

Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 95 (2004)
Heft: 17

Artikel: Uhren mit IEEE 1588 synchronisieren
Autor: Weibel, Hans
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-857972>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 20.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Uhren mit IEEE 1588 synchronisieren

Auf eine Mikrosekunde genau im lokalen Netzwerk

Eine präzise Zeitbasis ist insbesondere für verteilte Systeme in der Automation wichtig. Das in IEEE 1588 spezifizierte Precision Time Protocol (PTP) [1] synchronisiert Uhren genauer als eine Mikrosekunde. Es ist zugeschnitten auf lokale Netzwerke wie Ethernet, die Multicast-Nachrichten erlauben. Die Ansprüche an die lokalen Uhren und an die Netz- und Rechenkapazität sind vergleichsweise bescheiden.

Warum sollen Uhren synchronisiert werden? Wir tragen eine Uhr, um uns mit anderen Personen und Vorgängen zu synchronisieren [2]. Die Uhr muss genau sein – wie genau hängt von der Anwendung ab. Wer knapp einen Zug erreichen

Hans Weibel

will, zählt die Minuten oder gar Sekunden, wer von einer Wanderung vor dem Eindunkeln zurückkehren will, dem reichen die Stunden. Keine Uhr geht genau. Ab und zu überprüfen wir, ob die Abweichung im Rahmen liegt und korrigieren die Uhr bei Bedarf. Wir orientieren uns an Uhren, von denen wir wissen oder an-

nehmen, dass sie genauer sind als jene, die wir richten wollen. Zum Beispiel die Uhren am Bahnhof, Radio oder Fernsehen. Es gibt auch Funkuhren, die sich selbstständig nach dem DCF77-Funksender, dem GPS oder RDS richten.

All diese Vorgänge beruhen im weiteren Sinn auf Kommunikation zwischen besseren und schlechteren Uhren. Schlechte Uhren oder solche, die nicht zu stark abweichen dürfen, müssen öfter gestellt werden. Im Alltag reichen uns Genauigkeiten im Minuten- oder Sekundenbereich. Es gibt aber auch Anwendungen mit höheren Anforderungen: Bei einem Wettkampf wird die Laufzeit gemessen, wobei Start und Ziel nicht am selben Ort

sind. Folgende Möglichkeiten stehen zur Auswahl:

- Die Uhr wird während des Rennens vom Start zum Ziel transportiert. Das ist meist nicht möglich (Beispiel Skirennen).
- Zwei Uhren werden zuerst abgeglichen und anschliessend zum Start und zum Ziel gebracht. Um die Laufzeit zu ermitteln, müssen die abgelesenen Zeiten voneinander subtrahiert werden. Da die Uhren nicht exakt gleich schnell laufen (Drift), haben nicht alle Läufer dieselben Messbedingungen.
- Zum Startzeitpunkt wird eine Meldung übermittelt, um am Zielort die Stoppuhr zu starten. Dabei entsteht ein kleiner Fehler, weil die Übertragung dieser Meldung eine Laufzeit aufweist. Ist die Signallaufzeit bekannt, kann sie rechnerisch kompensiert werden. Ist sie unbekannt, aber konstant, so ändert der Fehler nichts an der Rangfolge.

Bei vielen Anwendungen genügt es, dass die Rangfolge fair ermittelt wird. Nur Rekorde erfordern absolute Werte, wobei eine Genauigkeit von Tausendstel Sekunden in allen Sportarten ausreicht. In der Automation und Messtechnik gibt es nun Szenarien, wo ähnliche Probleme mit tausendfach höherer Genauigkeit gelöst werden müssen. Beim GPS bestimmt der Empfänger seine Position, indem er die Laufzeit der Signale von mehreren Satelliten misst. Die Uhren der Satelliten müssen genau synchronisiert sein, damit die Position des Empfängers bestimmt werden kann.

Gemeinsame Zeit in verteilten Systemen

Viele technische Systeme verfügen über einen Zeitbegriff, sei er implizit oder explizit. Eine implizite Systemzeit liegt vor, wenn keine eigentliche Uhr vorhanden ist und das zeitliche Verhalten durch Abläufe in der Hard- und Software bestimmt wird. Dies ist in kleinen geschlossenen Systemen oft ausreichend. Die Systemzeit liegt dann explizit vor, wenn sie durch eine Uhr repräsentiert wird. In komplexen Systemen ist dies in der Regel notwendig. Die Systemzeit

- setzt eine Reihenfolge fest (Zeitstempel, um Ereignisse zu korrelieren, Ur-

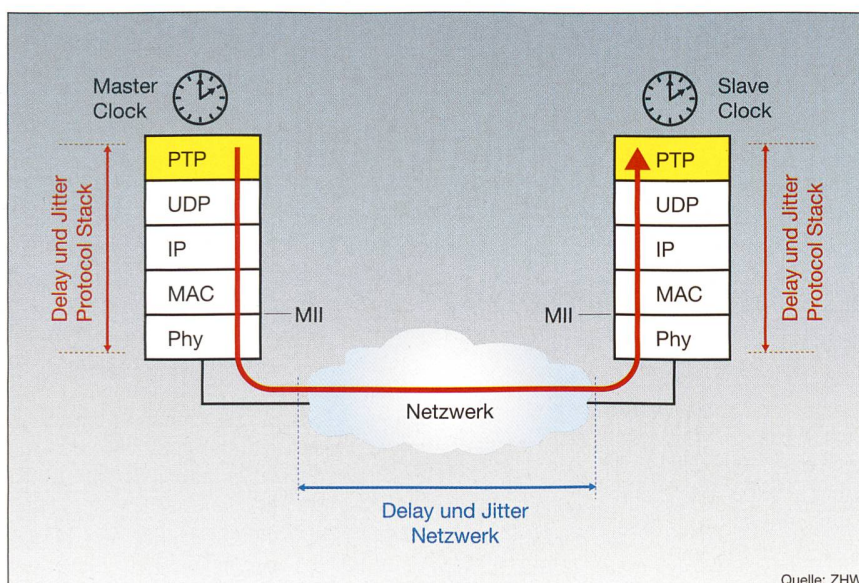


Bild 1 Precision Time Protocol

- sache und Wirkung zu unterscheiden, Kausalität);
- setzt das Alter von Daten fest (Datenabgleich, Replikationsvorgänge);
 - misst Zeiten um daraus abgeleitete Grössen zu berechnen;
 - dient als Basis, um koordinierte Aktionen auszuführen («time based behaviour», Instruktionen zeitlich gesteuert ausführen);
 - koordiniert Messungen (Trigger);
 - steuert Mechanismen für einen gegenseitigen Ausschluss;
 - entkoppelt Kommunikation und Ausführung.

Verteilte Systeme kommunizieren miteinander, um ihre Zeit zu synchronisieren. Nicht immer verfügen die Knoten über eigene Uhren. Einige Systeme sind dediziert verdrahtet, was bei vielen Knoten allerdings aufwändig ist, und Fehler sind schwer zu finden. Solche Synchronisationsnetzwerke verteilen zum Beispiel ein PPS-Signal (Pulse per Second). Andere Systeme sind durch Meldungen gesteuert: Beim Empfang einer entsprechenden Meldung wird eine Aktion ausgelöst. Die Laufzeiten der Meldungen und die Varianz der Laufzeiten limitieren aber die Anwendung. Besser ist ein zyklisches Kommunikationsprotokoll, das die Meldungen in einem festen Zeitraster versendet. Am flexibelsten sind zeitgesteuerte Systeme, in denen jeder Knoten eine synchronisierte Uhr besitzt. Die Zeit ist im ganzen System definiert. Es gibt verschiedene Methoden, um die Uhren zu synchronisieren: Funksignale (insbeson-

dere GPS), das Network Time Protocol (NTP¹⁾) oder das Precision Time Protocol (PTP).

Ethernet und Echtzeit

Im Ethernet-Netzwerk weiss man nicht, wie lange eine Meldung unterwegs ist. Der physikalische Zugriff auf das Netzwerk ist unter den Teilnehmern nicht koordiniert. Darum ist es schwierig, mit Ethernet ein System in Echtzeit zu steuern. Eine gemeinsame Systemzeit kann diesen Nachteil für gewisse Anwendungen aufheben. Meldungen werden mit Zeitstempeln versehen. So wird den Daten eine Zeit zugeordnet und eine Reihenfolge bestimmt, auch wenn ihre Übertragung verzögert wird. Nun kann es immer noch sein, dass Meldungen zu spät eintreffen und das System nicht rechtzeitig reagieren kann. Erst wenn die Knoten in einem fest vorgegebenen, zyklischen Fahrplan kommunizieren, kann man garantieren, dass die Übertragung rechtzeitig erfolgt. Zahlreiche «Realtime-Ethernet»-Verfahren²⁾ haben IEEE 1588 als Synchronisationsprotokoll spezifiziert.

IEEE 1588 ist auf die Mikrosekunde genau

Die in Datennetzwerken etablierten Synchronisationsprotokolle NTP und SNTP sind zuwenig genau für die Automation und Messtechnik. Antriebe müssen auf die Mikrosekunde genau synchronisiert werden. Will man nach einem Stromausfall zurückverfolgen, was die Ursache war, entscheiden ebenfalls die

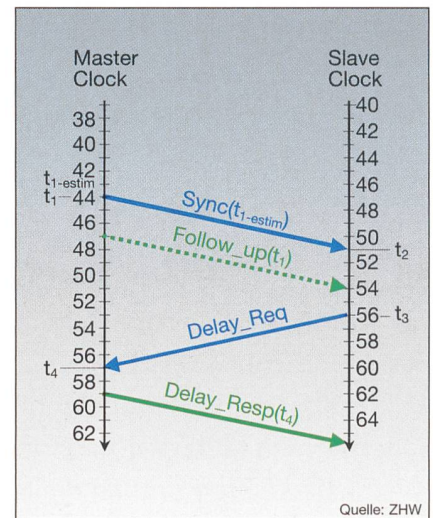


Bild 3 Exakte Sendezeit

Der Master sendet zuerst eine mutmassliche Sendezeit. Die effektive Zeit wird kurz darauf nachgeschickt (Follow_up). Ist der Schätzwert genügend genau, kann die Follow_up-Meldung entfallen.

Mikrosekunden. Die Messwerte müssen also mit der genauen Zeit erfasst werden. Trotzdem sollen preisgünstige Uhren verwendet werden können. Das System soll sich selbst konfigurieren und sich im Fehlerfall automatisch den neuen Gegebenheiten anpassen. Die Synchronisation muss schnell konvergieren, und das Netz sowie die Endgeräte dürfen durch diese Zusatzaufgabe nur gering belastet werden.

Von den im Netzwerk vorhandenen Uhren wird die beste verfügbare Uhr als Referenz ausgewählt (Master Clock). Sie beliefert die anderen Uhren (Slave Clocks) mit Synchronisationsmeldungen. Die im Netzwerk entstehenden Meldungsverzögerungen werden gemessen und beim Abgleich der einzelnen Uhren berücksichtigt. Bild 1 zeigt eine einfache Konfiguration mit einem Master Clock und einem Slave Clock. Die für den Uhrenabgleich verantwortlichen PTP-Instanzen tauschen Meldungen über die in den Knoten implementierten Protokollstacks aus.

Bild 2 zeigt, wie Uhren abgeglichen werden. Der Master Clock sendet seine Uhrzeit t_1 mit einer Sync-Meldung an den abzugleichenden Slave Clock. Stellt dieser seine Uhrzeit auf t_1 , hinkt er soviel hinter dem Master her, wie die Übertragung der Meldung gedauert hat. Um diese Übertragungszeit zu messen und anschliessend zu kompensieren, sendet der Slave seine eigene Zeit t_3 mit einer Delay_Req-Meldung zurück. Der Master ermittelt t_4 und sendet sie mit einer Delay_Resp-Meldung an den Slave. Aus den Sendezeiten t_1 und t_3 sowie den Emp-

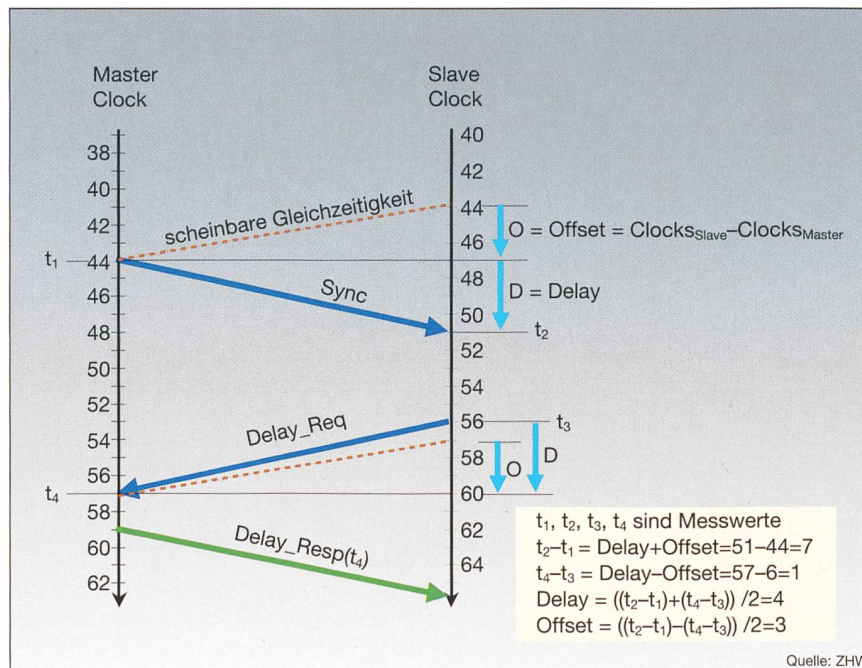


Bild 2 Delay und Offset berechnen

Aus t_1 , t_2 , t_3 und t_4 kann der Slave seine Zeit berechnen

fangszeiten t_2 und t_4 berechnet der Slave die Übertragungszeit (Delay) und die Abweichung (Offset). Der Offset wird verwendet, um die Uhrzeit zu korrigieren³⁾ und ihren Gang zu regeln, d.h. den Oszillator zu beschleunigen oder zu verlangsamen.

Ein derartiger Abgleich ist genau, wenn die Übertragung symmetrisch ist (d.h. der Hin- und der Rückweg genau gleich lange dauert), die Uhren gleich schnell laufen und die Sende- und Empfangszeiten exakt erfasst werden. Die Übertragung ist in vielen Netzwerken symmetrisch. Voraussetzung ist, dass für beide Richtungen dasselbe Medium mit denselben Zugriffs- und Übertragungsverfahren genutzt wird⁴⁾. Falls der Zugriff auf das Medium lastabhängig ist, kann die Übertragungsdauer trotz Symmetrie variieren. Implementierungsdetails können zudem zu kleinen Asymmetrien führen⁵⁾. Auch Kabel können geringe Asymmetrien aufweisen. So sind bei Twisted-Pair-Kabeln die einzelnen Paare unterschiedlich verdreht und somit nicht gleich lang⁶⁾.

Es lässt sich auch nicht vermeiden, dass die Uhren unterschiedlich schnell laufen. Die Drift kann kompensiert werden, indem man die Frequenz der abzugleichenden Uhr regelt. Allgemein gilt, je schneller der Delay_Req auf das Sync folgt, desto genauer ist die Synchronisation, da die Uhren in der Zwischenzeit weniger auseinander drifteten.

Der gesamte Ablauf wird von den PTP-Instanzen gesteuert. Diese kommunizieren über einen Protokollstack, der eine relativ grosse und variierende Durchlaufzeit aufweist⁷⁾. Sende- und

Abkürzungen

GPS	Global Positioning System (liefert nebst Position auch Zeit)
RDS	Radio Data System
NTP	Network Time Protocol
BC	Boundary Clock (bedient mehr als ein Port; eines davon spielt die Slave-, die anderen die Masterrolle)
MAC	Media Access Control (Ethernet Sublayer)
MII	Media Independent Interface (Interface zwischen MAC und PHY)
OC	Ordinary Clock (hat nur ein Port; spielt entweder Master- oder Slaverolle)
PHY	Physical Layer (OSI Layer 1)
SNTP	Simple Network Time Protocol

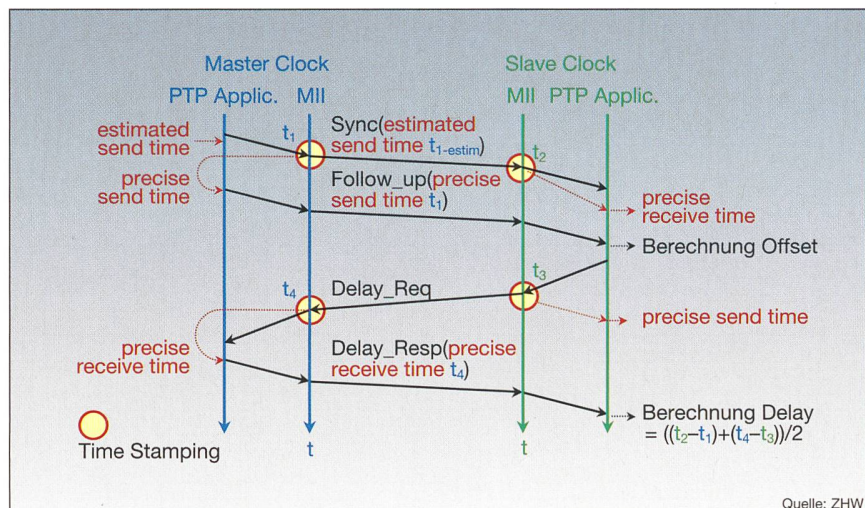


Bild 4 Zusammenspiel Zeitstempereinheit und PTP

Die Zeitstempereinheit am MII erfasst die genauen Zeiten und gibt sie später an die PTP-Applikation weiter.

Empfangszeiten werden möglichst nahe der Stelle gemessen, an der die Meldungen die Endknoten verlassen bzw. erreichen (siehe Zeitstempel). Ein weiterer kritischer Punkt ist die Übergabe des Sendezeitpunktes t_1 mit der Sync-Meldung. Im Normalfall gelingt es nicht, den exakten Zeitpunkt mitzuschicken, da er erst feststeht, nachdem die Meldung zusammengestellt und dem Sendemodul übergeben ist. t_1 müsste während des Sendens «on the fly» in die Meldung eingesetzt werden. Das will man vermeiden, da es Eingriffe in die Hardware bedingt. Um unmodifizierte Standardbausteine verwenden zu können, bedient man sich eines Tricks: Mit Sync wird der mutmassliche Sendezeitpunkt t_1 -estimated übermittelt. Der wirkliche Sendezeitpunkt t_1 wird so exakt wie möglich gemessen und mit einer Follow_up-Meldung hinterher geschickt (Bild 3).

Um eine hohe Synchronisationsgenauigkeit zu erzielen, müssen die Sync-Meldungen entsprechend oft versandt werden, abhängig von der Qualität der zu synchronisierenden Uhr⁸⁾. Der Standard sieht dazu Sync-Intervalle von 1, 2, 8, 16 und 64 Sekunden vor. Das PTP erzeugt eine gering Last, da die vom Master verschickten Sync- und Follow_up-Meldungen als Punkt-zu-Mehrpunkt-Pakete an alle von ihm synchronisierten Slaves geliefert werden (Multicast-Adressierung). Die Delay-Messung (Delay_Req und Delay_Resp) hingegen ist für jeden Slave individuell und beruht auf Punkt-zu-Punkt-Kommunikation⁹⁾. Die erzeugte Last ist also proportional zur Anzahl Slaves. Da sich im stationären Betrieb der Delay nicht ändert, kann die Delay-Mes-

sung mit wesentlich geringerer Rate wiederholt werden¹⁰⁾.

Hardware erfasst Zeitstempel

Sende- und Empfangszeiten können ohne spezielle Hardware nur ungenau erfasst werden. Die MAC-Bausteine verzögern die Meldungen nicht immer gleichlang und die Interrupts werden im Prozessor nicht immer gleich schnell bearbeitet. Um genau zu synchronisieren, wird eine Zeitstempel-Hardware verwendet. Diese kann am Media Independent Interface (MII), der Schnittstelle zwischen dem MAC- und Phy-Baustein, angeschlossen werden¹¹⁾ (siehe Bild 1). Die Zeitstempereinheit filtert ankommende und abgehende Meldungen und erfasst für jede Sync- bzw. Delay_Req-Meldung einen Zeitstempel. Wie Bild 4 zeigt, wird dieser später von der PTP-Protokollinstanz abgeholt und – unter «entspannten» Zeitbedingungen – der entsprechenden PTP-Meldung zugeordnet.

Der Delay im Netzwerk setzt sich aus verschiedenen Anteilen zusammen. Das Kabel verzögert das Signal etwa 5 ns/m¹²). Ein Ethernet-Hub bewirkt einen Delay von etwa 500 ns mit einer Variation von etwa 40 ns. Switches weisen eine komplexe und von vielen Faktoren abhängige Delay-Charakteristik auf (je nach Architektur, Arbeitsweise, Bufferverwaltung und Lastzustand). Stehen an einem Switch-Port gleichzeitig mehrere Meldungen an, führt das zu grossen «Queueing Delays». Dieser Effekt ist lastabhängig, und auch eine Priorisierung gemäss IEEE 802.1 p/Q hilft nicht: In einem 100 Mbit/s-Ethernet blockiert ein Frame die Leitung bis zu 122 µs. So lange

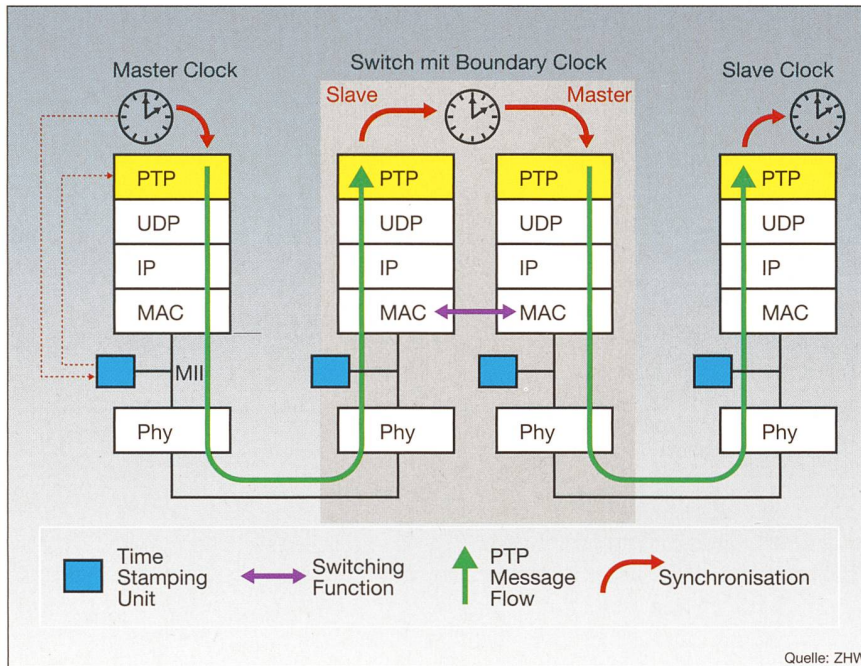


Bild 5 Boundary Clock

Die Boundary Clock synchronisiert sich als Slave mit dem übergeordneten Master und präsentiert sich gegenüber den anderen Teilnehmern als Master.

dauert die Übertragung¹³⁾. Die einzelnen Verzögerungen addieren sich, wobei sie einen konstanten und einen variierenden Beitrag aufweisen. Letzteren bezeichnet man als Jitter. Geeignete Filter-Algorithmen gleichen solche Schwankungen aus, verhindern aber eine schnelle Regelung der Uhr.

Boundary Clocks

Die Delay-Variation von LAN-Switches kann eliminiert werden, indem im Switch selbst eine Uhr eingebaut wird. Diese synchronisiert sich mit dem über-

geordneten Master und präsentiert sich gegenüber den anderen Teilnehmern als Master (Bild 5). Uhren, die auf der einen Seite als Master und auf der anderen als Slave auftreten, nennt man Boundary Clocks (BC). Die Uhren der Endsysteme heißen Ordinary Clocks (OC). Die Master/Slave-Beziehungen bilden einen Baum, an dessen Wurzel der Grandmaster sitzt (Bild 6).

Um Master/Slave-Beziehungen in einem Netzwerk initialisieren zu können, wird jede einzelne Uhr mit einem «Clock Data Set» charakterisiert. Die genaueste

Uhr im Netzwerk wird über den «Best Master Clock»-Algorithmus zum Grandmaster gewählt. Dieser wird an die Wurzel des Baumes gesetzt, über den die Systemzeit verbreitet wird.

Der Standard IEEE 1588 definiert die Datentypen und wie sie repräsentiert werden. Ein wichtiger Datentyp ist die Zeit, die durch Sekunden (32 Bit) und Nanosekunden (32 Bit) dargestellt wird. Der Nullpunkt liegt wie bei Unix bei 00:00 Uhr des 1.1.1970. Ein Überlauf findet im Jahr 2106 statt¹⁴⁾.

PTP definiert auch ein einfaches Managementprotokoll. Dieses ermöglicht, die Parameter der Uhren zu lesen und nach Bedarf zu modifizieren. Nicht spezifiziert sind die Algorithmen zur Regelung der Uhr und das Application Programming Interfaces (API), über das die Applikation die Zeit ausliest.

IEEE 1588 steckt in den Anfängen

Der Standard IEEE 1588 wurde im Jahr 2002 verabschiedet und ist bei verschiedenen Ansätzen für Echtzeit-Ethernet vorgesehen. Drei Arbeitsgruppen sind aktiv, um das Verfahren weiter zu entwickeln. Dazu gehören:

- User Requirements Task Group
- Conformance and Interpretation Task Group
- Technical Extensions Task Group.

Insbesondere über die Boundary Clocks wird diskutiert, ob sie sich für die Automation eignen. Hier dominieren Linien- und Ringtopologien. Jede Boundary Clock stellt einen eigenen Regelkreis dar – werden sie aneinander gereiht, summieren sich im Netzwerk die Fehler auf. Als Alternative steht das Konzept der PTP-Bridge im Raum. Diese ermöglicht anstelle einer Kaskade von einzelnen Reglern eine End-to-End-Regelung. Die Switches verfügen nicht mehr über eine synchronisierte Uhr, sondern messen lediglich die Durchlaufzeit der PTP-Meldungen durch den Switch und manipulieren entsprechend die in den Meldungen enthaltenen Zeiten.

Weitere Themen, an denen zurzeit gearbeitet wird, betreffen redundante Netzstrukturen mit kurzen Rekonfigurationszeiten, weitere Netzwerktypen (insbesondere Wireless LAN), die Definition eines Application Programming Interfaces (API), SNMP als Managementprotokoll und Conformance Testing.

Referenzen

- [1] IEEE Std 1588-2002: IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems
- [2] Hewlett-Packard Company: The Science of Time-keeping, Application Note 1289

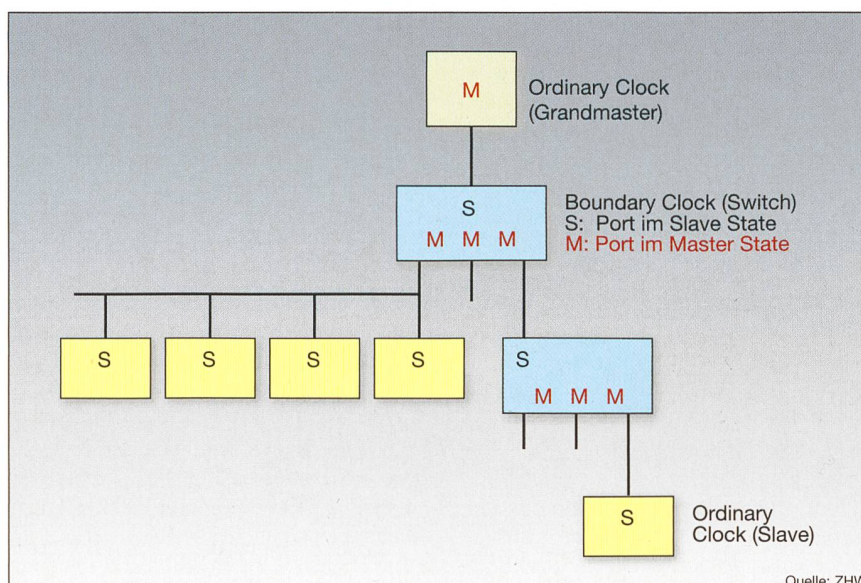


Bild 6 Hierarchie Master und Slave

- [3] RFC 1205: Network Time Protocol (Version 3) Specification, Implementation and Analysis
 [4] RFC 2030: Simple Network Time Protocol (SNTP) Version 4 for IPv4, IPv6 and OSI
 [5] www.ethercat.com
 [6] www.odva.org
 [7] www.ethernet-powerlink.com
 [8] www.profibus.com

Angaben zum Autor

Prof. **Hans Weibel** unterrichtet an der Zürcher Hochschule Winterthur (ZHAW) kommunikationstechnische Fächer. Am Institute of Embedded Systems (InES) der ZHAW betreut er unter anderem ein Projekt, das sich mit der Implementierung, Anwendung und Erweiterung des IEEE-1588-Standards befasst.
 Zürcher Hochschule Winterthur, Institute of Embedded Systems (InES), 8401 Winterthur, hans.weibel@zhwin.ch.

¹ Neben dem Network Time Protocol (NTP) [3] existiert auch eine vereinfachte Variante, das Simple Network Time Protocol (SNTP) [4].

² Es sind dies u.a.: Ethercat [5], Cipsync Services für Ethernet/IP [6], Ethernet Powerlink im Open Mode [7] und Profinet V3 [8].

³ Die Korrektur hat zwei Elemente: Die zu synchronisierende Uhr muss auf die von der Referenz vorgegebene Zeit gesetzt werden, ohne die Monotonie zu verletzen. Zudem muss ihr Oszillator so geregelt werden, dass er möglichst im selben Takt schwingt wie der Master (Driftkompensation). Dies gewährleistet zwischen den einzelnen Abgleichvorgängen eine gute Annäherung an die Referenz.

⁴ In einem Ethernet-Segment ist diese Voraussetzung gegeben, in einem Wireless LAN hingegen nicht, weil Access Point und Mobilstation nicht gleichberechtigt sind.

⁵ So wird der Physical Layer von Ethernet durch Bausteine realisiert, die je nach Typ und Richtung (Senden oder Empfangen) unterschiedliche Verzögerungen bewirken.

⁶ Das ist beabsichtigt, um eine höhere Nebensprechdämpfung zu erzielen. Die Asymmetrie liegt in der Grössenordnung von 50 ns pro 100 m.

⁷ Unvorhersehbare Verzögerungen im Protokollstack der Endsysteme werden verursacht durch Kommunikationsvorgänge anderer Prozesse, datenabhängige Ausführungszeit von Codesequenzen, Scheduling, Speicherverwaltung, Caching, Interrupt Latency, Bus Arbitration, usw.

⁸ Eine Abweichung von einem ppm entspricht 1 µs/s. Typische Quarze, wie sie für Ethernet-Interfaces verwendet werden, haben eine Genauigkeit von 50 ppm, eine Temperaturdrift von 1 ppm/°C und eine Alterung von 5 ppm/Jahr.

⁹ Trotzdem wird Multicast-Adressierung verwendet. Jeder Empfänger muss die Meldungen, die für ihn bestimmt sind, herausfiltern. Dafür entsteht kein administrativer Aufwand für die Adresszuteilung. Der Master ist immer unter derselben Multicast-Adresse erreichbar, auch wenn er bei Ausfall von einem anderen Knoten abgelöst wird.

¹⁰ In einem Wireless LAN ist diese Voraussetzung nicht gegeben, weil sich die Übertragungsdistanz ändern kann. Dort sind häufigere Delay-Messungen nötig.

¹¹ Künftig wird man auch Microcontroller auf dem Markt finden, die eine solche Zeitstempelinheit als Ergänzung zum MAC bereits integriert haben.

¹² Abhängig vom Medium, ganz grob gilt Ausbreitungsgeschwindigkeit $v \approx \frac{2}{3}c = 200\,000 \text{ km/s}$ für Cu und Glas.

¹³ Dieser theoretische Wert trifft dann zu, wenn die Übertragung eines maximal langen Ethernet-Frames (1518 Bytes) soeben begonnen hat. In der Realität sieht es schlechter aus, weil in der Regel nach dem Scheduler, der die Reihenfolge der abgehenden Frames festlegt, nochmals eine kurze Queue mit einer Tiefe von einigen Frames liegt. Bei Messungen an verschiedenen Produkten wurden Puffertiefen zwischen 2 und 8 Frames ermittelt.

¹⁴ Neben dieser Zeit lassen sich Epochen definieren (16 Bit Epoc Number). Damit ist ein Zeitraum von 8925512 Jahren abgedeckt.

Synchronisation des horloges avec IEEE 1588

A la microseconde près dans le réseau local

Il importe de disposer d'une base de temps précise en particulier dans les systèmes distribués d'automatisation. Le Precision Time Protocol (PTP) précisé dans IEEE 1588 synchronise les horloges avec une précision supérieure à la microseconde. Il est conçu pour les réseaux locaux comme Ethernet permettant les informations Multicast. Les exigences posées aux horloges locales ainsi qu'à la capacité du réseau et de l'ordinateur sont en revanche modestes.



Twiline®
Der 2-Draht-Bus



Wahli

W. Wahli AG, Freiburgstrasse 341, 3018 Bern
 Telefon 031 996 13 33, Telefax 031 996 13 34

www.wahli.com