

Bringen Sie TSN-Funktionalität in Ihr Produktportfolio

Leitfaden für Ihre TSN-Produktentwicklung





OPEN AUTOMATION NETWORKS

Bringen Sie TSN-Funktionalität in Ihr Produktportfolio
Leitfaden für Ihre TSN-Produktentwicklung

Kurzfassung

„Connected Industries“ sind in hohem Maß auf Informationsgewinn, basierend auf Daten aus der Fertigung, angewiesen. Voraussetzung hierfür ist die nahtlose Vernetzung vom kleinsten Sensor in der Fertigung bis hin zu Enterprise-Systemen und darüber hinaus. Nur so lassen sich Abläufe gemäß Smart Manufacturing automatisieren.

Um Unternehmen den Aufbau von solchen zukunftssicheren Infrastrukturen zu ermöglichen, müssen Anbieter von Automatisierungskomponenten die neuesten und aussichtsreichsten Entwicklungen für industrielle Netzwerke in ihre Produkte integrieren. Hierzu gehört zweifelsohne Time-Sensitive Networking (TSN), eine innovative Technologie für die Ethernet-basierte industrielle Kommunikation, die smarte Betriebsabläufe in den Fabriken der Gegenwart und in den „Connected Industries“ der Zukunft unterstützt.

Wie können Automatisierer fortschrittliche Lösungen mit TSN anbieten? Was ist bei der Entwicklung erfolgreicher und wettbewerbsfähiger Lösungen zu beachten?

Das vorliegende White Paper beschreibt das TSN-Entwicklungsökosystem der CLPA, welche Lösungen infrage kommen und wie existierende Komponenten mit konventionellem Industrial Ethernet TSN-Kompatibilität erreichen können. Darüber hinaus gibt dieses Dokument Empfehlungen zur erfolgreichen Implementierung von TSN und zur Bereitstellung von Schlüssellösungen für zukunftsorientierte Applikationen.

Inhaltsverzeichnis	Seite
Kurzfassung	3
Kapitel 1 – Einleitung	5
Technologietrends und Industrie 4.0	5
TSN-Funktionalität	5
Marktchancen durch TSN	6
Kapitel 2 – Ein kurzer Überblick über die TSN-Technologie	7
IEEE 802.1-Normen	7
Die Bedeutung der Gigabit-Bandbreite	8
Kapitel 3 – Entwickeln für TSN: Workflow	9
Kapitel 4 – Entwickeln für TSN: Methoden	10
Einleitung	10
Entscheiden, welche Art von TSN-Produkt entwickelt werden soll	10
Neue Entwicklung oder Migration eines existierenden Produktes?	11
Softwarelösungen	11
Hardwarelösungen	12
Besondere Applikationen	13
Kapitel 5 – Die Bedeutung von Konformitätsprüfungen	15
Externe Zertifizierung	15
Prüfeinrichtungen in aller Welt	15
Kapitel 6 – Industrial-Ethernet-Protokolle, die TSN unterstützen	16
Kapitel 7 – Schlussfolgerungen	17
Über den Autor	18
Kontaktdaten der CLPA	19
Quellenhinweise und Bibliographie	20

Kapitel 1 – Einleitung

Technologietrends und Industrie 4.0

Schlüsseltechnologien für Industrie 4.0 wie das Industrial Internet of Things (IIoT) ermöglichen Unternehmen, eine zunehmend digitalisierte, vernetzte und automatisierte Fertigungsumgebung zu schaffen. Mit Technologien, die Strategien zur digitalen Transformation unterstützen, lassen sich smarte, vernetzte Fabriken aufbauen. Die Fabrik von morgen sieht so aus, dass Maschinen, Produktionslinien, Anlagen und ganze Lieferketten miteinander kommunizieren. Hiermit werden Produktivität, Effizienz und Flexibilität gesteigert. Die Vorteile solcher Infrastrukturen sind erheblich.

Unternehmen können beispielsweise Fertigungsdaten mit Informationen übergeordneter Enterprise-Systeme kombinieren und komplexe Big-Data-Analysen durchführen, um geschäftlich wertvolle Erkenntnisse (Intelligence) zu gewinnen. Mithilfe dieser Erkenntnisse lassen sich selbstregulierende, automatisierte Prozesse einrichten, um die Fertigungsaktivitäten zu optimieren, die Produktqualität zu sichern und zugleich die Taktzeiten weiter zu reduzieren. Die Wertschöpfungsketten (Value Chains) sind auf hochgradig vernetzte Unternehmen angewiesen, die mit bewährten Strategien wie Just-in-Time-Fertigung die Lagerkosten niedrig halten und gleichzeitig flexibel sind. Des Weiteren können Unternehmen ihre Wartungsmaßnahmen rationalisieren, indem sie mithilfe der Zustandsüberwachung sich anbahnende Defekte erkennen und Reparaturen vorausplanen, um die Ausfallzeiten möglichst gering zu halten.

In einer Welt, die von hartem Wettbewerb gekennzeichnet ist und in der die Kundennachfrage nach immer flexibleren Abläufen verlangt, müssen Automatisierungsanbieter zukunftsweisende Lösungen anbieten, die ihren Kunden smarte Fertigungsstrategien ermöglichen. Eine Schlüsseltechnologie in diesem Zusammenhang ist Time-Sensitive Networking (TSN), das von der IEEE 802.1-Arbeitsgruppe eigens zu dem Zweck spezifiziert wurde, um das Standard-Ethernet zu erweitern und zukunftssichere Funktionen bereitzustellen.

TSN-Funktionalität

Die beiden wesentlichen Vorteile von TSN sind Determinismus und Konvergenz.

Determinismus ist die Voraussetzung für die zeitkritische Kommunikation in der Fertigung und bedeutet vorausberechenbare Verarbeitung von Daten durch Minimierung von Latenz und Jitter. Dies wiederum unterstützt Echtzeitanwendungen und bildet die Grundlage für die Konvergenz.

Konvergenz, die zweite Schlüsselfunktion von TSN, ermöglicht es Unternehmen, verschiedene Datenarten in einem einzigen Netzwerk zusammenzuführen, ohne Leistungseinbußen bei der Fertigungskommunikation. Dies ist essenziell für die Weitergabe von Informationen aus dem Betrieb und ermöglicht damit eine höhere Prozesstransparenz im gesamten Unternehmen. Erst hieraus lassen sich Erkenntnisse zur Optimierung von Produktionsanlagen und ganzer Unternehmen ableiten.

Da es sich bei TSN um eine Erweiterung des Standard-Ethernet handelt, ist es mit bereits existierenden Netzwerktechnologien und -Komponenten kompatibel. Es kann parallel zu vorhandenen Komponenten eingesetzt werden, was die Systeminvestitionen reduziert.

Marktchancen durch TSN

TSN gilt branchenübergreifend als Zukunftsstandard für das industrielle Ethernet und die industrielle Kommunikation. Folglich wachsen sowohl das Interesse an dieser Technologie als auch ihre Verbreitung.

Für die Automatisierungsanbieter ergeben sich daraus hochinteressante Geschäftschancen. Durch die Entwicklung und Markteinführung moderner Produkte mit TSN-Funktionalität können sie sich einen Wettbewerbsvorteil verschaffen und ihren Marktanteil erhöhen.

Automatisierungskomponentenhersteller können sich dieses neue Marktsegment schnell erschließen, indem sie ihre vorhandenen Produktportfolios mit der TSN-Kompatibilität erweitern. Mittels Software- oder einfacher Hardware-Modifikationen ist es oft möglich, existierende Industrial-Ethernet-Produkte so weiterzuentwickeln, dass sie die innovativen Funktionen unterstützen. Für Endanwender wiederum bedeutet es Kontinuität, wenn sie sich im Betrieb auf bewährte Komponenten und Konfigurationen verlassen können.

Damit Anbieter diese Chance nutzen können, werden in den folgenden Kapiteln dieses Whitepapers die Technologie hinter TSN, der Entwicklungs-Workflow und die zur Entwicklung kompatibler Automatisierungsprodukte verfügbaren Methoden erklärt.

Kapitel 2 – Ein kurzer Überblick über die TSN-Technologie

IEEE 802.1-Normen

Die TSN-Technologie wird durch IEEE 802.1-Normen [1] definiert, wobei für die industrielle Kommunikation vor allem IEEE 802.1AS [2] und IEEE 802.1Qbv [3] wichtig sind, denn hierauf beruhen Determinismus und Konvergenz.

IEEE 802.1AS umfasst Mechanismen, um alle Komponenten innerhalb eines Netzwerks mit hoher Genauigkeit zu synchronisieren und so eine präzise Begrenzung von Latenz und Jitter bei Übertragungen im gesamten Netzwerk zu ermöglichen. Dies wiederum ist die Voraussetzung für berechenbares Verhalten und somit die Grundlage für Determinismus.

Unter Verwendung der netzwerkweiten Systemzeit nach IEEE 802.1AS organisiert IEEE 802.1Qbv die Datenübertragungen zeitlich anhand ihrer jeweiligen Priorität und ermöglicht so die deterministische Konvergenz verschiedener Arten von Daten.

Hierzu richten die durch IEEE 802.1Qbv definierten Time-Aware Shapers (TAS) die Netzwerk-Switches für Taktzeiten im Echtzeitdatenverkehr ein. Die von den TAS generierten, regelmäßig wiederkehrenden Zeitfenster, die ein Zeitmultiplexverfahren (Time Division Multiple Access, TDMA) nachbilden, ermöglichen es, verschiedene Arten von Daten im selben Netzwerk zu handhaben und zeitkritischen Daten dabei Vorrang einzuräumen. Da die Zeitparameter der TAS von vollsynchronisierten Netzgeräten gemeinsam genutzt werden, „wissen“ diese, wann zeitkritische Daten gesendet und empfangen werden.

So können einige dieser Zeitintervalle geplant und für zeitkritischen Datenverkehr reserviert werden. Gleichzeitig wird der nicht zeitkritische „Best-Effort“-Datenverkehr zurückgestellt, um Störungen zu vermeiden. Weil die Sende- und Empfangszeiten zeitkritischer Daten somit im Voraus festgelegt sind, kann TSN eine deterministische Kommunikation für harte Echtzeit-Applikationen gewährleisten.

Die durch TSN erreichbare Netzwerkkonvergenz ermöglicht außerdem die Aufhebung der Grenzen zwischen Operational Technology (OT) und Informationstechnik (IT). Durch den Datenaustausch zwischen OT und IT können Unternehmen aufschlussreiche, datengestützte Erkenntnisse für die smarte Fertigung gewinnen – und darum geht es beim Industrial Internet of Things (IIoT).

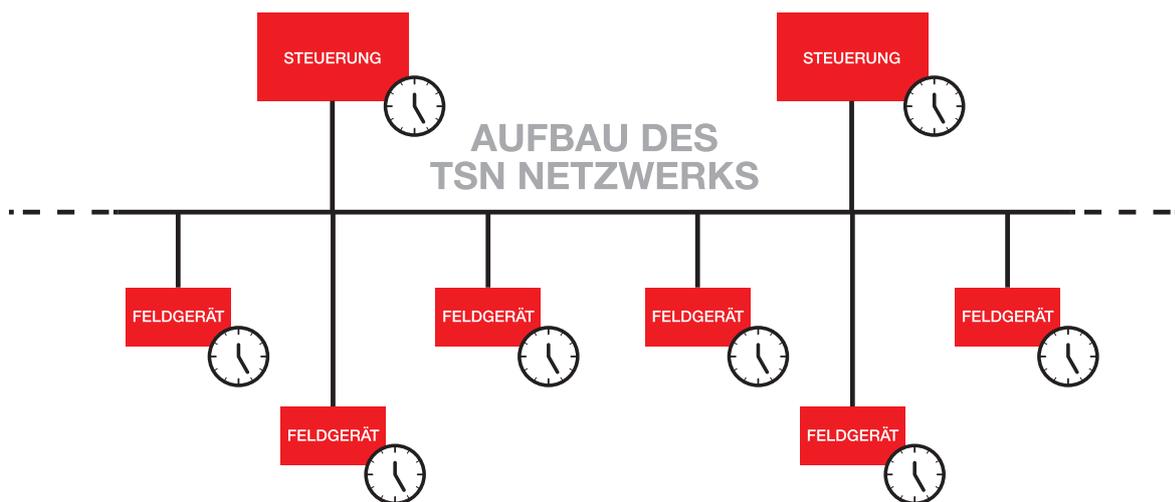


Abbildung 1 - Durch die Verwendung der IEEE 802.1AS haben alle Komponenten im Netzwerk eine gemeinsame Systemzeit. Dies gewährleistet eine deterministische Kommunikation durch die Reduzierung von Latenz und Jitter. Der Datenfluss wird somit berechenbar durch das Netzwerk übertragen.

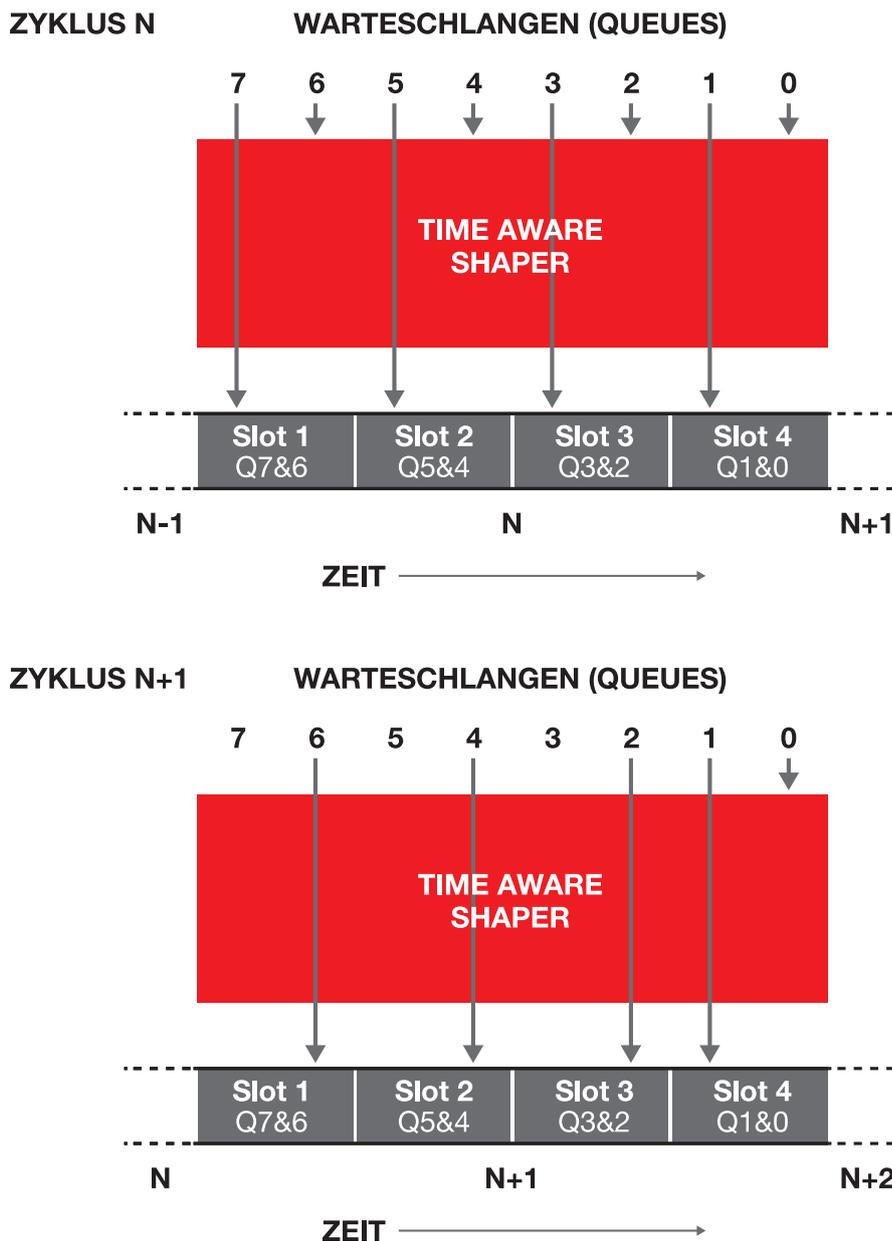


Abbildung 2 - IEEE 802.1Qbv ermöglicht die Zuordnung von Zeitfenstern (Slots) zu den zu übertragenden Daten in Warteschlangen (Queues) der einzelnen Datenverkehrsklassen. Damit wird geregelt, wann jede Datenverkehrsart Zugang zum Netz bekommt. In diesem Beispiel stehen vier Slots für acht Queues zur Verfügung. Innerhalb jedes Slots hat die höher priorisierte Verkehrsklasse Vorrang.

Die Bedeutung der Gigabit-Bandbreite

Es steht außer Frage, dass Industrie 4.0 das Datenvolumen der von Automatisierungskomponenten und Systemen generierten Daten erhöht. Zur Bewältigung dieser kontinuierlich wachsenden Datenmengen bedarf es zusätzlicher Bandbreite. Dies leistet Gigabit-Ethernet-Netzwerken Vorschub, die erheblich mehr Bandbreite bieten als der bisherige 100-Mbit-Standard. TSN ist für diese Entwicklung gut aufgestellt, weil es nicht für bestimmte Bandbreitenanforderungen konzipiert wurde, sondern eine skalierbare Lösung für die Netzwerke von heute, morgen und übermorgen darstellt.

Kapitel 3 – Entwickeln für TSN: Workflow

Dass sich Komponentenhersteller, die TSN-fähige Produkte anbieten können, einen Wettbewerbsvorteil verschaffen, liegt auf der Hand. Um jedoch erfolgreich Komponenten zu entwickeln, die dem Endanwender einen echten Mehrwert bieten, müssen zunächst die Funktion, die Leistung und die Art des Produktes festgelegt werden.

Es gilt genau zu definieren, was das Produkt können soll. Hiervon hängt der zu entwickelnde Netzwerkteilnehmertyp ab, beispielsweise Master oder Remote Client. Außerdem muss für die Aspekte Geschwindigkeit und Synchronisationsgenauigkeit das Performance-Niveau festgelegt werden. Wenn diese Eckdaten feststehen, kann der Anbieter prüfen, ob es bereits Produkte gibt, die sich für ein Upgrade auf TSN-Funktionalität eignen.

Anschließend gilt es, die am besten geeignete Entwicklungsmethode für die zu produzierende TSN-Komponente auszuwählen. Relevant hierfür sind die zuvor ermittelten Leistungsanforderungen und auch jeweils die Eignung existierender Entwicklungsmethoden.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, wo die Produktentwicklung stattfinden soll: inhouse oder mit externen Ressourcen? Oder ist es besser, die Aufgabe komplett einem spezialisierten Systemhaus zu übertragen?

Wenn die TSN-Komponente fertig entwickelt ist, muss sie noch zertifiziert werden, um nachzuweisen, dass sie die technischen Anforderungen uneingeschränkt erfüllt. Hierfür empfiehlt sich die unabhängige Zertifizierung durch eine kompetente Prüfstelle, denn diese bietet den Endkunden zusätzliche Sicherheit im Hinblick auf die Kommunikationsleistung.

Wenn alle diese Aufgaben erfüllt sind, kann das TSN-kompatible Produkt auf den Markt gebracht werden.



Abbildung 3 - Workflow in der Übersicht

Kapitel 4 – Entwickeln für TSN: Methoden

Einleitung

Endanwender und Automatisierer benötigen sowohl eine geeignete Netzwerktechnologie als auch Automatisierungskomponenten, die die TSN-Technologie unterstützen, um von TSN in der industriellen Kommunikation zu profitieren. Diesen Bedarf decken Anbieter mit innovativen Produkten ab, die allen Anforderungen ihrer Kunden entsprechen und zugleich den eigenen Wettbewerbsvorsprung ausbauen.

Für Entwicklungen dieser Produkte werden bereits vorhandene Plattformen und Tools in der Regel empfohlen, um die Entwicklungskosten und die Time-to-Market zu minimieren.

Die verwendete Industrial-Ethernet-Technologie sollte daher auf einem offenen Entwicklungsökosystem basieren, dessen Optionen zu den vorhandenen Methoden der Komponentenhersteller passen. Je umfangreicher die Auswahl an Optionen, desto attraktiver ist die Technologie für eine größere Zahl von Anbietern. Es sollten daher sowohl Hardware- und Softwarelösungen als auch verschiedene Bandbreitenoptionen wie 100 Mbit und 1 Gbit verfügbar sein.

Jede Entwicklungsmethode hat ihre eigenen Vorteile und ist je nach Applikation mehr oder weniger geeignet. Entwickler müssen daher berücksichtigen, welche Optionen es gibt und wie diese zu bereits vorhandenen Entwicklungen und Hardware-Architekturen passen. Dieses Kapitel gibt einen Überblick über verschiedene Möglichkeiten, wie TSN-Produkte entwickelt werden können.

Entscheiden, welche Art von TSN-Produkt entwickelt werden soll

Am Anfang steht die Entscheidung über die Funktionalität, das heißt welche Aufgabe das Endprodukt innerhalb eines Netzwerkes erfüllen soll. Im Kontext dieses Whitepapers bedeutet dies Master, Remote Client oder Local Client.

- Master managen die Kommunikation im Netzwerk, indem sie Datenverkehr anderer Teilnehmer regeln, beispielsweise zyklische (synchrone) und transiente (asynchrone) Datenübertragung. Typische Master-Komponenten sind SPSen und Industrie-PCs.
- Remote Clients werden von Mastern überwacht; typische Vertreter sind Feldgeräte wie E/A, Ventilblöcke, HMIs, Frequenzumrichter und Servos. Sie sind zum 1:n zyklischen und transienten Datenaustausch mit anderen Teilnehmern in der Lage, wobei transiente Kommunikation nach dem Client/Server-Modell abgewickelt wird.
- Local Clients sind oftmals SPSen oder Industrie-PCs. Sie beherrschen den n:n zyklischen Datenaustausch lokal und mit dem Master. Darüber hinaus sind sie zum 1:n zyklischen und transienten Datenaustausch mit anderen Teilnehmern in der Lage, wobei auch hier die transiente Kommunikation nach dem Client/Server-Modell abgewickelt wird.

Des Weiteren müssen Komponentenhersteller entscheiden, ob sie Komponenten für Motion-Control- oder Safety-Applikationen entwickeln möchten. Motion Control verlangt für gewöhnlich vollständige TSN-Unterstützung im Hinblick auf die Synchronisation von Achsen. Dies ermöglicht eine Synchronisierungsgenauigkeit im Mikrosekundenbereich, wie sie bei anspruchsvollen Applikationen wie etwa einer Druckmaschine erforderlich ist.

Safety-Komponenten sind ein weiteres wichtiges Marktsegment, das TSN-Netzwerke abdecken können. Eine Implementierungsmethode ist hierbei die Verwendung von Software-Stacks in Kombination mit einem Safety-Stack nach dem „Black-Channel“-Prinzip. Diese spezielle Applikation würde allerdings den Rahmen dieses Whitepapers sprengen und deshalb wird hierauf nicht weiter eingegangen.

Neue Entwicklung oder Migration eines existierenden Produktes?

Wenn feststeht, welche Art von Netzwerkteilnehmer entwickelt werden soll, geht es darum, ob ein vorhandenes Produkt mit TSN-Funktionen ausgestattet wird oder ob eine Komponente von Grund auf neu zu entwickeln ist. Für ein neues Produkt muss unter Berücksichtigung der Marktanforderungen ein Pflichtenheft erstellt werden. Hierin wird festgehalten, welche Anforderungen die neuen TSN-kompatiblen Komponenten erfüllen sollen, welche Funktionen und Optionen sie bieten sollen und welche Investitionen hierfür getätigt werden müssen. Diese Aspekte sind essenziell für die geplante Performance, einfache Implementierung und bestmögliche Time-to-Market.

Die Weiterentwicklung bereits vorhandener Produkte kann eventuell die Time-to-Market und die erforderlichen Investitionen reduzieren. Allerdings verlangt sie unter Umständen Kompromisse, die das Potenzial von TSN nicht voll ausschöpfen.

Um mehr Flexibilität bei der Entwicklung zu gewinnen, lohnt sich eine genauere Betrachtung des notwendigen Performance-Niveaus. So lässt sich das richtige Gleichgewicht von Produktleistung, Entwicklungsinvestition und Markteinführungszeit ermitteln. Eine Möglichkeit besteht darin, mit einem generell softwarebasierten Ansatz zu arbeiten, der ein schnelles Upgrade vorhandener Komponenten ermöglicht. Dies ist ein wichtiges Instrument, das der Verbreitung dieser innovativen Technologie Vorschub leistet, auch wenn das Produkt nicht die theoretisch mögliche Performance erreicht.

Am oberen Ende des Spektrums steht der generell hardwarebasierte Ansatz, der zwar zusätzlichen Entwicklungsaufwand bedeutet, aber ohne Performance-Kompromisse auskommt, wie sie bei der Softwareentwicklung zum Teil in Kauf genommen werden.

Und nicht zuletzt sind die Bandbreite und die Wärmeableitung wichtige Aspekte bei der Festlegung der Kommunikationsgeschwindigkeit. Obgleich sich für die Bitübertragungsschicht (Physical Layer) aus Performance-Gründen die Gigabit-Bandbreite anbietet, dürfen auch thermische Aspekte nicht außer Acht gelassen werden, die bei kleineren Komponenten oder solchen mit erweiterten Schutzklassen relevant sein können.

Wenn all diese Entscheidungen getroffen sind, kommt es auf den Zugang zu einer geeigneten Entwicklungsmethode an, egal ob software- oder hardwarebasiert. In diesem Zusammenhang ist die Auswahl einer Netzwerktechnologie, die ein umfassendes offenes Entwicklungssystem bietet, von entscheidender Bedeutung.

Die folgenden Abschnitte beschreiben, welche Lösungen und Funktionen die Entwicklungssysteme für TSN-kompatible Produkte bieten.

Softwarelösungen

Ein Software-Protokoll-Stack oder „Stack“ ist eine Auswahl von unabhängigen Softwaremodulen, die gemeinsam die Ausführung einer Applikation unterstützen. Er kann im Hinblick auf die konkreten Anforderungen eines Produktes konfiguriert werden. Im Falle von TSN muss er die IEEE 802.1-Normen unterstützen. Softwarelösungen sind in der Regel insofern „genügsam“, als dass sie auf kostengünstigen CPU-Plattformen laufen. Dabei handelt es sich vielfach um Mikroprozessoren oder Mikrocontroller.

Im Allgemeinen sind Software-Stacks mit einer Vielzahl von Echtzeit-Betriebssystemen kompatibel, wie beispielsweise RTLinux, VXworks® oder µITRON. Dennoch muss der Komponentenhersteller die Spezifikation des Software-Stacks vorab auf entsprechende Kompatibilität prüfen.

TSN-Stacks sind meist Bestandteil eines Software Development Kits (SDK). Hierbei handelt es sich um eine Auswahl von Softwareentwicklungswerkzeugen – oft in Form eines einzelnen installierbaren Pakets – für die Entwicklung der benötigten Lösungen.

Softwaremethoden stellen vermutlich die schnellste Möglichkeit dar, um vorhandene Produkte mit TSN-Funktionen auszustatten, weil sie beim Komponentenhersteller den internen Zeit- und

Kostenaufwand für die Entwicklung reduzieren. Außerdem sind sie in der Regel portabel, sodass sie mit minimalen Änderungen wiederverwendet werden können. Sie bieten sich daher als vielseitige Lösung für Unternehmen an, denen es um die schnelle Einführung von TSN geht.

Hardwarelösungen

Um das Potenzial von TSN in vollem Umfang auszuschöpfen, lohnt es sich, über eine hardwarebasierte Lösung nachzudenken.

Diese Strategie mag höhere Investitionen und eine längere Entwicklungszeit erfordern, doch verspricht sie ein besonders wettbewerbsfähiges Produkt und eine längere Nutzungsdauer. Komponentenhersteller können die richtige Plattform für ihre Bedürfnisse aus verschiedenen Lösungen auswählen.

ASICs

Anwendungsspezifische integrierte Schaltungen (Application-Specific Integrated Circuits, ASICs) sind integrierte Schaltkreise (ICs) aus „fest verdrahteten“ Logikbausteinen. Diese gibt es in zwei Bauformen. Die eine kann eine Netzwerkschnittstelle mit einem Switch und gegebenenfalls einer oder mehreren Bitübertragungsschichten (Physical Layer) umfassen. Die andere Bauform hat zusätzlich eine CPU.

Idealerweise sollten zwei Netzwerk-Ports zur Verfügung stehen, um „Daisy-Chain“- oder Linientopologien ohne zusätzlichen Switch realisieren zu können. Dies hängt jedoch von der verwendeten Plattform ab.

ASICs unterstützen die Applikation, für die sie hergestellt wurden, sehr effizient, können aber nicht verändert werden – im Gegensatz zu Field Programmable Gate Arrays (FPGAs), auf die wir später noch eingehen werden.

Da ASICs auf eine bestimmte Funktion ausgerichtet sind, bestimmt diese das Design des Chips. So sind ASICs zwar applikationsgebunden, erreichen aber Höchstleistungen in puncto Geschwindigkeit und Energieeffizienz. In Applikationen, bei denen sich die Systemfunktionen über die gesamte Nutzungsdauer des Produktes nicht ändern, können sich ASICs als gute Kombination von hoher Leistung und geringen Kosten anbieten.

Außerdem sind dedizierte ASICs schnell zu implementieren, da keine Programmierung erforderlich ist. Hiervon profitiert die Time-to-Market. Außerdem können sie sehr kompakt sein, was sie für kleinere Komponenten interessant macht. Die Kostenvorteile von ASICs kommen bei kompakten, kostengünstigen Produkten, die in sehr großen Stückzahlen produziert werden, zum Tragen.

Built-in-/Embedded-Module

Embedded-Module-Lösungen oder Built-in-Module umfassen ein breites Spektrum an Komponenten, die in der Regel einen Prozessorkern (wie einen Mikrocontroller oder einen Mikroprozessor) für wichtige Operationen und eine Netzwerkschnittstelle für den Datenaustausch kombinieren. Diese beiden Elemente können dem Produkt – und der daraus resultierenden Applikation – zu hoher Leistung verhelfen, da die Funktionen zwischen ihnen aufgeteilt werden können. Darüber hinaus können die Module zusätzliche Elemente enthalten, die den Verwendungszweck unterstützen.

Dank dieser Eigenschaften profitieren Entwickler, die sich für Built-in- oder Embedded-Komponenten entscheiden, von einer einfach zu integrierenden Lösung sowie einem flexiblen Framework, das den Austausch der Netzwerkschnittstelle für spezielle Applikationen erlaubt.

Je nach Aufbau des Embedded-Moduls können die Komponentenhersteller Systeme mit unterschiedlichem Komplexitätsgrad anbieten, von relativ einfachen Lösungen mit einem einzigen Mikrocontroller-Chip bis hin zu komplexen Modulen mit mehreren Elementen. So können Entwickler die Lösung auswählen, die ihren Bedürfnissen und ihrem Verwendungszweck am meisten zusagt. Darüber



hinaus lassen sich die Module eventuell als Zusatz- oder Erweiterungsplatinen einbauen, um vorhandene Produkte mit TSN-Funktionen auszustatten.

Zudem sind diese Lösungen im Allgemeinen kompakt und wirtschaftlich. Entwickler können so die Time-to-Market verkürzen und die Produktionskosten niedrig halten. Trotzdem eignen sie sich für die meisten Applikationen, auch wenn wenig Platz vorhanden ist.

FPGA/IP-Core

Field Programmable Gate Arrays (FPGAs) sind integrierte Schaltkreise, deren Logik mithilfe einer Hardwarebeschreibungssprache (Hardware Description Language, HDL) spezifiziert werden kann, typischerweise mit VHDL oder Verilog. Diese Lösungen basieren auf programmierbaren (und rekonfigurierbaren) Schaltungsstrukturen, die verschiedene konfigurierbare Logikblöcke (Configurable Logic Blocks, CLBs) miteinander verbinden, die aus logischen Grundeinheiten, den so genannten „Slices“, bestehen. Deren interne Elemente sind typischerweise Lookup-Tabellen (LUTs), Flipflops (FFs), verschiedene Arten von Multiplexern und eine Carry Logic zur Implementierung komplexer logischer Funktionen.

Über die CLBs der FPGAs können Entwickler praktisch jede logische Funktionalität implementieren. Diese Komponenten können daher entsprechend den Anforderungen der Zielapplikation programmiert werden und als Grundlage für die Entwicklung komplexer logischer Strukturen dienen. Sie können zum Beispiel die Rolle von Mikroprozessoren, Netzwerkschnittstellen oder auch einer Kombination aus beidem übernehmen.

FPGAs sind nicht nur im Feld programmierbar, sondern können auch umkonfiguriert werden. Für die Anbieter bedeutet das ein hohes Maß an Flexibilität, da die Funktionen während der Nutzungsdauer geändert werden können. Darüber hinaus lassen sich bei FPGAs Teilbereiche neu programmieren, während andere Bereiche unverändert bleiben.

Aufgrund ihrer Anpassungsfähigkeit und Programmierbarkeit sind FPGAs die Lösung der Wahl für Applikationen, bei denen die Konfiguration und die Funktionen während der Nutzungsdauer der Automatisierungskomponente aktualisiert werden müssen. In gleicher Weise können FPGAs das Prototyping und Validierungsaktivitäten unterstützen.

Damit FPGAs die für die Applikation (in diesem Fall TSN) erforderlichen Funktionen bereitstellen können, werden diese Funktionen in der Regel durch einen Intellectual Property Core (IP Core) definiert, der die Elemente des FPGA entsprechend konfiguriert. Daher ist es oft möglich, einen Standard-FPGA auszuwählen und mit dem IP Core eines Drittanbieters zu programmieren. Hieraus ergibt sich ein hohes Maß an Flexibilität beim Design.

FPGAs sind aufgrund ihrer vollständigen Anpassbarkeit extrem leistungsfähig und flexibel. Durch ihre höheren Kosten sind sie jedoch meist bei in kleinen Stückzahlen hergestellten Produkten des oberen Marktsegments zu finden, wo ihre überragende Funktionalität zum Tragen kommt. Die Lösung braucht normalerweise mehr Platz auf der Leiterplatte und ist vergleichsweise teuer in der Herstellung. Man findet sie daher eher bei speziellen Automatisierungskomponenten für High-End-Applikationen. Die hohe Funktionalität kann mit einer erhöhten Leistungsaufnahme einhergehen, ein Aspekt, der bedacht werden muss, wenn die Wärmeableitung ein Thema ist.

Besondere Applikationen

Entwicklern stehen auch TSN-kompatible PC-Karten zur Verfügung, um in Industrial-Ethernet-Netzwerken die Kernfunktionalität auf Industrie-/Standard-PCs und ähnlichen Geräten zu implementieren. So wird die Netzwerkanbindung von PCs ohne jeglichen Entwicklungsaufwand möglich. Dies bietet sich vor allem bei Edge-Computing-Applikationen an, bei denen ein PC/IPC als Gateway zu übergeordneten IT-Systemen dient und somit eine Komponente eines konvergenten OT/IT-Systems darstellt.



	Softwarebasiert	Hardwarebasiert		
	Software-Stack/SDK	ASIC/LSI	Built-in/ Embedded-Module	FPGA/IP Core
Performance	Geeignet für allgemeine Applikationen	Geeignet für allgemeine und anspruchsvolle Applikationen		
Typische Applikation	Aktualisierung von vorhandenen Entwicklungen	Neue Produkte / Neugestaltung vorhandener Produkte		
Flexibilität	Portierbar	Festgelegte Funktion		Erlaubt Aktualisierungen
Volumen	Niedrig, mittel, hoch			Niedrig, mittel
Time-to-Market	Schnelle Markteinführung	Teil einer geplanten Entwicklungs-Roadmap		

Tabelle 1 - Die wichtigsten Eigenschaften im Überblick

Kapitel 5 – Die Bedeutung von Konformitätsprüfungen

Um die Funktionalität von TSN-fähigen Komponenten zu validieren, müssen die Entwickler gründliche Konformitätstests durchführen. Hierdurch wird bestätigt, dass das Produkt alle Anforderungen eines bestimmten Netzwerkstandards erfüllt und korrekt implementiert ist.

Im Rahmen der Konformitätsprüfung werden eventuelle Performance-Probleme erkannt, die eine korrekte Zusammenarbeit mit kompatiblen Produkten anderer Hersteller verhindern oder sie inkompatibel mit den relevanten Kommunikationsspezifikationen machen würden. Diese Tests geben dem Endanwender die Gewissheit, dass die gewählte Automatisierungskomponente mit allen anderen geprüften und im selben Netz verwendeten Komponenten vollständig interoperabel ist.

Externe Zertifizierung

Konformitäts- und Interoperabilitätstests können vom Komponentenhersteller selbst und/oder durch unabhängige Organisationen durchgeführt werden. Da Endanwender in der Regel eine unabhängige Zertifizierung bevorzugen, dient die Prüfung im eigenen Hause normalerweise nur zur Bestätigung, dass ein Produkt für die externe Prüfung bereit ist.

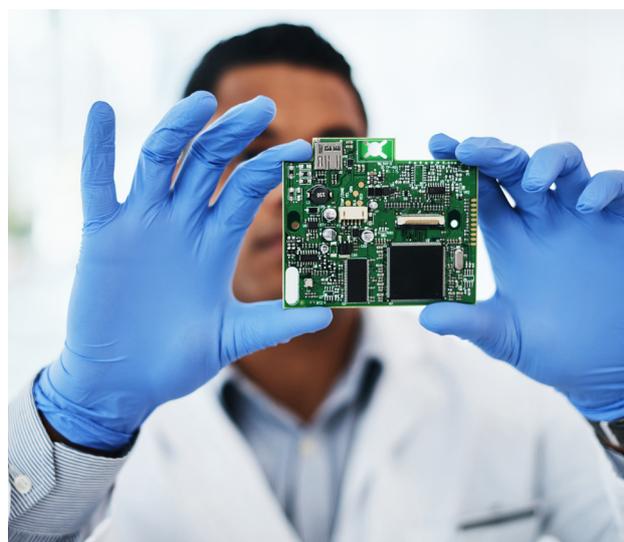
Diese externe Prüfung gewährleistet eine neutrale und unvoreingenommene Bewertung durch eine unabhängige Stelle. Sie schafft hierdurch beim Endanwender ein hohes Maß an Vertrauen in die Produkte des Automatisierungsanbieters. Durch die unabhängige Prüfung erhält der Anbieter außerdem eine Zweitmeinung zu den Netzwerkfähigkeiten seines Produktes, bei der möglicherweise zuvor übersehene Defizite entdeckt werden.

Abgesehen von diesen Vorteilen verfügen die Akkreditierungsorganisationen in der Regel über hochmodern ausgestattete, spezialisierte Prüfeinrichtungen. So ist es möglich, komplexe Prüfungen mit einer Vielzahl von Geräten durchzuführen, die dem Komponentenhersteller im Normalfall nicht zur Verfügung stehen. Auch kann dieses Equipment häufig für Zwischenprüfungen genutzt werden. So muss der Anbieter nicht selbst in diese Ausstattung investieren, während er sein Produkt auf die Endprüfungen vorbereitet.

Nicht zuletzt kann sich der Komponentenhersteller bei externer Konformitätsprüfung auf seine eigentliche Entwicklungsarbeit konzentrieren, während die Produktprüfung spezialisierten Prüfengeuren überlassen wird. Dieser Personenkreis ist hoch qualifiziert und verfügt über umfassende Erfahrung mit Konformitäts- und Interoperabilitätstests. Im eigenen Haus ist diese Fachkompetenz für den Anbieter oft nur schwer, zeitaufwändig und/oder zu hohen Kosten bereitzustellen.

Prüfeinrichtungen in aller Welt

Bei vielen Automatisierungsanbietern handelt es sich um internationale Unternehmen, die an Standorten in aller Welt Entwicklungseinrichtungen unterhalten. Produkte von dort an einen zentralen Ort zur Prüfung zu schicken, kann aufgrund von unterschiedlichen Sprachen, Zeitzonen und anderen Herausforderungen unpraktisch sein. Der Zugang zu einem weltumspannenden Netzwerk von Prüfeinrichtungen vereinfacht die Zertifizierung und kann die Projekte beschleunigen. Wichtig ist dabei, dass diese internationalen Prüfstandorte mit standardisierten Prüfverfahren arbeiten, damit das Resultat stets eindeutig ist – unabhängig davon, wo die Prüfung stattgefunden hat.



Kapitel 6 – Industrial-Ethernet-Protokolle, die TSN unterstützen

Um schnell innovative TSN-fähige Produkte für Applikationen der industriellen Automatisierung anbieten zu können und sich diesen Markt zu erschließen, gilt es bewährte Netzwerktechnologien zu nutzen, beispielsweise CC-Link IE TSN. Hierbei handelt es sich um das erste offene Industrial-Ethernet-Netzwerk, das TSN-Funktionen, wie sie in den Normen IEEE 802.1 AS und IEEE 802.1 Qbv definiert werden, mit der Gbit-Bandbreite kombiniert.

Produktentwickler, die sich für diese Lösung entscheiden, profitieren von einem umfassenden Entwicklungsökosystem für die Erstellung von Master-Komponenten, Local und Remote Clients. Mehrere Mitgliedsunternehmen der CC-Link Partner Association (CLPA) bieten bereits Möglichkeiten an, CC-Link IE TSN über Software und Hardware zu implementieren, und ständig kommen weitere hinzu. Die Komponentenanbieter können für CC-Link IE TSN also bereits auf ein umfassendes Entwicklungsökosystem zurückgreifen.

Darüber hinaus unterstützt die CLPA Anbieter, indem sie die Konformität ihrer Produkte prüft und die Kompatibilität mit den CC-Link IE TSN-Spezifikationen sicherstellt. Über ihre spezialisierten Zertifizierungseinrichtungen in aller Welt bietet die CLPA Entwicklungsunterstützung, Vorzertifizierungstests sowie Konformitätsprüfungen an.

Die Durchführung der CC-Link IE TSN-Konformitätszertifizierung beginnt mit den Vorgaben für den Konformitätstest, die dem Anbieter auf der CLPA-Website zur Verfügung stehen. Auf dieser Grundlage kann er inhouse Vorprüfungen durchführen. Anschließend meldet er sein Produkt zur Konformitätsprüfung durch die CLPA an und sendet das Produkt mit dem internen Prüfbericht an die ausgewählte Prüfeinrichtung.

Nach erfolgreichem Abschluss der Konformitätsprüfung erhält das Unternehmen einen Bericht zur Bestätigung der Konformität mit der CC-Link IE TSN-Netzwerktechnologie und ein Zertifikat. Ein weiterer Vorteil ist, dass das Produkt anschließend in den Online-Katalog der CLPA aufgenommen werden kann und damit für Kunden in aller Welt sichtbar sein wird. Gemeinsame Verkaufsförderungsmaßnahmen mit der CLPA sind ebenfalls möglich.

Kapitel 7 – Schlussfolgerungen

TSN ist eine Schlüsseltechnologie für die digitale Transformation der Fertigung und bietet vier wesentliche Vorteile für Endanwender und Automatisierer:

- Einfachere Netzwerk-/Maschinenarchitekturen
- Größere Prozesstransparenz und besseres Management
- Höhere Produktivität
- Bessere Integration von OT- und IT-Systemen

Für eine zukunftssichere industrielle Kommunikation und das nächste Performance-Level müssen Automatisierungsanbieter jetzt aktiv werden und TSN-kompatible Produkte entwickeln oder vorhandene Komponenten mit TSN-Funktionen aufrüsten. Auf diese Weise unterstützen sie ihre Kunden beim Aufbau der Fabriken der Zukunft und verbessern gleichzeitig die eigene Wettbewerbsfähigkeit in diesem schnell wachsenden Markt.

Weitere Informationen und wirtschaftliche Argumente für TSN finden Sie in „TSN: Zeit zum Handeln“, unter <https://eu.cc-link.org/de/campaign/2020/tsnwp>



Über den Autor



John Browett hatte in seinen ersten 18 Berufsjahren Positionen in der Konstruktion und im Marketing der Automatisierungssparte von Mitsubishi Electric in Japan, den USA und Deutschland inne. Seit elf Jahren arbeitet er für die CC-Link Partner Association (CLPA) in Europa und ist deren General Manager.

2018 leitete er die europäische Markteinführung von CC-Link IE TSN, dem ersten offenen industriellen Ethernet, das die Gigabit-Bandbreite mit Time-Sensitive Networking (TSN) kombiniert. Er engagiert sich für die Zusammenarbeit mit führenden Automatisierungsanbietern in Europa und aller Welt, um die von Industrie 4.0 geforderten konvergenten Netzwerkarchitekturen bereitzustellen und so die Voraussetzungen für die Connected Industries der Zukunft zu schaffen.

Er hat ein BEng in Elektronik an der Lancaster University im Vereinigten Königreich erworben und während dieses Studiums an der University of California in Los Angeles studiert. Er hat auch ein postgraduelles Management-Diplom an der University of Cambridge abgeschlossen. Er ist ein Chartered Marketer (CMktr, Zugelassener Marketingfachmann) und Mitglied (MCIM, Mitglied des beauftragten Institutes für Marketing) des Chartered Institute of Marketing (CIM, Beauftragtes Institute für Marketing).

Kontaktdaten der CLPA

CLPA Europe:



John Browett

john.browett@eu.cc-link.org

www.linkedin.com/in/johnbrowett/



OPEN AUTOMATION NETWORKS

Bringen Sie TSN-Funktionalität in Ihr Produktportfolio
Leitfaden für Ihre TSN-Produktentwicklung

Virtueller Messestand: <http://cc-link-ve.eu/>

Website der CLPA Europe: <https://eu.cc-link.org/en/>

Website der CLPA North America: <http://am.cc-link.org/en/>

Die CLPA in den sozialen Medien:



LinkedIn (Europa): www.linkedin.com/company/cc-link-partner-association-europe

LinkedIn (Nordamerika): www.linkedin.com/company/clpa-americas



https://twitter.com/CC_LinkNews

https://twitter.com/CC_LinkNewsDE

https://twitter.com/CC_LinkNewsIT

https://twitter.com/CC_LinkNoticias



<https://www.xing.com/companies/cc-linkpartnerassociationeurope>



www.youtube.com/c/CCLinkPartnerAssociation



OPEN AUTOMATION NETWORKS

Bringen Sie TSN-Funktionalität in Ihr Produktportfolio
Leitfaden für Ihre TSN-Produktentwicklung

Quellenhinweise

- [1] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. Time-Sensitive Networking Task Group.
Verfügbar unter: <https://1.ieee802.org/>
- [2] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 802.AS - Timing and Synchronization.
Verfügbar unter: <https://www.ieee802.org/1/pages/802.1as.html>
- [3] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 802.1Qbv - Enhancements for Scheduled Traffic.
Verfügbar unter: <http://www.ieee802.org/1/pages/802.1bv.html>

Bibliographie

Groß, F., Steinbach, T., Korf, F., Schmidt, T. C., & Schwarz, B. (2014). A hardware/software co-design approach for ethernet controllers to support time-triggered traffic in the upcoming IEEE TSN standards. In: 2014 IEEE Fourth International Conference on Consumer Electronics Berlin. ICCE-Berlin, 9-13.

Insam, E. (2003). KAPITEL 1 – Networking Embedded Systems. In: Edward Insam (Hrsg.). TCP/IP Embedded Internet Applications. Newnes, 5-27, ISBN 9780750657358.

Kuon, I., & Rose, J. (2007). Measuring the gap between FPGAs and ASICs. IEEE Transactions on computer-aided design of integrated circuits and systems, 26(2), 203-215.

Monmasson, E., & Cirstea, M. N. (2007). FPGA design methodology for industrial control systems – A review. IEEE transactions on industrial electronics, 54(4), 1824-1842.

Müller, K., Steinbach, T., Korf, F., und Schmidt, T. C. (2011). A real-time Ethernet prototype platform for automotive applications. 2011 IEEE International Conference on Consumer Electronics -Berlin (ICCE-Berlin).

Rittman, D. (2004). Structured ASIC design: A new design paradigm beyond ASIC, FPGA and SoC. [Online]
Verfügbar unter: [http://www.tayden.com/publications/Structured %20ASIC%20Design.pdf](http://www.tayden.com/publications/Structured%20ASIC%20Design.pdf).



OPEN AUTOMATION NETWORKS

CLPA Europe, Postfach 10 12 17, 40832 Ratingen, Deutschland
Tel: 49-2102-486-1750 Fax: 49-2102-532-9740 E-mail: partners@eu.cc-link.org

CLPA Americas, 500 Corporate Woods Parkway - Vernon Hills, IL 60061, USA
Tel: 847-478-2647 Fax: 847-876-6611 E-mail: Info@CCLinkAmerica.org