

Herausforderungen von USBTMC in der Messtechnik



Der USB-Standard befindet sich in einer stetigen Weiterentwicklung: schnellere Datenübertragung, neue Features wie der USB-C-Stecker. Damit sind Anpassungen einer bestehenden USBTMC-Schnittstellen-Lösungen für Messgeräte notwendig. Das erfordert Kosten und zusätzliche Entwicklungsarbeit. Ein USBTMC-Adapter stellt eine neue effektive Möglichkeit dar, diesen Aufwand zu minimieren.

Messgeräte müssen in Test- und Messsystemen von externen Steuerrechnern angesprochen werden. In den letzten 50 Jahren hat sich diese Ansteuerung von Messgeräten stetig weiterentwickelt: von den betagten GPIB- und RS-232-Schnittstellen hin zu den aktuellen Schnittstellen Ethernet LAN und USB.



*Autor:
Peter Plazotta
CEO und Gründer
Technical Software Engineering
Plazotta GmbH
info@tsep.com
www.tsep.com*

Der treibende Faktor für die Weiterentwicklung der Schnittstellen ist die enorme Steigerung der Messdaten sowie die Komplexität der Messabläufe und somit die Anzahl der Kommandos pro Messung. I/Q-Daten und In-Phase/Quadratur bilden ein fundamentales Konzept in der Hochfrequenztechnik sowie digitalen Signalverarbeitung zur Darstellung komplexer Signale. Besonders mit der stetigen Relevanz von I/Q-Daten sind die Datenmengen und die Datendurchsätze in den GBit/s-Bereich angestiegen.

Ethernet-LAN-Schnittstelle

Bei vielen Messgeräten hat sich die verwendete Ethernet-LAN-Schnittstelle faktisch als Standard etabliert. Ihr Einsatzbereich ist vielfältig und sie findet vor allem dann ihre Anwendung, wenn mehrere Geräte oder Rechner in komplexen Messsystemen zusammenarbeiten müssen. Hierbei wird ein erhöhter Aufwand für die Konfiguration und eine Integration in Firmennetze in Kauf genommen (Bild 1).

Plug-and-Play-System für Messgeräte

Bei Geräten, die eher als Desktop-Variante in Laboren Anwendung finden, kommt ein solcher Aufwand nur selten infrage. Hier wird die Verwendung einer Plug-and-Play-Schnittstelle angestrebt. Eine derartige Hardware-Schnittstelle als Alternative bot sich mit der Einführung von USB an. Um Messgeräte mit einem ähnlichen einfachen Verfahren wie USB-Tastaturen, USB-Mäusen oder USB-Storage anzubinden, musste eine entsprechende Erweiterung in der USB-Spezifikation vorgenommen werden.

Der USBTMC-Standard

Führende Messgeräte-Hersteller (wie Keysight, Rohde & Schwarz, Tektronix, Kikusui) veröffentlichten hierzu in 2003 in Zusammenarbeit mit dem „USB Implementers Forum“ und der „USB.org“ die erste Version des USBTMC-Standards (Universal Serial Bus Test and Measurement Class Specification / USBTMC). Dieser definiert die Rahmenbedingungen und die Grundlage für ein einfaches Plug-and-Play-System für Messgeräte. Die Erweiterung unterstützt das automatische Erkennen von USB-Schnittstellen (USBTMC) an USB-Ports und ermöglicht es, herstellerunabhängig diese Schnittstelle zu verwenden.

Visa-Bibliothek erweitert

Um eine Einbindung der USB-Schnittstelle für die Ansteuerung über Visa (Standard zur Ansteuerung von Messgeräten der IVI Foundation) analog zum bisherigen Standard zu ermöglichen, wurde von der IVI Foundation die Visa-Bibliothek für den Zugriff auf USBTMC erweitert und zur Verfügung gestellt. Somit war es für Kunden der Messgerätehersteller möglich, mit Hilfe der Visa-Implementierungen (von NI, Keysight oder Rohde&Schwarz) in der gewohnten Art und Weise auf ihre Messgeräte über USBTMC zuzugreifen.

Die Herausforderung

Die Client-Seite des USBTMC-Protokolls ist damit einfach für alle Nutzer zugänglich. Bei der Messgeräte-Seite ist dies jedoch gänzlich anders. Hier müssen die Messgerätehersteller eigene Implementierung realisieren. Um nun diese Schnittstelle zu unterstützen, gab es bisher zwei verbreitete Möglichkeiten: In der ersten Version konnten spezielle FPGA-Implementierungen realisiert werden. Zusätzlich gab es auch entsprechende programmierbare USB-Chips zu kaufen, jedoch konnten solche Chips nur in großen Stückzahlen (>100.000) von den Herstellern erworben werden. Alle großen Messgeräte-Hersteller haben hierfür entsprechende Lösungen entwickelt, die den Kunden auch zur Verfügung stehen.

Da diese Entwicklungen proprietäre Lösungen mit entsprechend hohen Entwicklungskosten darstellen, sind diese Lösungen für kleinere Messgeräte-Hersteller nur schwer zu realisieren. Zusätzlich befindet sich der USB-Standard in einer ständigen Weiterentwicklung, von USB 1.x über USB 2.x und USB 3.x bis hin zu USB 4.x. Somit sind ständige Anpassungen notwendig, was die Maintenance-Kosten von Geräten belastet.



Bild 1: TSEP entwickelt komplexe Test- und Messsysteme unter anderem für den Automotive-Bereich. Alle Bilder © TSEP

Auf der Messgeräte-Seite ist zudem das in der USBTMC-Spezifikation beschriebene USBTMC-Protokoll zu implementieren. Somit enthält die Messgeräte-Seite auch einen Software-Anteil, der zu implementieren, zu testen und zu warten ist.

Suche nach alternativen Möglichkeiten

Um eine weitere Verbreitung des Standards voranzutreiben, sind derzeit mehrere Möglichkeiten verfügbar: Mit der Einführung der Dual-Role-USB-Chips auf Rechnerboards entstand zum einen eine alternative Möglichkeit, um die USBTMC-Schnittstelle auch für kleinere Messgeräte-Hersteller zu unterstützen. Eine Evaluierung mehrerer Rechnerboards mit den entsprechenden Chips zeigte jedoch, dass hier ein enormer Aufwand betrieben werden müsste, um diese Chips zu integrieren. Die BIOS-Varianten der Rechnerboards müssen diese Chips unterstützen. Jedoch weisen viele BIOS-Varianten hier Probleme auf, die sich nur mit den Rechnerboard-Herstellern beheben lassen.

Bei kleinen Stückzahlen an Rechnerboards wird es damit schwierig, den entsprechen Support zu bekommen. Um diese Dual-Role-USB-Chips zu unterstützen, müssen betriebssystemspezifische, eigenständige Treiber realisiert werden. Die Treiberentwicklung ist teuer und kompliziert, da diese Chips hochkomplexe State Machines sind. Somit ist dieser Ansatz teuer und unflexibel, denn bei neuen Rechnerboards oder einem Betriebssystem-Wechsel bzw. -Update entsteht ein zusätzlicher Aufwand (Bild 2).

Zweite Alternative

Eine zweite Alternative bestünde darin, ein unabhängiges Adapterboard auf Basis moderner μ Controller zu implementieren. Dies würde die Verkopplung von Rechnerboard und komplexer Treiberentwicklung auflösen. Die Spezifikationen der USB-Schnittstellen können hierbei identisch bleiben (die USBTMC-Schnittstelle ist sowieso definiert) und Änderungen im USB-Standard unabhängig vom Messgerät adaptiert werden. Auf der Messgeräte-Seite ist somit nur ein einfacher USB-Anschluss (Typ A) notwendig, wobei die Anschlüsse standardmäßig vorhanden sind. Dieser Ansatz lässt sich sowohl als zusätzliche Einsteckkarte oder als USB-Adapter realisieren und ermöglicht den Herstellern eine maximale Flexibilität. Es stehen bereits erste

Produkte vor der Serienreife (Mitte 2026), mit denen aktuell USB bis zum Standard USB 3.2 unterstützt wird.

Funktionsweise eines USBTMC-Adapters

Die Funktionsweise eines solchen USBTMC-Adapters kann beispielhaft anhand eines USBTMC Adapter Development Boards dargestellt werden (Bild 3). Auf dem Board sind zwei moderne USB-Controller verbaut, die den aktuellen USB-Standard USB 3.2 mit einer Datenrate von bis zu 20 GBit/s ermöglichen. Eine Seite des Adapters (USB Stecker Typ B) stellt die notwendigen USB-Endpoints laut der USBTMC-Spezifikation zur Verfügung. Dieser μ C transferiert die Daten eins zu eins direkt zum zweiten USB-Controller (USB Stecker Typ A). Die Endpunkte entsprechen analog denen der USBTMC-Spezifikation, USB-Host und USB-Device-Seite sind hier allerdings getauscht. Die Datenübertragung zwischen den USB-Controllern erfolgt über eine parallele Schnittstelle. Derzeit stellt diese Schnittstelle den durchsatzbegrenzenden Faktor (ca. 12 GBit/s) dar, jedoch wird an einer erweiterten Datenrate gearbeitet.

Kundenspezifische Anpassung

Die gezeigte Platine ist ein Entwicklungs- und Evaluierungsboard und kann kundenspezifisch angepasst (kundenspezifische Einsteckkarte) oder als externer Adapter verwendet werden. Auf dieser Platine sind ca. 50 Prozent der Bauteile für die Entwicklung vorgesehen (Jumper, Debug-Schnittstelle etc.). Sie lässt sich skalieren und mit unterschiedlichen μ Controllern verwenden, was die Anpassung des Durchsatzes zwischen 5 - 20 GBit/s ermöglicht. Somit können Low-Value-Messgeräte (mit geringeren Datenraten) ebenfalls eine entsprechend günstigere Adapter-Variante verwenden.

DMA-basierte Datenübertragungen

Um große Datenmengen über die USBTMC-Schnittstelle übertragen zu können, können die Daten innerhalb des Messgerätes nicht blockweise (USB-Block) von oder zur Datenquelle des Messgerätes übertragen werden. Die USB-Packet-Size liegt bei max. 1024 Bytes, für den Transfer großer Datenmengen wie I/Q-Daten lassen sich diese kleinen Blöcke nicht verwenden. Hier sind spezielle DMA-basierte Datenübertragungen notwendig. Diese erfordern eine direkte Unterstützung der Messgeräte-Hardware und somit der speziellen Firmware. Die gezeigte Adapterplatine hat für die schnellen USB μ Controller ein offenes Interface bereitgestellt, um den DMA-Transfer zu ermöglichen.

Zusätzlich kann mit dem gezeigten USBTMC Adapter Board auch eine entsprechende USBTMC Protokoll-Implementierung bezogen werden. Des Weiteren steht ein SCPI Remote-System zur Verfügung, das die gesamte USBTMC-Funktionalität enthält.

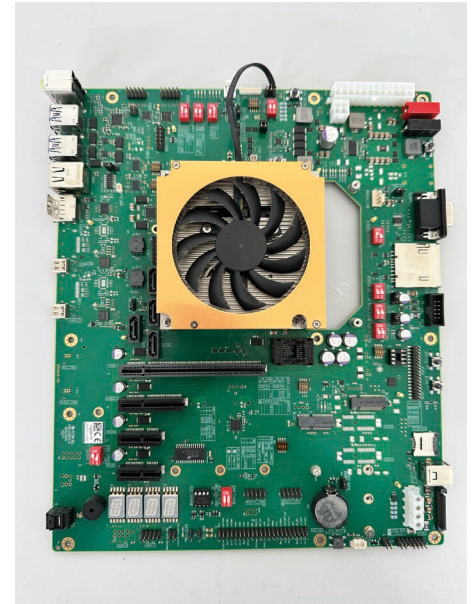


Bild 2: Congatec Development Board mit Dual Role USB-Chip für USBTMC

Fazit

Die USBTMC-Schnittstelle ist ein integraler Bestandteil von Messgeräten und sollte von allen Messgeräte-Herstellern zur Verfügung gestellt werden. Eigene Implementierungen dieser Schnittstelle, vor allem mit eigener proprietärer Hardware, stellen einen nicht zu unterschätzenden Kostenfaktor dar. Zudem stellt sich für Messgeräte-Hersteller die Frage, ob derartige Entwicklungen zur Kernkompetenz der Firma zählen. Mit dem Hintergrund der stetigen Erweiterung des USB-Standards muss man bei eigenen Entwicklungen mit laufenden Kosten rechnen. Um diesem Kreislauf zu entkommen, stellt der Ansatz des extern zu erwerbenden USBTMC-Adapters eine smarte Lösung dar. Die Entwicklung ist ausgelagert, Ergebnisse und Verbesserungen werden automatisch integriert und Weiterentwicklungen aktiv vorangetrieben. In Zeiten des erhöhten Kostendrucks bildet ein Adapter eine effektive und kostengünstige Lösung. ◀

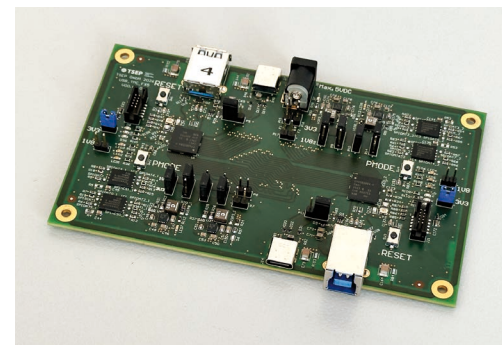


Bild 3: Das USBTMC-Adapter Development Board von TSEP ist ab April 2026 verfügbar und kann von Messgeräte-Herstellern jederzeit bezogen werden.