

Time-Sensitive Networking

Synchrones Ethernet mit PTP

Mit dem Aufbau und Betrieb der 5G-Netze benötigen die Basisstationen Zeit-Synchronität. Auch in der Industrie und insbesondere beim autonomen Fahren ist die Synchronität der Abläufe wichtig. Als Zeitquelle können Satellitennetze (z. B. GPS) oder Cäsium-Atomuhren dienen.

Um Zeitsynchronität in einem Netz zu gewährleisten, bedarf es Synchronous Ethernet in Kombination mit Precision Time Protocol (PTP, IEEE 1588) oder Time-Sensitive Networking (TSN).

Der Kurs behandelt PTP-Protokollabläufe mit einem speziellen Fokus auf Angriffsvektoren und Security. Für TSN liefert er Ihnen vertieftes Wissen zu den Queueing-Mechanismen, Fehlerquellen, Redundanz und zur Echtzeit-Verteilung.

Kursinhalt

- Unterschiede zw. Frequenz-, Phasen- und Zeit-Synchronität
- Präzision: Cäsium vs. Rubidium Atomuhr, Quarz: TCXO vs. OCXO
- Satelliten Systeme (GNSS): Galileo, GPS, GLONASS, Beidou
- Synchronous Ethernet (SynE): Funktionsweise und Protection
- Precise Time Protocol, PTP, IEEE 1588: gravierende Unterschiede zwischen den Versionen
- Zeitverteilung mit PTP: Protokollablauf
- PTP-Uhren im Vergleich: Grandmaster (GM), PRTC, BC, TC, OC
- Full Timing Support (FTS), G.8271.1
- Assisted Partial Timing Support (APTS), G.8273.4
- Partial Timing Support (PTS), G.8275.1
- PTP und Security – ein weiter Weg
- Synchronisation und Protection
- Synchronisation im 5G Mobilfunk
- 5G New Radio: TDD, CoMP
- 5G Störungen durch Interferenzen: Inter-Cell, Inter-Slot Interferenzen
- Time Error Budget, G.8271.1
- Time-Sensitive Networking (TSN)
- TSN für autonomes Fahren und V2X
- TSN in der Industrie
- Precise Synchronization, IEEE 802.1AS
- Queueing und Forwarding Mechanismen
- Path Control und Reservation, IEEE 802.1Qca
- Seamless Redundancy, IEEE 802.1CB
- Fehlerquellen und Messtechnik

E-Book Das ausführliche deutschsprachige digitale Unterlagenpaket, bestehend aus PDF und E-Book, ist im Kurspreis enthalten.

Zielgruppe

Der Kurs vermittelt das nötige Wissen für den Netzbetrieb, die Netzplanung und Anwendungsentwicklung in Industrie und Automotive.

Voraussetzungen

Gute Kenntnisse der Synchronous Digital Hierarchy – Netze, Alarme, Protection erleichtern das Verständnis. Hilfreich sind zudem Grundkenntnisse im Bereich der optischen Signalübertragung.

Stand 30.01.2025

Dieser Kurs im Web



Alle tagesaktuellen Informationen und Möglichkeiten zur Bestellung finden Sie unter dem folgenden Link: www.experteach.de/go/SYNE

Vormerkung

Sie können auf unserer Website einen Platz kostenlos und unverbindlich für 7 Tage reservieren. Dies geht auch telefonisch unter 06074 4868-0.

Garantierte Kurstermine

Für Ihre Planungssicherheit bieten wir stets eine große Auswahl garantierter Kurstermine an.

Ihr Kurs maßgeschneidert

Diesen Kurs können wir für Ihr Projekt exakt an Ihre Anforderungen anpassen.

Training		Preise zzgl. MwSt.	
Termine in Deutschland	3 Tage	€ 2.195,-	
Online Training	3 Tage	€ 2.195,-	
Termin/Kursort	Kursprache Deutsch		
26.05.-28.05.25	Frankfurt	08.12.-10.12.25	Frankfurt
26.05.-28.05.25	Online	08.12.-10.12.25	Online



Inhaltsverzeichnis

Time-Sensitive Networking – Synchrones Ethernet mit PTP

1	Taktung – Warum?	5.5	Takt-Topologien	7.2.3	Fehlerfall: Switch und Endgerät
1.1	Anforderungen – Ein paar Takte zur Taktung	5.5.1	Hierarchische Topologie	7.2.4	Redundante Synchronität, 802.1ASbt
1.2	Anforderungen	5.5.2	Lineare Topologie	7.2.5	Transmission Order
1.3	Ethernet und Taktung bisher	5.5.3	Multiple Connected Topology	7.3	Traffic Types des Industrial Internet Consortium (IIC)
1.3.1	SDH als Referenz	5.5.4	Quality Level für PTP, G.781	7.3.1	Isochronous (Traffic Type I)
2	Was ist Synchronität?	5.6	PTP Domains	7.3.2	Cyclic (Traffic Type II)
2.1	Taktgenauigkeit	5.7	PTP Monitoring – Ein Beispiel	7.3.3	Alarms & Events (Traffic Type III)
2.2	Taktquellen	5.8	Security und Synchronität	7.3.4	Configuration & Diagnostics (Traffic Type IV)
2.3	Taktverhalten – „As time goes by.“	5.8.1	Gefahren für die Slaves	7.3.5	Network Control (Traffic Type V)
3	Taktvergabe – „Wem die Stunde schlägt...“	5.8.2	Gefahren für den Master	7.3.6	Best Effort (Traffic Type VI) und weitere
3.1	Regeln – Wer taktet wen?	5.8.3	Gefahren für Boundary und Transparent Clocks	7.4	TSN Netze
3.1.1	Takt-Hierarchien	5.8.4	MACsec – Verschlüsseln auf Layer 2	7.5	Forwarding und Queueing
3.1.2	Takt und Redundanz	6	5G Mobilfunk und Synchronisation	7.5.1	Cyclic Queueing and Forwarding (CQF)
3.2	Aufbau einer PRC	6.1	Einblick in den 5G Mobilfunk	7.5.2	Priority and Weighted Queueing
4	Synchronous Ethernet, SyncE, G. 8262, G. 8264	6.1.1	5G New Radio im Überblick	7.5.3	Credit Based Shaping (802.1Qav)
4.1	Prinzip	6.1.2	Der Aufbau eines 5G Netzes	7.5.4	Preemption and Interspersing Express Traffic 802.3br
4.1.1	TDM über Ethernet	6.1.3	OFDM – Multi Carrier Transmission	7.5.5	Frame Formate im Überblick
4.1.2	Ethernet Equipment Clock (EEC), G. 8262	6.1.4	Skalierbare Bandbreiten	7.5.6	Time-Aware Shaper, IEEE 802.1Qbv
4.1.3	Synchronization Supply Unit (SSU)	6.1.5	Anzahl der Resource Blocks (RB)	7.5.7	Guard Band
4.1.4	Synchronization Reference Chain, G. 803 – Aufbau	6.1.6	5G Timing & Latenz-Zeiten	7.5.8	Zeitlich gesteuerte Gates, 802.1Qbv
4.1.5	Synchronization Reference Chain, G. 803 – Länge	6.1.7	Network Slicing	7.5.9	Per Stream Filtering and Policing (PSFP)
4.2	Taktverteilung	6.1.8	Vom massive MIMO zum Beamforming	7.5.10	Input Gates, P802.1Qci
4.2.1	Aufbau eines SyncE Netzelementes, G. 8262,	6.1.9	FDD und TDD im Vergleich	7.5.11	Admission Control, IEEE 802.1Qat
4.2.2	ESMC – Ethernet Synchronization Messaging Channel, G. 8264	6.2	TDD und Zeitsynchronität	7.5.12	SRP: Talker und Listener
4.3	SyncE und Mobilfunk	6.2.1	Coordinated Multi Point (CoMP) und Sync.	7.5.13	Listener und Domain
4.3.1	Timing Paths der Frequenzverteilung	6.2.2	CoMP - Coordinated Multi Point im Campus	7.5.14	TSN Streams identifizieren
4.3.2	SyncE über WDM	6.2.3	Coordinated Scheduling/Coordinated Beamforming	7.5.15	Stream Reservation Protocol (SRP), 802.1Qcc
4.4	SyncE und Metro Ethernet Forum	6.2.4	Joint Processing	7.6	Path Control and Redundancy, 802.1Qca
4.5	Hybride Netze: SyncE und IEEE 1588v2	6.3	Störungen: Inter-Cell-Interference	7.6.1	IS-IS
4.6	PTSF – Packet Timing Signal Failure	6.3.1	Slot Interference	7.6.2	Die Basis: Provider Backbone Bridging – 802.1ah
4.7	Protection bei Taktung	6.3.2	Slot Interference zwischen DL und UL	7.6.3	IS-IS Routing im Ethernet
4.7.1	Ausfall	6.3.3	UL Interference messen	7.6.4	Shortest Path Bridging, 802.1aq
4.7.2	Protection	6.4	Synchronisation im 5G Radio Access Network (RAN)	7.6.5	Path Control & Reservation (PCR), RFC 7813
5	Taktung nach IEEE 1588v2, G.8265.1	6.4.1	G.8271.1: Full Timing Support (FTS)	7.6.6	Path Computation
5.1	Taktung nach IEEE 1588	6.4.2	Assisted Partial Timing Support (APTS)	7.6.7	Path Computation centralized
5.1.1	Uhren und Aufgaben	6.5	Synchronisation und Protection	7.7	Seamless Redundancy, IEEE 802.1CB
5.1.2	Uhren und Netzdesign	6.5.1	Einfaches Konzept	7.7.1	Parallel Redundancy Protocol, IEC 62439-3
5.2	Abläufe im Überblick	6.5.2	Zeitoptimiert	7.7.2	PRP Netzelement
5.3	PTP Telecom Profile, G.8265	6.5.3	Protection: Konzept 2	7.8	TSN Systems
5.3.1	Korrektur des Offset	6.5.4	Ausfall des Masters – wie erkennen?	8	Fehler erkennen
5.3.2	Messen des Delay	6.5.5	Was ist wenn...?	8.1	Fehlerquellen
5.3.3	Delay-Request-Response, Teil 1	6.5.6	Protection: PTP + SyncE	8.1.1	Jitter und Wander
5.3.4	Delay-Request-Response, Teil 2	7	Time Sensitive Networking (TSN)	8.1.2	Jitter und Wander im Vergleich
5.3.5	Peer-Delay	7.1	Time Sensitive Networking – IEEE 802.1 TSN	8.2	Messtechnik
5.3.6	Transparent Clock Peer-to-Peer	7.1.1	TSN für (teil)autonomes Fahren	8.2.1	Jitter
5.3.7	Transparent Clock End-to-End	7.1.2	Überblick wichtiger Standards	8.3	Jitter – Generation, Transfer und Tolerance
5.3.8	Boundary Clock (BC)	7.1.3	TSN Basiswissen	8.3.1	Jitter Generation: BERT scan und Bathtub, IEEE 802.3ae Annex 48B.3I
5.4	PTP im Detail	7.1.4	Ein Beispiel	8.3.2	Jitter Tolerance: Stressed Receiver Conformance Test, IEEE 802.3ae
		7.2	Basis: Precise Synchronization IEEE 802.1AS		
		7.2.1	Zeit und Präzision		
		7.2.2	Clock Synchronization Services		

