

3 Anforderungen an ein TSN

3.1 Allgemeine Kriterien für ein TSN

Time-Sensitive Networking ist eine funktionelle Erweiterung für IEEE-802.1-Ethernet-Netze, die die Konvergenz von Echtzeitkontrolle mit zeitkritischer Datenübertragung von Massendaten in einem einzigen Kommunikationsnetz ermöglicht.

- Es bietet garantierte Latenzzeiten, geringen Jitter und keine Stauverluste für alle kritischen Steuerdaten mit unterschiedlichen Datenraten.
- Es reduziert Komplexität und Kosten durch die Konvergenz mehrerer Arten von Anwendungen in einem einzigen Netz.
- Es schützt kritischen Datenverkehr vor den Auswirkungen des konvergierenden, unkritischen Massenverkehrs.
- Es vereinfacht die gesamte Vernetzung durch gemeinsames Design, Bereitstellung und Wartung einer einzigen Infrastruktur.

Das TSN-Netz muss in der Lage sein, alle vorhandenen Ethernet-Protokolle basierend auf der IEEE-802.3-Ethernet-Technik zu unterstützen, z. B.: HTTP, TLS, FTP, DHCP, UDP, SNMP, ARP, alle TCP/IP-Protokolle usw. Das Netz sollte folgende minimale Kommunikationsgeschwindigkeiten unterstützen: 100 Mbit/s bis größer als 100 Gbit/s. TSN-basierte Komponenten sollen die Implementierung von Netzen mit folgenden Netz-Topologien unterstützen: Stern, Baum, Daisy Chain, Ring und Bus. TSN soll die Entwicklung von Netzen mit garantierter End-to-End-Latenz unterstützen.

Latenz bei TSN

Im Allgemeinen bezieht sich die Latenz auf die gesamte End-to-End-Paketverzögerung ab dem Zeitpunkt des Beginns der Übermittlung durch den Absender (Sprecher) bis zum vollständigen Empfang durch den Empfänger (Zuhörer). Latenz ist also die Zeit zwischen einem Ereignis und der darauf folgenden Reaktion; Verzögerungszeit.

Der Begriff Ultra-Low-Latency (ULL) bezieht sich häufig auf Latenzen, die sehr kurz sind, z. B. in der Größenordnung von wenigen Millisekunden oder weniger als eine Millisekunde. ULL-Anwendungen erfordern oft eine deterministische Vorgehensweise, d. h. alle Frames eines bestimmten Anwendungsverkehrs, der Durchfluss, darf eine vorgeschriebene Grenze nicht überschreiten, z. B. um das ordnungsgemäße Funktionieren der industriellen Automatisierung zu gewährleisten.

Es ist auch möglich, dass Anwendungen probabilistische Latenzzeit erfordern können, d. h. eine vorgeschriebene Verzögerung, die begrenzt ist, sollte mit hoher Wahrscheinlichkeit erfüllt werden, z. B. für Multimedia-Streaming, bei denen es selten zu Verstößen gegen die Grenzwerte kommt und vernachlässigbare Auswirkungen der wahrgenommenen Qualität des Multimedia hat.

Latenzjitter, oder kurz Jitter, bezieht sich auf die Paketlatenzzeit-Variationen. Als Jitter bezeichnet man das zeitliche Taktzittern bei der Übertragung von Digitalsignalen, eine leichte Genauigkeitsschwankung im Übertragungstakt.

Oftmals erfordern ULL-Systeme einen sehr geringen Jitter. Latenz und Jitter sind die beiden wichtigsten Quality of Service (QoS)-Metriken für ULL-Netze. Es gilt festzustellen, dass es eine breite Palette von ULL-Anwendungen mit sehr unterschiedlichen QoS-Anforderungen gibt (siehe Tabelle 7).

Beispielsweise haben einige industrielle Steuerungsanwendungen sehr enge Verzögerungsgrenzen, z. B. nur wenige Mikrosekunden, während andere industrielle Anwendungen eine entspanntere Verzögerung bis zu einer Millisekunde haben.

Tabelle 7 gibt die Parameter für Ultra Light Latency (ULL-Anwendungen) wieder [Nas18].

ULL-Netzmechanismen spielen eine entscheidende Rolle in den aufkommenden Netzzugangsketten der fünften Generation (5G) von drahtlosen Geräten über Access, Backhaul und Core-Netze.

Tabelle 7: Ende-zu-Ende Latenz und Jitter

Area	Application	QoS Requirements Latencies	Jitter
Medical	Tele-Surgery, Haptic Feedback	3–10 ms	< 2 ms
Industry	Indust. Automation, Control Syst.	0.2 μ s–0.5 ms for netw. with 1 Gbit/s link speeds	meet lat. req.
	Power Grid Sys.	25 μ s–2 ms for netw. with 100 Mbit/s link speeds	meet lat. req.
Banking	High-Freq. Trading	approx. 8 ms	few μ s
Avionics	AFDX Variants	< 1 ms	few μ s
Automotive	Adv. Driver. Assist. Sys. (ADAS)	1–128 ms	few μ s
	Power Train, Chassis Control	100–250 μ s	few μ s
	Traffic Efficiency & Safety	< 10 μ s	few μ s
Infotainment	Traffic Efficiency & Safety	< 5 ms	few μ s
	Augmented Reality	7–20 ms	few μ s
	Prof. Audio/Video	2–50 ms	< 100 μ s

Das Netz muss die folgenden acht Verkehrsarten unterstützen.

Tabelle 8: TSN-Verkehrsarten

Type	Art	Zeit	Anwendung
1	Isochronous	Period 100 μ s ~ 2 ms	Zeitsynchronisierten Anwendungen
2	Cyclic	Period 2 ~ 20 ms	Ein- und Ausgaben Updates
3	Alarms/Events	Period n.a. Latency (100 ms ~ 1 s)	Prozess und Alarm Steuerung
4	Configuration/Diagnosis	Period n.a.	Analyse Aktivitäten
5	Network Control	Period 50 ms ~ 1 s	Precision Time Protocol
6	Best effort	Period n.a.	Keine Garantie der Übertragung
7	Video	Period n.a. Latency weniger als 10 ms	Fernsehen
8	Audio/Voice	Period n.a. Latency weniger als 100 ms	Musik

Die Geräteimplementierung muss die Einrichtung und Aufrechterhaltung einer System-(global)zeit mit einer Genauigkeit von weniger als 10 μs ermöglichen.

Das Netz soll die Implementierung der Netztakt-Synchronisation (Differenz zwischen zwei beliebigen Uhren im System) bis zu 1 μs bei 100 Hops und 100 ns bei 10 Hops ermöglichen [ETS19].

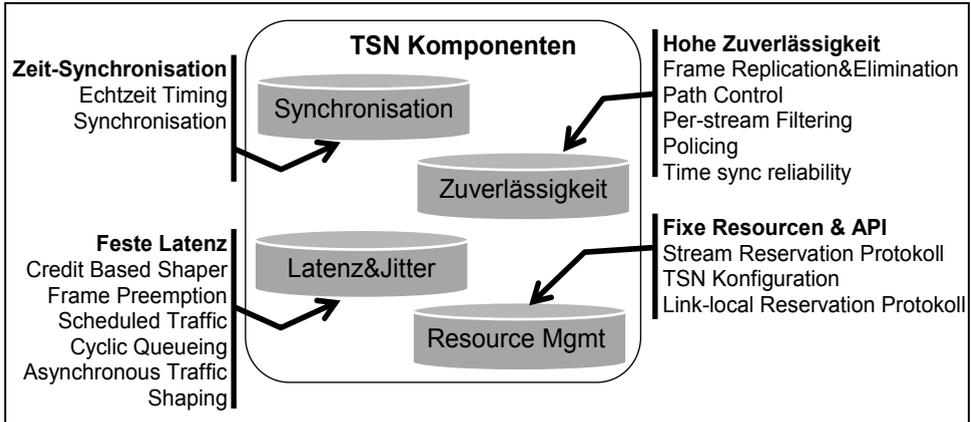


Bild 23: TSN-Komponenten

3.2 Zeitkriterien für ein TSN

Mess- und Regelsysteme werden in den Bereichen traditionelles Prüfen und Messen, Industrieautomation, Kommunikationssysteme, elektrische Energiesysteme und vielen anderen Bereichen der modernen Technik eingesetzt. Die zeitlichen Anforderungen an diese Mess- und Regelsysteme werden immer höher. Traditionell wurden diese Mess- und Regelsysteme in einer zentralisierten Architektur implementiert, in der die zeitlichen Beschränkungen durch sorgfältige Beachtung der Programmierung in Kombination mit Kommunikationstechnik mit deterministischer Latenzzeit erfüllt werden. In den letzten Jahren nutzt eine zunehmende Anzahl solcher Systeme eine stärker verteilte Architektur und vernetzt zunehmend Techniken mit weniger strengen Zeitvorgaben als die älteren, spezialisierten Techniken. Insbesondere in der Mess- und Regeltechnik wird die Ethernet-Technik immer häufiger eingesetzt. Dies hat zu alternativen Mitteln zur Durchsetzung der zeitlichen Anforderungen in solchen Systemen geführt. Eine dieser Techniken ist der Einsatz von Systemkomponenten, die Echtzeituhren enthalten, die alle innerhalb des Systems miteinander synchronisiert sind. Dies ist in der allgemeinen Computerindustrie sehr verbreitet, z. B. enthalten im Wesentlichen alle Allzweckcomputer eine Uhr. Diese Uhren werden zur Verwaltung von verteilten Dateisystemen, Backup- und Wiederherstellungssystemen und vielen anderen ähnlichen Aktivitäten verwendet. Diese Computer interagieren typischerweise über LANs und das Internet.

In dieser Umgebung ist die am weitesten verbreitete Technik zur Synchronisation der Uhren das Network Time Protocol v.3 (NTP) laut RFC 1305 oder das zugehörige Simple Network Time Protocol (SNTP). Es wird im RFC 4330 v.4 beschrieben.

Mess- und Regelsysteme haben eine Reihe von Anforderungen, die an eine Taktsynchronisationstechnik gestellt werden, insbesondere:

- Die Zeitgenauigkeiten liegen oft im Submikrosekundenbereich.
- Diese Techniken müssen für eine Reihe von Netztechniken verfügbar sein, einschließlich Ethernet, aber auch für andere Techniken, die beispielsweise in der Luft- und Raumfahrt, der industriellen Automatisierung, der Energie- und Versorgungstechnik, der Halbleiterfertigung, der Telekommunikation, der Prüf- und Messtechnik eingesetzt werden.
- Ein Minimum an Administration ist sehr wünschenswert.
- Die Technik muss in der Lage sein, auf kostengünstigen und Low-End-Geräten implementiert zu werden.
- Die erforderlichen Netz- und Computerressourcen sollten minimal sein.

Im Gegensatz zur allgemeinen Rechenumgebung von Intranets oder dem Internet sind Mess- und Steuerungssysteme typischerweise räumlich stärker lokalisiert.

3.3 Traffic-Shaping – Verkehrsformung

Die Datenpakete in einem Netz werden spontan von den Endsystemen und den dort laufenden Anwendungen unabhängig und zufällig erzeugt [Sie1].

Mit Traffic-Shaping, das Konzept zur Verkehrsformung, wird das Prinzip der Verwaltung von Warteschlangen bei paketvermittelten Datennetzen bezeichnet. Die Datenpakete werden nach bestimmten Kriterien vorgezogen, verzögert oder verworfen, um bestimmten Anforderungsprofilen zu genügen. Durchgeführt wird diese Funktion von einem Netz-Scheduler und ist grundsätzlich eine Form der Regelung der Datenraten. Traffic-Shaping ist unidirektional, d. h., es arbeitet im Gegensatz zur Datenflusskontrolle ohne Steuerinformationen der Gegenseite wie beim Transmission Control Programm (TCP) nach RFC 793.

Übertragungsrichtlinien (Policing) versus Shaping

Die folgende Bild veranschaulicht den wesentlichen Unterschied: Traffic Policing propagiert Bursts. Wenn die Traffic-Rate die konfigurierte maximale Rate erreicht, wird überschüssiger Traffic gelöscht (oder gekennzeichnet). Das Ergebnis ist eine Ausgaberate, die als Sägezahn mit Kämme und Tälern erscheint. Im Gegensatz zum Policing hält Traffic Shaping überschüssige Pakete in einer Warteschlange und plant sie dann für eine spätere Übertragung in Zeitschritte. Das Ergebnis des Traffic Shaping ist eine geglättete Paket-ausgaberate.

Shaping setzt die Existenz einer Warteschlange und eines ausreichenden Speichers voraus, um verzögerte Pakete zu puffern, während das Policing dies nicht tut. Queueing ist ein Ausgangskonzept, Pakete, die ein Interface verlassen, werden in die Warteschlange gestellt und können geregelt werden.