

TSN (Time-Sensitive Networking) – IEEE 802 Ethernet wird echtzeitfähig

Ethernet ist aus der industriellen Automatisierungstechnik nicht mehr wegzudenken. Die einheitliche technische Basis, die damit einhergehende Interoperabilität sowie die Skalierbarkeit beschreiben dieser in der IEEE 802 standardisierten Kommunikationstechnologie eine breite Akzeptanz. In einen Anwendungsbereich konnte Standard Ethernet allerdings bisher noch nicht vordringen: die Netzwerkkommunikation mit harten Echtzeitanforderungen.

Um dieses Anwendungsfeld zukünftig mit einer in der IEEE 802 standardisierten und am Markt akzeptierten Lösung für Echtzeit-Ethernet abzudecken, wurde die Arbeitsgruppe Time-Sensitive Networking (TSN) der IEEE 802.1 gegründet. Ziel dieser Gruppe ist es, bestehende Ethernet-Standards so weiterzuentwickeln, dass ein Grad an Determinismus erreicht wird, der den Anforderungen moderner Steuerungsnetzwerke in der Industrieautomatisierung und der Automobilindustrie gerecht wird. Dieser Artikel bietet einen kompakten Überblick über die aktuell entwickelten TSN-Schlüsselkomponenten.

Die TSN-Schlüsselkomponenten

Die in der TSN-Arbeitsgruppe spezifizierten Standards lassen sich grob in drei Kategorien einteilen, die für das Gesamtsystem „TSN“ von elementarer Bedeutung sind:

- Zeitsynchronisation bildet die unerlässliche Grundlage für die getaktete Ende-zu-Ende-Übertragung von Kommunikationsströmen mit harten Echtzeitanforderungen.
- Scheduling und Traffic Shaping ermöglichen die gemeinsame Übertragung von Kommunikationsströmen mit harten bzw. weichen Echtzeitanforderungen sowie traditionellem Best-Effort-Datenverkehr in einer konvergenten Netzwerkinfrastruktur.
- Mechanismen zur Stromreservierung und (redundanten) Pfadauswahl stellen die Anforderungen an Latenz und Ausfallsicherheit sicher.

Das Fundament: Hochpräzise Zeitsynchronisation

Um Datenströme mit harten Echtzeitanforderungen in einem Ethernet-Netzwerk in festen Zyklen transportieren zu können, ist eine hochpräzise Zeitsynchronisation aller beteiligten Geräte unabdingbar. Diese wird bei TSN wahlweise durch den Einsatz des neu entwickelten Standards IEEE P802.1AS-Rev oder der bewährten IEEE 1588-2008 Technologie erreicht.

Das Pflichtprogramm: Echtzeitfähiges Scheduling für weiche und harte Echtzeit

Neben der Zeitsynchronisation bietet TSN Mechanismen des Scheduling und Traffic Shapings. Hierdurch wird die Koexistenz verschiedener Verkehrsklassen in einem Netz ermöglicht. Für Best-Effort-Datenverkehr kommen die bereits bekannten festen Prioritäten nach IEEE 802.1Q zum Einsatz. Eines der Probleme bei dieser Art der Priorisierung ist jedoch, dass die Paketabfolge für Datenpakete gleicher Priorität nicht beeinflusst werden kann. Zusätzlich kann ein Datenstrom mit hoher Priorität alle anderen Prioritäten dauerhaft blockieren. Für zeitkritische Datenströme mussten daher weitere Priorisierungsmechanismen entwickelt werden.

Traffic Shaping bedient bei TSN Datenverkehr mit vorhersagbaren Übertragungscharakteristiken und weichen Echtzeitanforderungen. Der zugehörige Standard IEEE 802.1Qav definiert einen Credit-Based Shaper (CBS), der solche Datenströme unter Einhaltung von Fairnesskriterien gegenüber Best-Effort-Verkehr priorisiert. CBS und feste Prioritäten können so bereits die Anforderungen vieler Anwendungen erfüllen.

Insbesondere im industriellen Umfeld und der Automobilindustrie gibt es jedoch Anwendungsfelder, die garantierte und noch niedrigere Worst-Case-Latenzen und -Jitter benötigen. Mit TSN werden daher für zeitkritische Datenströme feste zyklische Übertragungszeitfenster (IEEE 802.1Qbv) entlang eines Datenpfads eingefügt. Während dieser Zeitfenster können die zeitkritischen Datenströme ungehindert übertragen werden (s. Abb. 1). Zusätzlich wird ein Schutzband eingerichtet, das sicherstellt, dass sich vor der zeitkritischen Übertragung keine Daten auf dem Übertragungspfad befinden. Die hierdurch belegte Bandbreite kann durch den Einsatz von Frame Preemption (IEEE P802.1Qbu und IEEE P802.3br), der Unterbrechung eines Datenpakets zugunsten eines höher priorisierten Pakets, auf ein Minimum reduziert werden.

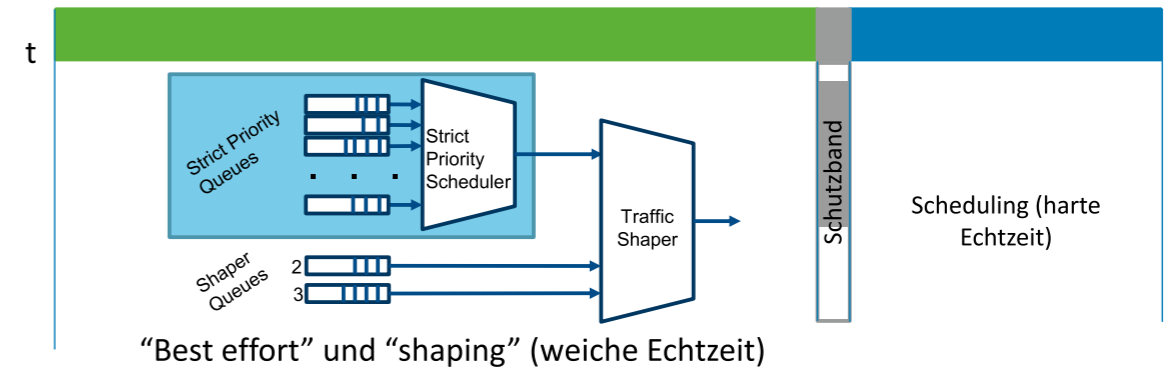


Abb. 1: Zusammenhang von Scheduler, CBS und Best-Effort

Die Kür: Stream-Management und Fehlertoleranz

Die Einhaltung der Anforderungen einzelner Applikationen hinsichtlich Zeitverhalten und Zuverlässigkeit stellen den Kern von TSN dar. Um diese Eigenschaften sicherzustellen, müssen Anwendungen Datenströme vor ihrer Übertragung registrieren. Die Identifikation, Registrierung und Verwaltung passender Pfade kann insbesondere in größeren Netzwerken und im Zusammenhang mit den Anforderungen an feste Übertragungsfenster eine Herausforderung sein. Zur Unterstützung der Identifikation, Registrierung und Verwaltung passender Pfade definiert TSN in IEEE P802.1Qcc geeignete Mechanismen und Schnittstellen.

Die Zuverlässigkeit von Datenströmen, insbesondere im Fehlerfall, ist ebenfalls von großer Bedeutung für TSN. Daher werden in IEEE P802.1CB und IEEE P802.1Qca Verfahren definiert, die eine Replizierung und redundante Über-

tragung von Daten auf disjunkten Pfaden erlauben. Die erreichte Redundanz ist dabei für die kommunizierenden Applikationen transparent.

Zeitschiene der IEEE 802.1: Standards und Abschluss

TSN umfasst eine Reihe von Standards, die zusammen die Anforderungen an harte Echtzeit erfüllen. Der volle Funktionsumfang von TSN wird aufgrund der unterschiedlichen Zeitschienen der zugehörigen Teilstandards allerdings erst im Laufe der kommenden Jahre vollständig zur Verfügung stehen. Mit IEEE 802.1Qbv-2015 ist jedoch bereits der erste Standard aus der TSN-Familie verfügbar. Dieser das Scheduling betreffende TSN-Standard ermöglicht bereits heute, gemeinsam mit dem 2009 veröffentlichten Standard IEEE 802.1Qav für weiche Echtzeitanforderungen sowie IEEE 1588 für hochpräzise Zeitsynchronisation, die Kernaufgaben von TSN zu erfüllen.

Autoren



Dr. Oliver Kleineberg

ist seit 2007 für Belden tätig und leitet seit 2015 den Bereich Advance Development der Hirschmann Automation & Control GmbH, die Teil der Industrial IT Platform von Belden ist. In den Jahren 2012 und 2013 war er für die Integration der Tofino-Security-Technologie in das Industrielle Kommunikationsportfolio von Belden verantwortlich. Weiterhin war er viele Jahre in verschiedenen Arbeitsgruppen der Gremien IEEE 802, IEC und ODVA engagiert und hat wesentlich zu den Spezifikationen industrieller Kommunikationsprotokolle wie beispielsweise HSR und TSN beigetragen. Er hat an der Hochschule Esslingen Technische Informatik studiert und promovierte an der University of Limerick an der Fakultät Computer Engineering.



Stephan Kehrer

ist seit 2007 für Belden tätig. Er arbeitet dort seit 2012 im Bereich Future Technologies der Hirschmann Automation & Control GmbH, die Teil der Industrial IT Platform von Belden ist, und befasst sich hauptsächlich mit der Untersuchung und Evaluierung neuer und zukünftiger Technologien im Bereich industrieller Kommunikation. Er ist in verschiedenen Forschungsvorhaben tätig und engagiert sich in verschiedenen Arbeitsgruppen der IEEE 802 und IEC. Sein Fokus bei den Tätigkeiten innerhalb der IEEE 802 liegt auf dem Thema Time-Sensitive Networking (TSN). Sein Studium der Informatik absolvierte er an der Eberhard Karls Universität Tübingen.