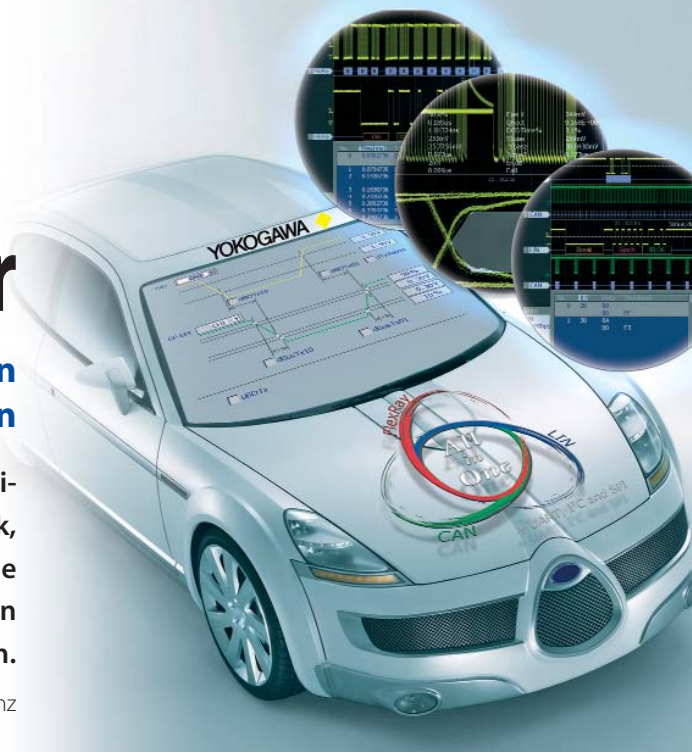

Den Bus im Visier

Effiziente Fehlersuche in Automotive-Bus-Systemen

Die steigende Verbreitung und die Vielfalt serieller Bus-Architekturen im Automotive-Bereich erfordern eine Messtechnik, die es dem Anwender ermöglicht, auftretende Probleme zeitnah finden und beseitigen zu können. Dabei kann ein „Vehicle Serial Bus Analyzer" wertvolle Hilfe leisten.

Von Rainer Kunz

Die Komplexität und die hohe Anzahl an Steuergeräten, Sensoren und Aktoren in modernen Kraftfahrzeugen erfordert, die immer stärker wachsende Datenmenge mittels geeigneter Bus-Systeme zu transportieren. Die derzeitig implementierten seriellen Bus-Architekturen FlexRay, CAN, LIN, SPI und I^2C werden auch weiterhin in den jeweils geeigneten Bereichen parallel zum Einsatz kommen, da neben den technischen Anforderungen wie Übertragungsrate, Stabilität, Zeitverhalten und Flexibilität bei der Auswahl auch Kosten und Aufwand für die Applikation berücksichtigt werden müssen. Insbesondere aufgrund des gestiegenen Kosten- und Zeitdrucks stehen Entwickler und Anwender nun vor der Aufgabe, diese Vielfalt an verschiedenen Bussen sowohl bei der Entwicklung als auch bei der Prüfung auf „Physical Layer"-Ebene zu analysieren und auftretende Fehler beziehungsweise deren Ursachen effizient zu lokalisieren.

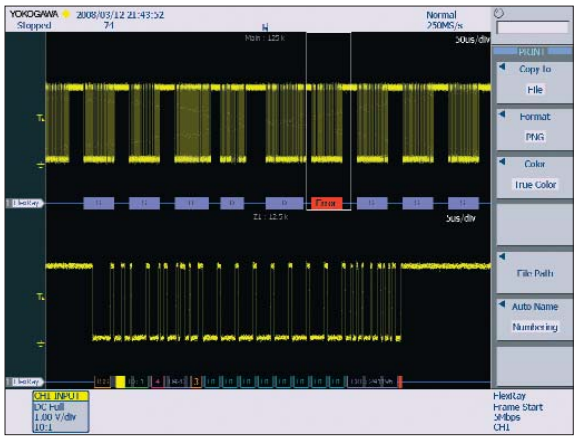

Bild 1. FlexRay-Protokoll-Decodierung mit dem SB5000.

Dazu benötigt er ein Werkzeug, das für diese Applikationen optimiert ist und ihm dennoch die Möglichkeit gibt, auch allgemeine messtechnische Aufgaben zu erledigen. Oszilloskop-basierte „Vehicle Serial Bus Analyzer" der neuesten Generation mit ihren vielen integrierten Echtzeit-Analyse- und Trigger-Funktionen, verbunden mit einem großen Akquisitionsspeicher und den flexiblen Darstellungsmöglichkeiten von Signalen und Analyse-Ergebnissen, erfüllen diese Voraussetzungen.

Statistische Analyse zur Fehlerfindung

Moderne Vehicle Bus Analyzer bieten die Möglichkeit, für die verschiedenen Bus-Architekturen decodierte Informationen der Protokollebene, also Dateninhalte, in ausführlicher Listenform oder in platzsparender simplifizierter Form, z.B. als Decode-Display, zusammen mit den zugrunde liegenden physikalischen Signalen in übersichtlicher, aussagekräftiger Form, anzuzeigen. **Bild 1** zeigt beispielsweise einen 5-Mbit-FlexRay-Kanal mit aktivierter Protokoll-Decodierung. Schon im oben dargestellten Hauptfenster, in dem mehrere FlexRay-Frames erfasst sind, ist deutlich ein rot markierter, fehlerhafter Frame zu erkennen.

Mittels Zoom-Funktionen kann, wie im unteren Fenster dargestellt, direkt der betreffende Frame untersucht werden. Detailliert werden Informationen über die Dateninhalte des Frame und damit auch eventuelle Fehlerinhalte angezeigt. Parallel ist die zugehörige Signalform angezeigt.

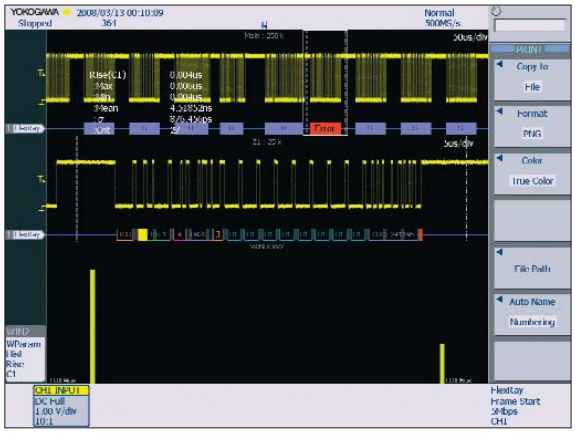

Bild 2. Histogramm-Darstellung von Waveform-Parametern am Beispiel der Anstiegszeit.

Als nächsten Schritt bietet es sich an, die physikalischen Kurvenformen statistisch auf Eigenschaften wie Anstiegs- und Abfallzeiten, Pegel oder Impulsbreiten zu untersuchen. Der kontinuierliche Statistik-Modus ermittelt in Echtzeit die üblichen statistischen Informationen der selektierten Parameter wie Mit-

telwert, Minimal- und Maximal-Werte oder Standardabweichung bezogen auf die aktuelle Akquisition beziehungsweise auf den aktuellen Zyklus und den spezifizierten Zeitbereich. Die History-Statistik erlaubt alternativ das Heranziehen aller oder ausgewählter Daten des gesamten Akquisitionsspeichers zur Berechnung statistischer Parameter. Das erlaubt bereits qualitative Aussagen über die relevanten Signalparameter.

Die zusätzliche Analyse der Häufigkeitsverteilung der Werte dieser Parameter, die Histogramm-Funktion, fügt dann die quantitativen Informationen hinzu. In **Bild 2** sind so ermittelte Analyse-Ergebnisse dargestellt. In Window 2 ist das Histogramm der Anstiegszeiten zu sehen. Die Pulse mit einer Anstiegszeit von 0,006 μs könnten ein Hinweis auf fehlerhaftes Verhalten sein. Als letzter Schritt erfolgt die Zuordnung der interessierenden, als außerhalb der Toleranz definierten Parameter-Werte zu den Stellen innerhalb der physikalischen Signale, an denen sie auftreten.

Bild 3. Trend-Darstellung der aktuellen Datenrate mit Ausreißer.

In Zoomfenster Z1 ist bereits der Frame eingeblendet, in dem die betreffenden Pulse zu finden sind. Durch diese Zuordnung verfügt man jetzt auch über die zeitliche Korrelation und ist damit im Stande, die Fehlerquelle zu identifizieren und damit das Problem zu beheben. Durch die Gesamtheit dieser Informationen ist eine Einschätzung der Ursache von Fehlern und Störungen sowie deren Behebung möglich.

Ein weiteres, wichtiges Beispiel für die Anwendung statistischer Methoden ist dieAnalyse der Frequenzstabilität serieller Bus-Systeme, was hier am Beispiel von CAN beleuchtet wird. Der Kehrwert der realen Pulsbreite eines einzelnen Bits im seriellen Datenstrom entspricht der aktuellen Datenrate für dieses Bit. Stellt man diese Größe nicht in einem Histogramm, sondern als zeitlichen Trend dar, so erfährt man direkt, wie stark und schnell sich die Bit-Rate verändert und ob es sich um tolerierbare Schwankungen handelt. Bei nicht tolerierbaren Werten oder zu stark schwankenden Datenraten lassen sich die verantwortlichen Pulsbreiten innerhalb der physikalischen Signale und CAN-Telegramme herausfiltern und damit die Fehlerquellen identifizieren.

In **Bild 3** erkennt man im oberen Main-Fenster das CAN-Telegramm, in dem eine Anomalie aufgetreten ist, im mittleren Zoomfenster Z1 ist das Bit dargestellt, dessen Pulsbreite vergrößert ist, wodurch die angestrebte Bit-Rate von 125 kbit/s nicht erreicht wird. Im Window 1 ist der Trend der errechneten Bit-Rate zu sehen: Der Ausreißer wird vom Cursor markiert.

Bus Analyzer ermöglicht Konformitätstest

Als alternative Methode zur Fehlersuche besteht auch die Möglichkeit, den Vehicle Bus Analyzer in den Konformitätstest einzubinden. Bei FlexRay ist es möglich, mit im Analyzer integrierten automatischen Prozeduren eine qualitative und quantitative Aussage über das Verhalten der ECUs und des physikalischen Übertragungskanals, also der Verkabelung, zu treffen. In **Bild 4** ist ein Augendiagramm eines FlexRay-Signals zu erkennen. Das im Zoomfenster Z1 dargestellte Auge kollidiert mit der grauen Maske: ein Zeichen für eine möglicherweise mangelhafte Signal-Integrität.

Die Messung eines solchen Diagramms gemäß der EPL-Spezifikation sowohl direkt am Transmitter als auch am Receiver und der gleichzeitig durchgeführte Maskentest liefern eine getrennte Aussage über das Verhalten der ECU und der Verkabelung, so dass eine Lokalisierung eventuell auftretender Fehler leicht möglich ist. Die Messung der Timing-Parameter von Transmitter und Receiver an den definierten Messpunkten (**Bild 5**) bringt zusätzlich Klarheit über das Verhalten der physikalischen Schnittstellen.

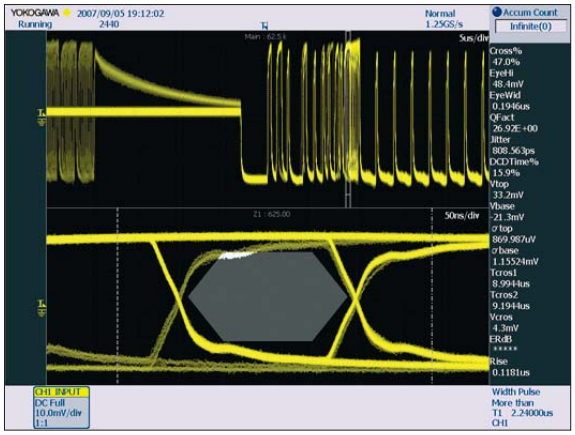

Bild 4. FlexRay: Augendiagramm-Darstellung nach der EPL-Spezifikation 2.1.

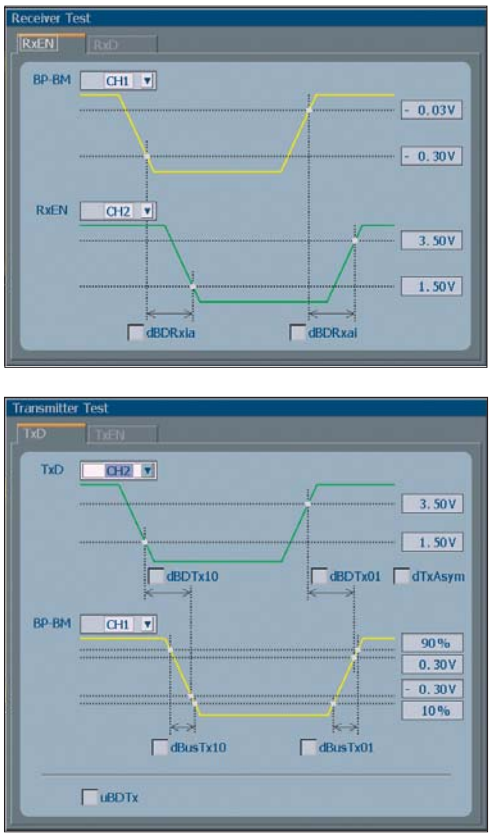

Bild 5. FlexRay: Konfiguration des automatischen Receiver- (oben) und Transmitter-Tests (unten).

Vehicle Serial Bus Analyzer SB5000 für Signal- und Protokollanalyse

Die neue Yokogawa-SB5000-Serie – oszilloskop-basierte serielle Bus-Analysatoren – bietet erweiterte Trigger- und Protokollanalyse-Funktionen auch für die Bus-Systeme FlexRay, CAN, LIN. Die Serie basiert auf der DL9710L-MSO-Plattform und bietet bis zu 5 GSamples/s Echtzeit-Abtastrate bei einer analogen Bandbreite von 1 GHz. Für die vier analogen Kanäle und die 32 (SB5710) bzw. 8 (SB5310) digitalen Kanäle steht jeweils eine Speichertiefe von 6,25 Mio. Worten zur Verfügung. Das neue Mess-System ermöglicht die simultane Darstellung von analoger Kurvenformen und zugehöriger Protokoll-Decodierung in Echtzeit.
Die Bedienung wird durch ein Auto-Setup für die Triggerung und die Analyse der unterstützten Bus-Systeme erleichtert. Dadurch ist es möglich, analoge Kurvenform-Charakteristika wie das Rauschverhalten und die Signalintegrität gemeinsam mit dem Timing-Verhalten auszuwerten.

Der segmentierbare Speicher erlaubt nicht nur die Aufzeichnung von Dateninhalten über einen langen Zeitraum und mehrere Zyklen, es können auch bis zu 2000 Kurvenformen gespeichert und im History-Modus nach benutzerdefinierbaren Kriterien durchsucht und angezeigt werden. Damit lassen sich beispielsweise Änderungen im Timing-Verhalten oder abnormes Signalverhalten wie Glitches detektieren.
Der SB5000 verfügt über flexible Trigger-Möglichkeiten. Insbesondere im Bereich der seriellen Bus-Systeme können Ereignisse herausgefiltert werden, die genauer untersucht werden müssen. Nach dem Import der CAN-dbc-Database ist so neben der symbolischen CAN-Analyse und der Trend-Darstellung der physikalischen Werte auch eine symbolische Triggerung möglich.
Im FlexRay-Bereich bieten die SB5000-Modelle die automatische Analyse der Parameter inklusive Transmitter- und Receiver-Test sowie Augendiagramm-Analyse nach dem aktuellen Stand „Electrical Physical Layer Specification V2.1 Rev. B".
Schnittstellen wie USB, Ethernet oder GPIB und die vollständige Fernbedienbarkeit mittels Programmierung ermöglichen das problemlose Einbinden des Analysators in automatische Testabläufe, beispielsweise für Konformitätstests.

Fehlerfilterung durch richtige Trigger-Bedingung

Die vorherigen Betrachtungen beziehen sich auf den Zustand, dass das relevante serielle Bus-Signal über einen relativ langen Zeitraum akquiriert wurde, im Extremfall durch eine Messung mit maximaler Speichertiefe. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass das interessierende Signal für den beobachteten Zeitraum lückenlos im Akquisitionsspeicher vorhanden ist und dem Analyzer zugeführt werden kann.

Eine interessante Alternative ist, den segmentierbaren Speicher des Analyzers auszunutzen. Dazu wird die aktuelle Speichertiefe so eingestellt, dass bei der gewünschten Zeitbasis die resultierende Abtastrate noch hoch genug ist, das Signal ausreichend genau zu erfassen. Bei seriellen Bus-Signalen sollte die Abtastrate fünf- bis zehnmal höher sein als die Bit-Rate. Dadurch ist es möglich, eine maximale Anzahl an getriggerten Messungen im Speicher abzulegen. Formuliert man eine geeignete Trigger-Bedingung für die interessierenden Fehlertypen, werden Signale mit entsprechender Fehlerindikation zuverlässig herausgefiltert und im Speicher des Instruments abgelegt. Sie können nach abgeschlossener Messung sowohl einzeln als auch gesamt betrachtet und analysiert werden. Moderne Analyzer bieten dafür umfangreiche Trigger-Funktionen für jeden der prominenten, seriellen Busse (**Bild 6**). Durch logische Verknüpfungen lassen sich auch mehrere Fehlertypen für die Trigger-Bedingung miteinander verbinden.

Bild 6. CAN-Bus mit Störungen: Trigger-Möglichkeiten für Fehlerfälle.

Anhand von Beispielen typischer Problemstellungen auf der physikalischen Ebene serieller Bus-Systeme im Automotive-Bereich wurden mögliche, systematische Vorgehensweisen bei Fehlersuche und -lokalisierung aufgezeigt. Die Methoden, derer man sich dazu bedient, reichen von der statistischen Analyse klassischer Parameter physikalischer Signale über eine Fülle komplexerer, automatischer Messverfahren und Prüfabläufe bis zur Filterung von interessierenden Fehlertypen durch eine angepasste, umfangreiche Triggerung. Moderne messtechnische Werkzeuge, welche die technischen Voraussetzungen erfüllen und diese Funktionen für Bus-Architekturen wie FlexRay, CAN, LIN, I^2C oder SPI bereitstellen, sind wertvolle Hilfsmittel für den mit Problemstellungen konfrontierten Anwender (**Kasten**). *sj*

Rainer Kunz
studierte Nachrichtentechnik und Hochfrequenztechnik in Bochum und ist Produkt-Spezialist für Digitale Speicher-Oszilloskope und Vehicle Bus Analyzer bei der Yokogawa Measurement Technologies GmbH in Herrsching bei München.
rainer.kunz@de.yokogawa.com