

Echtzeit-Ethernet mit Standardtechnik

Bussysteme auf Ethernet-Basis haben die Automatisierungstechnik erobert. Kaum ein Hersteller, der nicht auf das Bussystem aus der IT-Welt setzt. Doch ist Echtzeit im Sinn der Automatisierungstechnik mit konventioneller Ethernet-Technologie überhaupt möglich? Welche Maßnahmen müssen getroffen werden, um industrielle Automation mit Ethernet zu realisieren?

Von Prof. Dr. Jörg Wollert

Zunächst muss man feststellen, dass es „das“ Ethernet gar nicht gibt. Ethernet beschreibt ein Bussystem, welches eine phänomenale Evolution in den letzten 40 Jahren vollzogen hat. Es ist eng verbunden mit Robert Metcalfe und dem Xerox Palo Alto Research Center (PARC). Metcalf entwickelte mit seinem Team über mehrere Jahre das Ethernet als firmenspezifisches Protokoll. 1976 veröffentlichte er einen ersten grundlegenden Artikel zusammen mit David Boggs: „Ethernet: Distributed Packet Switching For Local Computer Networks“ [1]. 1979 gründete Metcalfe die Firma 3COM und konnte DEC, Intel und Xerox (DIX) überzeugen, Ethernet zu einem gemeinsamen Standard zu entwickeln. Dieser Backbone-basierte Ansatz, häufig auch als DIX bezeichnet, führte 1980 zu einer

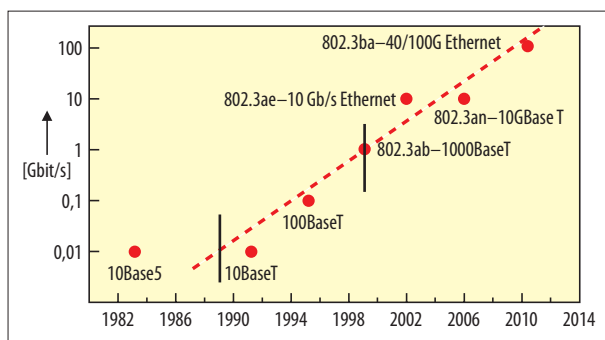


Bild 1. Eine Verzehnfachung der Kommunikationsleistung in fünf Jahren – das schafft nur Ethernet.



(Bild: xiaoliangge – Fotolia)

entsprechenden Initiative und gipfelte 1985 in der Normung der IEEE 802.3. Mit der Standardisierung begann eine herausragende Entwicklung in den letzten 30 Jahren. Vergleichbar zum Moore'schen Gesetz in der Halbleiterindustrie, der Verdopplung der Rechenleistung alle 18 Monate, kann nur Ethernet eine vergleichbare Performance-Steigerung bei Kommunikationssystemen vorweisen. Mit etwa einer Verzehnfachung alle 5 Jahre ist der Anstieg an Kommunikationsleistung signifikant (Bild 1). Ein Ende dieser Entwicklung ist nicht abzusehen – ein Grund, warum Ethernet als universelles Kommunikationsmedium so interessant ist.

Bei der initialen Entwicklung von Ethernet stand die Kommunikation von nahezu beliebig vielen Stationen an einem Backbone im Vordergrund. Durch einen CSMA/CD-Kanalzugriff (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) versuchte man die notwendige Robustheit zu erreichen. Für die Trägererkennung werden 0- und 1-Informationen Manchesher-kodiert, so dass ein Da-

tentelegramm zweifelsfrei erkannt werden kann. Aufgrund der Laufzeiten von Daten auf Kabeln kann es dennoch zu Kollisionen von Datenpaketen kommen. Eine Mindestdatenlänge (im Fall Ethernet von 64 Byte) bestimmt die weiteste Netzausdehnung. Tritt eine Kollision auf, bemerken die Stationen, dass die Datenpakete verändert worden sind, und hören unmittelbar mit dem Senden auf. Um einen erneuten kollisionsfreien Zugriff zu ermöglichen, starten die entsprechenden Stationen einen Zufallszähler, nach dessen Ablauf ein erneuter CSMA-Zugriff eingeleitet wird. Tritt wieder eine Kollision auf, wird das Intervall des Zufallszählers verdoppelt und der Prozess beginnt von neuem. Erst nach dem 16. Fehlversuch wird der Fehler an die darüber liegende Schicht gemeldet. Dieser Algorithmus wird auch als Backoff-Algorithmus bezeichnet und sorgt dafür, dass im Mittel alle Datenpakete auch bei Kollisionen versendet werden können.

Neben der Definition der Kabelphysik beschreibt Ethernet auch den grundlegenden Protokollrahmen des MAC Layer. Häufig wird der IEEE-802.3-Standard als Synonym für Ethernet verwendet, was aber nicht ganz korrekt ist. Histo-

risch gewachsen ist der IEEE-802.3-Rahmen. Die ersten 7 Bytes enthalten eine Präambel mit einer Magic Number (1010101). Sie erzeugt bei 10 Mbit/s und Manchesterkodierung ein 10-MHz-Signal von 5,6 μ s Länge und ermöglicht der hörenden Station die Synchronisation mit dem Sender. Das Signal wird auch zur Autodetektion von 10/100 Mbit/s verwendet. Das folgende Startbit dient als Rahmenstart-Bit. Die Ziel- und Quelladresse beinhalten die MAC-Adresse des Senders und Empfängers. Die MAC-Adresse ist eine Eigenschaft der Netzwerkkarte und weltweit eindeutig. In aktuellen Systemen werden Ethernet-II-Rahmen eingesetzt, die sich geringfügig von Ethernet-I-Rahmen unterscheiden. Die Datenfeldlänge ist 46 bis 1500 Byte lang und ein Type-Feld enthält den „EtherType“-Code. Häufige Codes sind beispielsweise 0x800 für IP-Datenpakete oder spezifische andere Protokolle höherer Kommunikationsschichten.

Topologien und Technologien

Im Laufe der Geschichte von Ethernet haben sich unterschiedliche topologische und technologische Varianten der IEEE-802.3-Norm herausgebildet.

- 10Base5 beschreibt die Thick-Ethernet- bzw. Yellow-Cable-Verkabelung. Diese Kabel waren für die 10-Mbit/s-

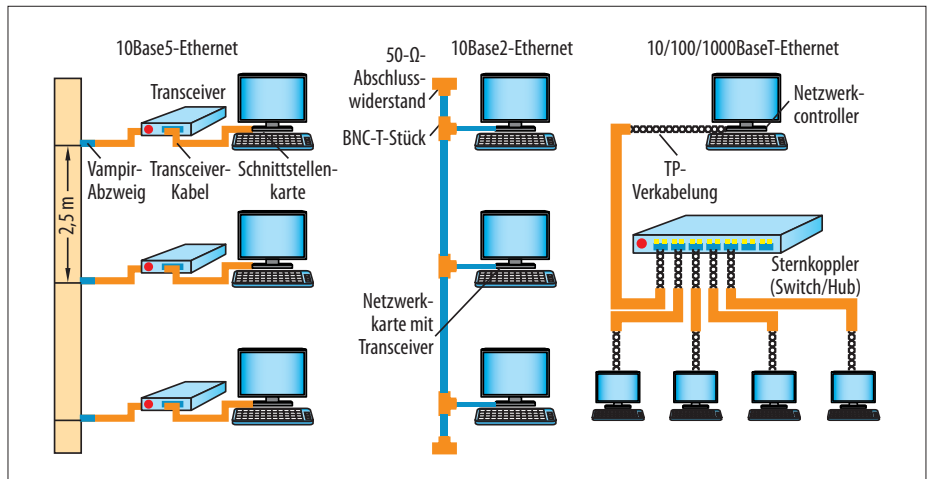


Bild 2. Ethernet hat unterschiedliche Entwicklungsstufen hervorgebracht – heute ist die Sternkoppler-basierte BaseT-Technologie Stand der Technik.

Backbone-Verkabelung mit einer Segmentlänge von bis zu 500 m gebräuchlich. Mit der Hilfe von bis zu vier Repeatern konnten maximale Segmentlängen von 2,5 km erreicht werden. Heute spielt diese Form keine Rolle mehr und ist ein Relikt aus der Frühzeit des Ethernet.

- 10Base2 beschreibt das Thin Ethernet bzw. das Cheapernet. Hierbei handelt es sich beim Übertragungsmedium um ein dünnes 50-Ohm-Koaxialkabel (RG 58). Der Kabelanschluss erfolgt über passive BNC-Stecker, die direkt über T-Stücke oder EAD-Dosen mit

speziellen Verbindungskabeln an die jeweilige Netzwerkkarte angeschlossen werden. Der Transceiver liegt auf der Netzwerkkarte und ist nicht als getrennte Komponente ausgelegt. 10Base2 ist die kostengünstige Alternative zu Base5 für Segmentlängen bis zu 200 m. Base2 hat in den 1980er und 1990er Jahren wesentlich zum Erfolg von Ethernet beigetragen.

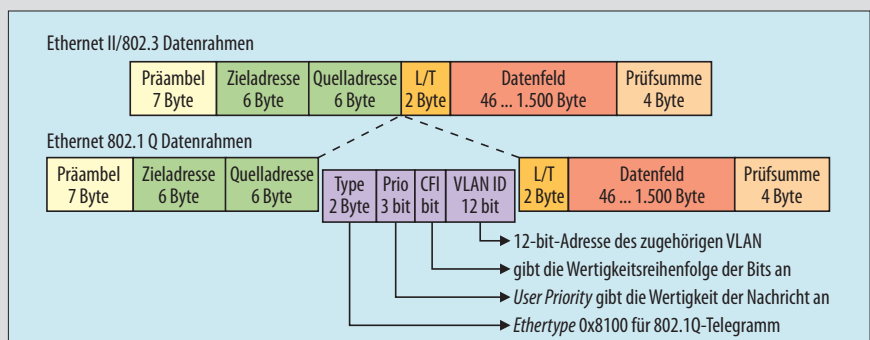
- BaseT beschreibt ganz allgemein die Glasfaseralternative (F – Fibre) von Ethernet. Die Spezifikation beschreibt Varianten von 10 Mbit/s (10BaseF), 100 Mbit/s (100BaseF) bis hin zu

VLAN – IEEE 802.1Q – virtuelle, priorisierte, querverkehrsfreie Netzwerke

Es ist offensichtlich, dass die Herausforderungen der Ethernet-Kommunikation in der Automatisierungstechnik, wie Querverkehrsfreiheit und Priorisierung von Nachrichten, zusätzliche technische Lösungen notwendig machen. Ein Lösungsansatz ist die Realisierung von virtuellen Netzwerken. Unter einem virtuellen Netzwerk versteht man eine Gruppe von Netzwerkknoten, die in einer logischen Domäne zusammengefasst sind. Hierbei können die Netzwerkknoten auf unterschiedlichen Switches lokalisiert sein. Die Zuordnung zu der jeweiligen Domäne erfolgt durch eine Software-Konfiguration. Unterschiedliche VLAN-Konzepte sind denkbar. Heute hat sich sogenanntes Layer-2/3-Switching nach IEEE 802.1Q durchgesetzt. An ausgezeichneten Ports eines Switch, sogenannten Trunked Ports, werden die Ethernet-Telegramme „getaggt“. Unter „Taggen“ versteht man die Erweiterung des Protokollrahmens, um eine Verwaltungsstruktur zur Identifikation des 802.1Q-Datenrahmens durch einen spezifischen Ether-

type (0x8100) und die entsprechenden Verwaltungsinformationen wie Nachrichtenpriorität und zugehöriger VLAN-ID. Ein 802.1Q-Switch stellt sicher, dass an dem Trunked Port tatsächlich nur Nachrichten mit der zugehörigen VLAN-ID auftreten können. Getaggte Nachrichten sind innerhalb eines Netzwerkes Routing-fähig, solange nicht die MTU (Maximum Transmission Unit) überschritten wird. Da das Taggen von Nachrichten alleine durch die Switch-Infrastruktur erfolgt, sind aus der

Sicht der Automatisierungsgeräte keine weiteren Engineering-Schritte notwendig. Ebenfalls müssen die Automatisierungsgeräte keine besonderen spezifischen Eigenschaften vorweisen – das Versenden und Empfangen normaler Ethernet-Frames reicht vollkommen aus. Die VLAN-Technik 802.1Q ist beispielsweise bei Profinet in der Conformance Class B (CC-B) obligatorisch. Auch andere Echtzeit-Ethernet-Technologien setzen auf VLAN Tagging.



Durch „Taggen“ von Ethernet-Rahmen können virtuelle Netzwerkstrukturen geschaffen werden.

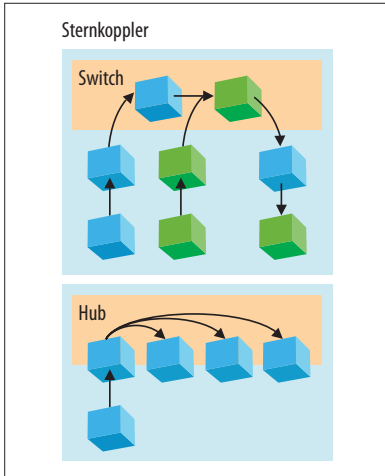


Bild 3. Die Sternkoppler teilen sich in Switch und Hub. Bei Hubs kommen Broadcasts an allen Stationen quasi gleichzeitig an. Switches haben den Vorteil, dass sie den Datenverkehr filtern können und so unnötigen Traffic vermeiden.

10 Gbit/s (10.000BaseF). Glasfasernetze werden heute typischerweise für die Backbone-Verkabelung eingesetzt. In industrieller Umgebung können Glasfasernetze ihre Vorteile durch eine optimale Störunanfälligkeit hinsichtlich elektrischer und magnetischer Störimpulse und Bursts ausspielen.

→ xBaseT ist heute Stand der Technik. Die T-Varianten beschreiben eine Netzwerkverkabelung mit Twisted-Pair-Kabeln unterschiedlicher Spezifikation. 10BaseT (10 Mbit/s) und 100BaseT (100 Mbit/s) verwenden dieselbe Infrastruktur und Anschlusstechnik. Fast Ethernet (100BaseT) wurde 1995 als IEEE 802.3u offiziell verabschiedet. Bei den 100-Mbit/s-Versionen unterscheidet man zwischen 100BaseTX und 100BaseT4. Die letztere Variante begnügt sich mit UTP-Kabeln der Kategorie 3, d.h. einer Bandbreite von 25 MHz, was die

Übertragung der Daten über ungeschirmte Leitungen ermöglicht. Der Tribut an diese Technik ist die Verwendung aller vier Kabelpaare. 100BaseTX verwendet Kabel der Kategorie 5 und ermöglicht die Full-Duplex-Übertragung über zwei verdrehte Kabelpaare, wobei ein Kabelpaar für das Senden und eines für das Empfangen genutzt wird. Die Gigahertz-Variante 1000BaseT(X) (Gigabit Ethernet) verwendet zwar von der Anschlusstechnik her dieselben Kabel und Stecker, entspricht aber vom Anschluss her 100BaseT4, wobei hierbei Vollduplex über ein Kabelpaar gefahren wird.

Mit der BaseT-Technik verließ Ethernet die Linien-Topologie und ermöglichte wesentlich robustere und fehlertolerantere Stern-Strukturen, die jedoch Sternkoppler notwendig machen. Als Sternkoppler können unterschiedliche Technologien eingesetzt werden. Man spricht hier von Hubs, Switches oder Switching Hubs. So unterschiedlich die Namen sind, so unterschiedlich ist auch das Innenleben, was für die Bewertung der Performance und damit des Echtzeitverhaltens von Bedeutung ist.

Hub und Switch

Sternkoppler können vollständig unterschiedliche Ausprägungen haben. In erster Linie unterscheidet man zwischen Hub und Switch (Bild 3). Ein Hub ist nichts anderes als ein Koppler, der eingehende Datenpakete auf alle weiteren Kanäle des Sternkopplers dupliziert. Datenpakete kommen damit mehrfach vor. Durch die eindeutige Teilnehmeradressierung werden nicht benötigte Datenpakete später verworfen. Hubs können aus der Sicht der Automatisierungstechnik interessant sein, da Broad-

casts quasi gleichzeitig an allen Stationen ankommen. Für die konventionelle IT-Technik ist dieses Verhalten eher uninteressant.

Aus diesem Grund und dem unnötigen Datenaufkommen haben sich sogenannte Switches als Sternkoppler am Anfang der 2000er Jahre als Stand der Technik herauskristallisiert. Hierbei werden innerhalb der Sternkoppler Filterdatenbanken gehalten, in denen die angeschlossenen Rechnersysteme mit ihren MAC-Adressen registriert werden. Der Switch erkennt durch das Mitlesen des Telegramms, über welchen Port das Zielsystem erreichbar ist, und kann dann, wie bei einem Kreuzschienen-Verteiler, Quell- und Zielport verbinden. Bei reinen 1:1-Kommunikationsverbindungen hat ein Switch damit die gleiche Funktion wie ein gekreuztes Kabel, d.h. es ist eine exklusive störungsfreie Vollduplex-Verbindung möglich. Echtzeit kann in diesem Fall garantiert werden – ein Grund, warum man Switched Ethernet gerne als echtzeitfähig beschreibt.

Anders sieht es aus, wenn ein Zielsystem dem Switch nicht bekannt ist. Das ist immer bei einem Neustart, oder wenn tatsächlich ein neuer Teilnehmer erreicht werden soll, der Fall. Der Switch kann dann nicht wissen, über welchen Port der Teilnehmer erreichbar ist, und das Datenpaket wird durch das sogenannte „Flooding“, wie bei einem Hub, an alle Ports kopiert. Aus der Sicht der Echtzeit ist dieses Verhalten kaum zu akzeptieren, weil eine deterministische Antwort zu keinem Zeitpunkt möglich ist.

Darüber hinaus ist auch das interne Verhalten der Switches von hoher Bedeutung. In der technischen Praxis haben sich zwei grundsätzliche Techniken herausgebildet: die Store-and-Forward und die Cut-Through-Methode (Bild 5).

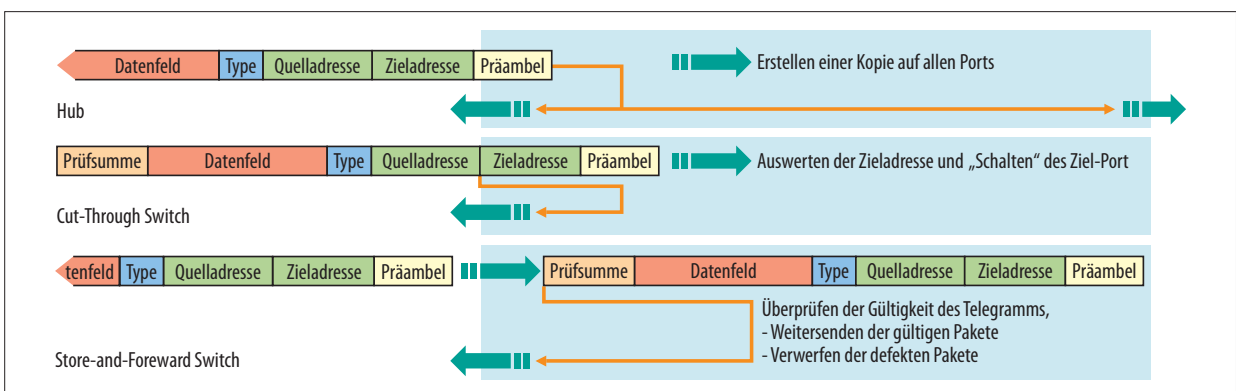


Bild 4. Sternkoppler können unterschiedlichste Technologien beinhalten, die einen wesentlichen Einfluss auf die Performance haben.

Store and Forward

Diese Betriebsart ist heute am häufigsten vorzufinden und eigentlich allen preissensitiven Sternkopplern zu eigen. Wie der Name schon sagt, werden die Datenpakete vollständig in den Switch geladen, zwischengespeichert und dann erst an den Zielport weitergegeben. Vorteil von S&F-Switches ist die Filterung von defekten Datenpaketen. Durch die Überprüfung der Prüfsumme des Ethernet-Datenpakets können defekte Nachrichten aussortiert werden. Nachteilig ist jedoch die notwendige Bearbeitungszeit. Bei einer typischen Paketlänge von 1518 Bytes ist die Mindestdauer für ein Datenpaket ca. 120 µs bei 100 Mbit/s plus die typische Verzögerungszeit von bis zu einigen zehn Mikrosekunden. Noch schlimmer wird es bei einem Pipelining von Nachrichten an einem Port – hier steigt die Wartezeit

mit der Anzahl der Teilnehmer. Unter Echtzeit-Kriterien ist das eine wahre Katastrophe, da das System zwar für Worst-Case-Szenarien determinierbar ist (Bild 5), aber die Warte- bzw. Latenzzeiten einen hohen System-Jitter erzeugen können. Eine deutliche Verbesserung des Zeitverhaltens ist nur durch kleinere Datenpakete oder andere Switching-Technologien möglich.

Cut Through

Ein deutlich besseres Zeitverhalten ist durch sogenannte Cut-Through oder auch On-the-Fly Switches möglich. Im Gegensatz zu den Store-and-Forward-

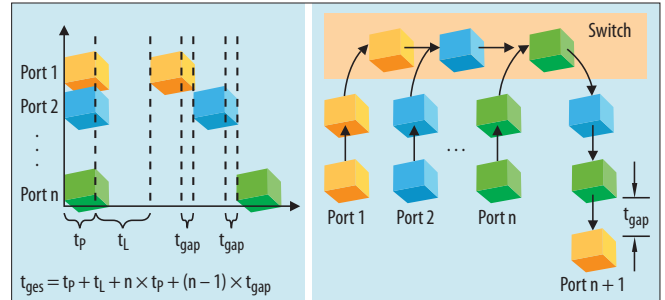


Bild 5. Verzögerungen in Switches sind determinierbar. Sie setzen sich zusammen aus n: Anzahl der Eingangsports, t_p : Dauer der Pakete, t_L : produktabhängige Latenzzeit, t_{gap} : Abstand der Rahmendaten am Ausgang (produktabhängig).

Varianten wird hier die Nachricht nur bis zur Zieladresse eingelesen und dann sofort der Weiterleitungsprozess angestoßen. Hierdurch können die Datenpakete zwar nicht überprüft werden, jedoch erfolgt die Weiterleitung typisch im Bereich um 10 µs. Das ist für Echtzeitsysteme hinreichend schnell und deterministisch. Nur bei

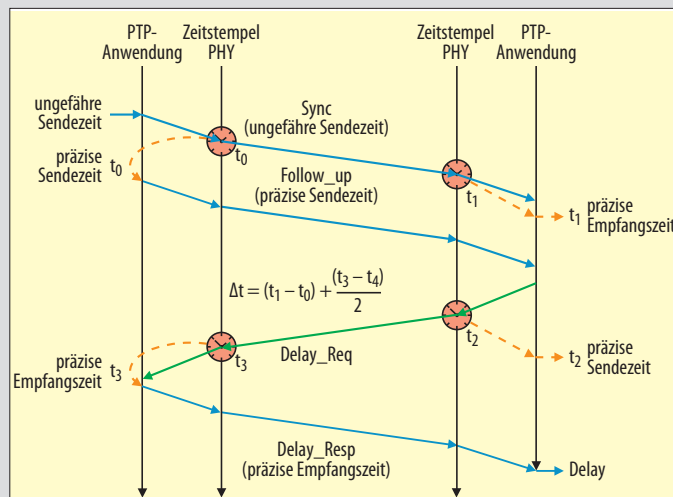
Synchronität durch IEEE 1588v2

Bei dezentral organisierten Netzwerken wie Ethernet ist eine genaue zeitliche Vorhersagbarkeit schwierig, da keine zentrale Koordinationsinstanz verfügbar ist. Dennoch ist ein determinierbares Echtzeitverhalten für automatisierungstechnische Anwendungen zwingend notwendig. Bei den klassischen Feldbussystemen haben sich für eine hohe Synchronität von Anlagen sogenannte zeitgetriggerte Protokolle (TTP – Time-Triggered Protocol) herausgebildet. Voraussetzung für eine zeitliche Koordination der Datenpakete ist eine äußerst präzise Uhrzeit, die möglichst auf allen Stationen zur Verfügung steht. Hier gibt es aus der Datentechnik mit NTP (Network Time Protocol) und SNTP (Simple Network Time Protocol) bereits bewährte Ansätze für die zentrale Steuerung der Uhrzeit. Diese haben jedoch den Nachteil, dass Laufzeiten im Netzwerk keine Berücksichtigung finden. Für eine Synchronisierung der Zeiten in Automatisierungssystemen im µs-Bereich sind sie deshalb ungeeignet.

Eine Lösung dieses Problems verspricht der IEEE-1588v2-Standard. Über das PTP (Precision Time Protocol) wird es möglich, präzise Uhrzeiten über paketvermittelte Netze zu generieren. Der Grundgedanke besteht darin, alle angeschlossenen Stationen mit einer selbstlaufenden, hochgenauen Echtzeituhr

zu versehen und diese Uhren zu synchronisieren. Daten können so mit einem exakten Zeitstempel übertragen werden, so dass eine empfangende Station, auch bei einer nur isochronen Übertragung, die Daten richtig

signalen der Echtzeituhren. Hierdurch können die Laufzeiten auf dem Medium und innerhalb des Prozessors berücksichtigt werden und erlauben eine Zeitgenauigkeit bis in den µs-Bereich.



PTP ermöglicht eine exakte Synchronisierung von Ethernet-Geräten.

zuordnen kann. Der Standard definiert Methoden und Verfahren zum Finden der besten Echtzeituhr im System als Uhrenmaster und zur Synchronisation der verteilten Echtzeituhren. Die Norm IEEE 1588v2 ist optimiert für kleine Netzwerke mit wenigen Teilnetzen, geringem Ressourcenverbrauch und minimalem Verwaltungsaufwand. Während in den bekannten Zeitprotokollen die Zeit selber als Broadcast versendet wird, erfolgt im PTP eine Versendung von Synchronisations-

Die Uhrzeit wird innerhalb des MAC-Layer der Netzwerkkarte genommen. Der Synchronisationsimpuls ist das Ende-bit des Start-Of-Frame Delimiter. Da höhere Protokolle nicht in Echtzeit die Daten auslesen können, ist die tatsächliche Ein- oder Austrittszeit durch ein Follow-up-Telegramm zu ermitteln. IEEE 1588 ist eine Hardware-Eigenschaft der Netzwerkkarte, die durch den Chipsatz bereitgestellt werden muss.

IEEE 1588 ist jedoch nicht alleine ein Phänomen in der Automatisierungstechnik. Vielmehr wird diese Technik innerhalb von Mobilfunksystemen eingesetzt, um paketorientierte Datendienste im Backbone zu synchronisieren. Die ITU-T-Empfehlung G.8261 „Timing and Synchronisation Aspects in Packet Networks“ sowie die 3GPP-Norm 25.104 fordern eine Synchronisationsgenauigkeit von typisch 50 ppm. Mit dem IEEE-1588v2-Standard von 2008 werden diese Grenzen ermöglicht. Die im Vergleich zur Telekommunikationsbranche kleine Automatisierungstechnik profitiert hierbei unmittelbar von den Entwicklungen.

RTC	Einsatz	Reaktionszeit
1	Menschliche Überwachungsfunktionen	100 ms
2	normale Automatisierungsfunktionen	< 10 ms
3	Motion-Control-Anwendungen	< 1 ms Jitter < 1 µs

RTC 2 nach IEC 61784-2 ist mit konventionellem Ethernet möglich.

einem belegten Port werden die Pakete zwischengespeichert. Diese Art von Switches haben nur einen Vorteil, wenn in kleinen Netzwerksegmenten eine große Anzahl von kleinen Datenpaketen ausgetauscht werden – was in der Automatisierungstechnik aber typischerweise der Fall ist. Unter allen Umständen sollte auch hier eine Kanalnutzung von 100 % vermieden werden, da es sonst zu Warteschlangeneffekten kommt.

Automatisierungstechnik

Gerade für automatisierungstechnische Anwendungen sollte man sehr genau wissen, welche Kommunikationslast tatsächlich vorliegt. Nur so kann man sich vor ungewollten Effekten schützen. Generell sollte man beim Einsatz von Ethernet auf das Anforderungsprofil des Automatisierungseinsatzes achten. In IEC 61784-2 werden ganz allgemein Echtzeitklassen (RTC – Realtime Class) anhand der Reaktionszeit definiert (Tabelle). Bei der RTC 3, in erster Linie für hoch synchrone Echtzeitanwendungen, wird darüber hinaus noch ein Jitter von <1 µs gefordert. Aus den vorhergehenden Ausführungen wird deutlich, dass dieses mit konventionellem Switched Ethernet nicht möglich ist. Alleine durch die Latenz und das

Weiterleiten sind die geforderten Zeiten nicht einzuhalten.

Echtzeitverhalten in Ethernet-Netzwerken bekommt man folglich nicht geschenkt. Die aus dem Office-Bereich bekannten Techniken reichen bestenfalls für die Echtzeitklassen 1 und 2. Doch selbst für Anwendungen der Klasse 2 müssen zusätzliche Randbedingungen eingehalten werden:

- Die Netzlast muss soweit reduziert werden, dass eine Bildung von Warteschlangen möglichst unwahrscheinlich wird. Alternativ kann auch eine zentrale Koordination bei der Verwaltung der Netzlast helfen.
- Kollisionen treten bei der Vollduplex-Kommunikation nicht auf. Hierbei spielt nur die zeitliche Verzögerung eine Rolle. Eine deutlich verbesserte Vorhersagegenauigkeit schaffen hier gemanagte Switches, die eine definierte Datenrate für einen oder mehrere Ports reservieren können oder eine Priorisierung der Nachrichten ermöglichen.

Glücklicherweise steigen aber auch die Echtzeitanforderungen in der IT-Technologie. Durch Echtzeit-Sprach- und -Videodaten sowie andere zeitsensitive Dienste wächst auch hier der Bedarf an synchronisierter und nahezu verzögerungsfreier Kommunikation. Standardtechnologien bieten hier mittlerweile die notwendigen Maßnahmen, wie es in den Kastentexten näher erläutert wird. Der IEEE1588v2-Standard bietet die Möglichkeit einer hochgenauen gemeinsamen Zeitbasis und die IEEE 802.1Q-VLAN-Definition schafft eine querverkehrsfreie priorisierte Kommunikation durch konfigurierbare Sternkoppler.

Für die meisten Echtzeit-Anforderungen reicht Standardtechnik

Switched Ethernet wird häufig als Schlüssel für die echtzeitnahe Kommunikation auch für industrielle Netzwerke angesehen. Das ist jedoch nur die halbe Wahrheit. Ohne eine detaillierte Kenntnis des Betriebsverhaltens von Sternkopplern oder der tatsächlichen Kommunikationslast ist eine genaue Bestimmung des Kommunikationsverhaltens so gut wie nicht möglich. Durch die inhärenten Latenzen und die Warteschlangen innerhalb von Switches sind durchaus Verzögerungszeiten von einigen 100 µs möglich. Abhilfe schafft nur eine genaue Planung der Kommunikation oder die Nutzung der organisatorischen und technischen Möglichkeiten. Glücklicherweise kann die Automatisierungstechnik von den Protokollerweiterungen der IT-Technologie für Sprach- und Videokommunikation unmittelbar profitieren. Die gute Nachricht bleibt hierbei: Kommunikationsaufgaben im klassischen Feldbusbereich mit Zykluszeiten von etwa 10 Millisekunden kann mit Bordmitteln aus der IT-Welt wie managbaren VLAN-Switches, am besten mit Cut-Through-Technologie, effizient realisiert werden. Die am häufigsten geforderten Echtzeitklassen 1 und 2 der IEC 61784-2 sind damit erfolgreich abgedeckt. Sollen höhere Anforderungen, beispielsweise für Motion-Control-Anwendungen, abgedeckt werden, muss der Griff in die Trickkiste tiefer sein. jk

Literatur

- [1] Metcalfe, R.M.; Boggs, D.R.: Ethernet: Distributed Packet Switching For Local Computer Networks; Communications of the ACM. July 1976, Volume 19, Number 7, p. 395–404.
- [2] Gevatter, H.-J.; Grünhaupt, U.: Handbuch der Mess- und Automatisierungstechnik in der Produktion, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2006.
- [3] Wollert, J.: Vorlesung Industrielle Kommunikation, FH Bielefeld

Prof. Dr.-Ing. Jörg Wollert

ist Professor für Automatisierungstechnik an der Fachhochschule Bielefeld und als Dozent und Berater in den Themenbereichen industrielle Kommunikation und eingebettete Systeme tätig. Seit mehr als 15 Jahren beschäftigt er sich mit industriellem Funk in technischen Anwendungen sowie mit Gateway-Technologien zwischen kabelgebundenen und kabellosen Systemen.

Intensiv-Seminar Industriekommunikation 4.0



Der Autor dieses Beitrags, Prof. Dr.-Ing. Jörg Wollert, führt ein zweitägiges Intensivseminar zum Thema Kommunikation für Industrie 4.0 durch. Denn mit dem Übergang der industriellen Produktion zu „Industrie

4.0“ ändern sich die Anforderungen an industrielle Kommunikation. Wer heute ein Projekt beginnt, eine Steuerung entwickelt oder ein industrielles Gerät entwirft, muss diese zukünftigen Anforderungen schon jetzt berücksichtigen. Im Seminar werden u.a. folgende Fragen behandelt werden:

- Wie erreiche ich eine durchgängige Kommunikation von der Feld- bis zur Unternehmensebene?
- Wie unterscheiden sich die verschiedenen Echtzeit-Ethernet-Systeme?
- Kann ich meinen etablierten Feldbus weiterverwenden?
- Alles in die Cloud?
- Wie kann ich meine Anlage gegen Cyber-Angriffe absichern?

Termine:

14./15.10.2014 am Flughafen München

11./12.02.2015 in Haar bei München

Infos und Anmeldung:

www.training-for-professionals.de