

Time Sensitive Networking: Deep Impact oder Mission Impossible?

Das große Manko von Ethernet: keine Echtzeitfähigkeit. Die IEEE-Arbeitsgruppe Time Sensitive Networking (TSN) will das ändern. Echtzeit soll fester Bestandteil des Ethernet-Standards werden, und kein nicht normenkonformes Addon mehr sein. Aber ist das wirklich sinnvoll?

Ethernet wird in den Arbeitskreisen des IEEE-802-Projekts spezifiziert und weiterentwickelt. Vor zwei Jahren wurde dort auch die Task Group ‚Time Sensitive Networking‘ (TSN) etabliert. Ziel der Arbeitsgruppe: Ethernet für zeitkritische Anwendungen nutzbar machen. Allerdings bietet die IEEE 802 keine Komplettlösung an, sondern liefert Standards auf der Datenübertragungsschicht, die eine Einbindung in ein Anwendungskonzept erfordern.

Ursprünglich war geplant, diese Projekte der Task Group Time Sensitive Networking bis Ende 2016 zum Abschluss zu bringen. Doch zusätzlich zu den sechs bisher vorgeschlagenen Erweiterungen des Ethernet-Standards (siehe Seiten 16 – 17) werden mittlerweile bereits weitere Projekte diskutiert, zum Beispiel ein Verfahren, bei dem die zeitkritischen Nachrichten pro Zyklus nur zum nächsten Nachbarn weitergeleitet werden (IEEE 802.1Qch). Dies ist dann von Vorteil, wenn die Kaskadertiefe gering ist. Der Ansatz kann helfen, drahtlose Geräte oder andere Komponenten mit schwer bestimmbarer Latenz einzubinden und ist robuster als die Zeitsteuerung.

Darüber hinaus diskutieren die Experten, wie man die Effekte von fehlerhaft agierenden Knoten klein halten kann. Dazu muss die Eingangsseite (Ingress) der Netzknoten die Partner überwachen (IEEE 802.1Qci). Auch in Ethernet selbst werden Veränderungen vorgenommen: hier ist vor allem die neue Zweidraht-Übertragungstechnik (100 Mbps: IEEE P802.3bw, 1 Gbps: IEEE P802.3bp) anzuführen, bei der ungeschirmte Kabel zum Einsatz kommen können. Treiber der neuen Projekte sind vor allem die Automobilbauer. Denn wenn die Prognosen von einer halben Milliarde verbauten Ethernet-Ports im Fahrzeug bis 2021/2022 zutreffen¹⁾, wird das auch andere Märkte nachhaltig beeinflussen – nicht nur die direkten Zulieferer.

Hilft TSN den Automatisierern wirklich?

Kleine Datenmengen lassen sich mit den in TSN definierten Verfahren nicht effizient verteilen oder einsammeln. Im Vergleich zu einer Ethercat-Lösung würde man auch im optimalen Fall bei einem typischem Datenaufkommen von unter 10 Bytes je Teilnehmer bei TSN einen zehnfach höheren Protokoll-overhead haben. Der TSN-Ansatz mit seiner signifikant schlechteren Effizienz ist also nicht wirklich für den klassischen I/O- oder Antriebsbereich geeignet. Er kann aber Vorteile in einem heterogenen Umfeld mit Datenmengen von über 100 Bytes pro Transfer haben. Ein solches Umfeld findet sich beispielsweise bei der Vernetzung von Steuerungen, bei Robotern im Zellenbereich oder auch bei der Einbindung von Kamerasystemen in Automatisierungsanlagen.

TSN-Standards liefern keine maßgeschneiderten Lösungen

Da Standards auf Einzelfälle und Sonderwünsche keine Rücksicht nehmen, können Funktionen entstehen, die für die spezifischen Anwendungsfälle der Automatisierung nicht gut passen. So werden in der IEEE 802.1Qca zwar topologische Informationen verteilt, allerdings hat man so viel Funktionalität in dieses Protokoll hineingepackt, dass ein erheblicher Übertragungs- und Speicheraufwand anfällt. Die mangelnde Skalierbarkeit schränkt die Nutzbarkeit für einfach ausgeprägte Knoten ein. Man könnte die wirklich wichtigen Informationen zur Topologie mit einem deutlich geringeren Aufwand verteilen.

Zwar wurden Freiheitsgrade in der Synchronisation in der IEEE 802.1AS eingeschränkt. Aber das Verhalten der einzelnen Knoten kann zeitlich beliebig variieren, was sich auf die Regelung des Taktes sehr negativ auswirken kann. So kann eine verzögerte Anpassung der Zeit in den einzelnen Knoten zu einer erhöhten Ungenauigkeit führen.



Zeitgesteuertes Senden in einem reservierten Kanal kann zwar den Einfluss von anderen Protokollen auf zeitkritische Aktionen eliminieren, aber darüber hinaus müsste man den verbleibenden Echtzeitverkehr so regeln, dass der zyklische Datenaustausch ohne Verzögerungen realisiert werden kann. Das ist jedoch ein komplexes Optimierungsproblem und auch bei einer nicht so hohen Zahl von Datenströmen lässt sich das Optimum nicht innerhalb einer vernünftigen Zeitspanne ermitteln.

Integration in die Anwendungen

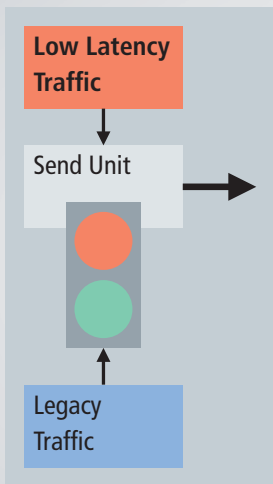
Die IEEE 802 kümmert sich nur um die Datenübertragung. Eine sogenannte Applikationsschicht ist zusätzlich erforderlich, um die Kommunikation in eine Steuerungsumgebung einzubinden. Auf der Zellebene dominieren aber heute die privaten Protokolle einzelner Steuerungshersteller. Es gibt Standards auf der I/O-Ebene, die in verschiedenen Systemen in ähnlicher Weise angeboten werden. Hinderlich ist dabei meist das eingeschränkte Adressivolumen; die Modelle selbst sind davon nicht betroffen. CANopen-basierte Protokolle mit einigen Erweiterungen kämen als geeignete Zwischenebene in Frage. Dies würde den Übergang zur I/O-Protokollwelt erleichtern und wäre sowohl im zyklischen als auch azyklischen Bereich effizient.

Auch in OPC UA gibt es neue Aktivitäten, die eine verbesserte Echtzeitfähigkeit im Fokus haben und auch TSN einbetten wollen. OPC UA bietet eine äußerst leistungsstarke Infrastruktur, die um Echtzeitfunktionalitäten erweitert werden kann. Dadurch eröffnet OPC UA einen einzigartigen Ansatz zur Definition einer allgemeingültigen Echtzeitprotokollsuite auf einer höheren Ebene der Automatisierung.

TSN ein Erfolgsmodell?

Die industrielle Kommunikation hat dazu beigetragen, die Automatisierungstechnik entscheidend voranzutreiben. Sie hat aber auch eine ganze Reihe von Entwicklungsgräbern produziert, wie etwa das Manufacturing Automation Protokoll (MAP) oder auch den Versuch, mit .NET-Komponenten zu vernetzen. Alle gescheiterten Ansätze zeichneten sich durch eine unnötig hohe Komplexität der Protokolle bei recht geringer Effizienz aus und hatten sich nicht an den Bedürfnissen der Automatisierer orientiert. TSN hat ebenfalls eine Tendenz hin zu komplexeren Verfahren. Aber es gibt doch eine ganze Reihe von Firmen, die ein starkes Interesse an einem standardisierten Echtzeit-Ethernet auf der Zellebene haben. Allerdings gibt es auf der Feldebene heute bereits gute angepasste Lösungen, sodass hier die Bereitschaft nicht hoch sein wird, einen weiteren Feldbus zu etablieren. Weiter oben in der Automatisierungspyramide könnte TSN jedoch eine wichtige Rolle spielen.

Also macht es Sinn, sich mit TSN und den damit verknüpften Aktivitäten auseinanderzusetzen, auch wenn noch einiges offen ist. Dabei müssen Automatisierer und Automatisierungsanbieter auf das bisher Erreichte in der I/O-Ebene aufsetzen. Wenn TSN ein Erfolgsmodell für die Automatisierung in einer heterogenen Zelleninfrastruktur werden soll, muss man sich auf ein Anwendungsprotokoll einigen und die geeigneten Echtzeitmechanismen aus dem TSN-Fundus auswählen.



Durch ein Ampelsystem kann eine Verzögerung von Datenströmen durch niederpriorigen Verkehr vermieden werden.



Die Organisation von Datenströmen muss wie ein Fahrplan eines Schienennetzes organisiert werden, allerdings ist hier ein Umsteigen nicht vorgesehen.

Technik im Detail: Die Echtzeit-Standards

Die TSN-Gruppe hat bis heute sechs Standardisierungsprojekte auf den Weg gebracht:

Verbessertes Synchronisationsverhalten (IEEE 802.1ASbt)

Die Vorgängerversion IEEE 802.1AS hatte bereits ein Synchronisationsprotokoll zum Abgleich der Zeitsteuerung von verteilten Uhren spezifiziert, das sich an den Standard IEEE 1588 anlehnte. Dabei hatte man die Integration in eine Standard-Ethernet-Umgebung vorangetrieben. Die Kompatibilität zu anderen 1588-Ethernet-Profilen ging dabei verloren. Die neue Version soll auch die akzeptierten Funktionen der „one-step transparent clocks“ beinhalten. Verbessert werden soll nun vor allem die Reaktion auf Fehlersituationen, wie den Ausfall einer Kommunikationsleitung oder des Masters. Auch verschiedene Zeitdomänen in einem Gerät sollen mit der neuen Version möglich sein.

Unterbrechung (Preemption) langer Frames (IEEE 802.1Qbu)

Ein Hauptproblem für die deterministische Übertragung zeitkritischer Nachrichten sind die auf demselben Netzabschnitt vorhandenen zeitunkritischen Legacy-Datenströme, wobei ein einzelnes Frame mehr als 1.500 Bytes lang sein kann. Dadurch können Verzögerungen von bis zu 125 µs pro Knotendurchlauf

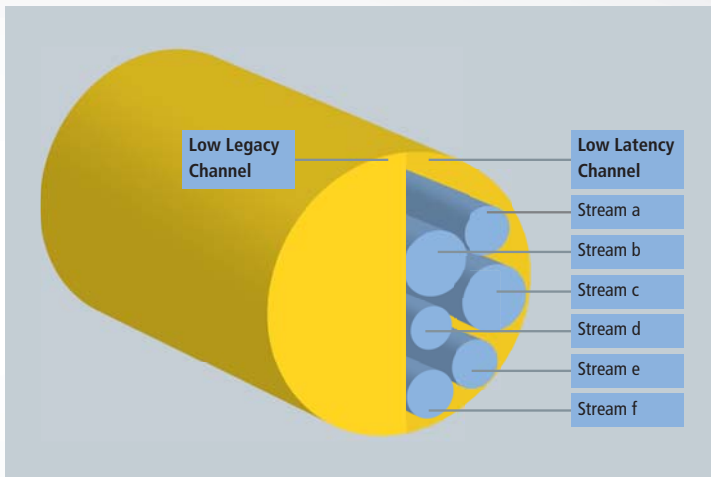
auftreten. Dies reduziert ein Frame-Unterbrechungsmechanismus (innerhalb der IEEE-Arbeitskreise im Ethernet-Projekt P802.3br spezifiziert). Letztendlich erfordert dieser Mechanismus nicht nur neue Netzkomponenten, sondern auch neue Ethernet-Bausteine in den Endgeräten.

Zeitsteuerung der Übertragungseinrichtung (IEEE 802.1Qbv)

Bei TSN spielt die Zeitsteuerung der Sendevorgänge eine zentrale Rolle. Wie im realen Leben kann es auch auf Datenautobahnen zu Staus kommen, und auch bei hochpriorigen Echtzeitdaten und Preemption gibt es immer noch eine gewisse Variation in der Übertragungszeit. Da die zeitkritischen Ströme zyklisch übertragen werden, kann man durch Blockieren der nicht so zeitkritischen Daten eine weitgehend ungestörte Kommunikation realisieren. Man kann sich das in etwa wie eine Ampelsteuerung vorstellen.

Erfassung der Netztopologie und Pfadauswahl (IEEE 802.1Qca)

Um möglichst schnell von A nach B zu kommen, braucht man eine Karte und einen Routenplaner. Genauso wie im täglichen Leben muss man in einem Netz erfassen, wie die Komponenten angeordnet sind und wie man die Kommunikationsstrecken am effizientesten auswählt. Als Protokollbasis wird das Konzept



Die Datenströme werden so organisiert, dass keine Überlastsituationen auftreten können.



Dr. Karl Weber, Senior Technology Expert,
Technology Marketing, Beckhoff, Nürnberg

„Intermediate System to Intermediate System“ (IS-IS) präferiert, das auch von Routern genutzt wird. Dabei werden Topologieinformationen gesammelt und verteilt. Nach mehreren Iterationsschritten verfügen dann alle Knoten über alle Topologieinformationen aus dem gesamten Netz. Wenn es mehrere Wege zum Ziel gibt, kann man so den kürzesten finden. Auch redundante Wege lassen sich damit ermitteln. Dieses Projekt wurde außerhalb der TSN-Arbeitsgruppe initiiert; jedoch werden integrierte TSN-Funktionen genutzt.

Stoßfreie Redundanz (IEEE 802.1CB)

Zwar gibt es bereits in der IEC spezifizierte Protokolle für stoßfreie Redundanz wie High-Availability, Seamless Redundancy (HSR) oder Parallel Redundancy Protocol (PRP), aber diese erfordern es, den kompletten Datenaustausch zwischen Stationen redundant auszuliegen. Das kann zu Problemen führen, weil die Reihenfolge der Nachrichten im Fehlerfall nicht eingehalten wird. Auch die Diagnose von Fehlersituationen ist dabei recht komplex. Aus diesem Grund hat man sich in der IEEE 802.1 dafür entschieden, die stoßfreie Redundanz explizit nur für einzelne kritische Datenströme anzuwenden. Damit lässt sich der Protokollaufwand verringern und die kritischen Stellen sind leichter zu identifizieren.

Bandbreitenreservierung (IEEE 802.1Qcc)

Ein großes Problem bei Ethernet sind Überlastsituationen, wenn etwa über zwei Kanäle Daten empfangen und über einen einzelnen Ausgang weitergeleitet werden. Auch ein großer Speicher ist suboptimal, da mit der Anzahl der gespeicherten Bytes die Verweilzeit immer mehr ansteigt. In der Automatisierungstechnik lässt sich diese Verzögerung (Best Effort) nicht durch die erhöhte Reaktionszeit regulieren. Wenn Echtzeitdatenströme bevorzugt behandelt werden, steigt das Risiko, dass die restliche Kommunikation nicht mehr zum Zuge kommt. Aus diesem Grund wird genau bestimmt, welche Bandbreite für die Echtzeitdatenströme erforderlich ist. Diese wird dann fest reserviert. Das Protokoll ermöglicht eine Echtzeitlast von bis zu 80 % der Bandbreite und ist eine Erweiterung des bereits existierenden Reservierungsprotokolls. Es hat sich allerdings herausgestellt, dass die erweiterten Anforderungen von TSN nicht komplett durch Erweiterung des existierenden Reservierungs-Protokolls sinnvoll realisiert werden können. Damit sind zusätzliche Mechanismen zum Einrichten von Echtzeitkanälen in Zukunft erforderlich.

Die beiden neuen Projekte .1Qch und .1Qci wurden zwar gestartet, sind aber inhaltlich noch nicht ausgeprägt.