusentwicklung für CANoe/CANalyzer.

Vector Informatik: CAN FD durchgängig unterstützt

Steuergeräte-Software für CAN FD lässt sich nur effizient entwickeln, wenn sämtliche Komponenten der Werkzeugkette das verbesserte CAN-Protokoll unterstützen. Aus Sicht von Vector wird CAN FD in Zukunft eine strategische Rolle bei der Fahrzeugvernetzung einnehmen. Entsprechende Priorität wird auf die Unterstützung des neuen Systems gelegt und kann aktuell bereits eine durchgängige CAN-FD-Werkzeugkette anbieten: dazu zählen die Analyse- und Simulationswerkzeuge CANoe und CANalyzer ab Version 8.1, die Datenbank CANdb, das Mess- und Kalibrierwerkzeug CANape ab Version 12.0 sowie das Flash-Werkzeug vFlash ab Version 2.6. Das Portfolio der dazu passenden Schnittstellen-Hardware reicht vom einfachen Bus-Interface mit USB-Anschluss über aktive High-Performance-Interfaces mit eigener CPU bis hin zum VT System, der modularen Test-Hardware von Vector. Auch in MICROSAR, der AUTOSAR-Basissoftware von Vector, wird CAN FD zukünftig enthalten sein. Abgerundet wird das Portfolio mit der Prozesslösung PREEvision.