Der Aufstieg von Single-Pair Ethernet im IIoT

Ethernet war schon immer das Backbone-Netzwerk der Wahl, um die operative Technologie mit der Informationstechnologie zu verbinden. Besonders Single-Pair Ethernet hat Vorteile und Vorzüge.

Traditionell sind Netzwerkarchitekturen, die im industriellen Bereich eingesetzt werden, sehr vielfältig. Mit seinen etablierten Wurzeln in der Unternehmens-IT war Ethernet schon immer das Backbone-Netzwerk der Wahl, um die operative Technologie (OT) mit der Informationstechnologie (IT) zu verbinden.

Seit dem Aufkommen des Industrial IoT (IIoT) war die Verbindung aller Produktionsanlagen, wie Sensoren, Aktoren, Roboter und unzählige andere Geräte, jedoch in der Regel mit proprietären, herstellerspezifischen Netzwerken verbunden. Allerdings wird sich diese überholte Herangehensweise mit der Verfügbarkeit von Single-Pair Ethernet (SPE) ändern.

TTI, Inc.
www.tti.com

Herausforderungen der Konnektivität im industriellen Bereich

Von der Werkshalle bis zur obersten Etage zentralisiert die IIoT-Plattform Echtzeitdaten von Sensoren, Aktoren, Kameras und anderen Endpoints, um Fertigungsunternehmen einen verwertbaren Einblick in die Leistung ihrer Anlagen zu geben. Diese Informationen ermöglichen es ihnen, fundierte Entscheidungen in Bezug auf Steigerung der Effizienz, Optimierung der Produktivität und Verbesserung des Betriebs zu treffen.

Traditionell verwenden die Verbindungen zu diesen edge-basierten Geräten Feldbusprotokolle für die industrielle Automatisierung und sind auf speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) und Protokollkonverter oder Gateways angewiesen, um eine Verbindung zum Ethernet-Backbone herzustellen. Standards wie Profibus DP, DeviceNet und Modbus RTU sind Beispiele für die gängigsten Technologien. Aufgrund des stark fragmentierten Feldbussektors sind viele Vernetzungsmethoden proprietär, wodurch die Interoperabilität mit anderen Implementierungen zu einem erheblichen Problem wird. Außerdem sind sie oft sehr komplex und erfordern Fachwissen und qualifizierte Arbeitskräfte für Installation, Inbetriebnahme und Wartung.

Damit die Vorteile des IIoT genutzt werden können, ist ein offenes Protokoll nach Industriestandards erforderlich, das die Interoperabilität zwischen verschiedenen Implementierungen gewährleistet. Hier wäre Ethernet die naheliegende Wahl, dessen Geschwindigkeiten im Laufe der Jahre auf 1 Gbit/s gestiegen sind. Aber Ethernet fehlt ein wichtiger Leistungsparameter, und zwar der Determinismus. Deterministische Netzwerke tauschen Daten auf eine präzise Art und Weise mit einer definierten Latenzzeit aus.

Mehrere industrielle Feldbusprotokolle haben sich im Laufe der Jahre zu Ethernet-TCP/IP-Versionen weiterentwickelt. So entstand z.B. Profinet aus Profibus, EtherNet/IP aus DeviceNet und Modbus TCP/IP aus Modbus. Diese Ethernet-Derivate, zu denen auch solche wie EtherCAT gehören, haben sich in den letzten Jahren von 10BASE-T (10 Mbits/s) bis hin zu 1000BASE-T1 (1 Gbits/s) entwickelt. Sie bieten alle Vorteile des kommerziellen Ethernets, jedoch mit proprietären Modifikationen, die eine geringere Latenz und eben Determinismus bieten.

Obwohl die meisten Feldbussysteme und Realtime-Ethernet-Protokolle von der IEC in den Normen 61784/61158 standardisiert wurden, können Automatisierungsgeräte, die unterschiedliche Protokolle unterstützen, nicht miteinander arbeiten. Sie können oft nicht in einer gemeinsamen Netzwerkinfrastruktur koexistieren. Darüber hinaus gestaltet sich die Datenanalyse durch unterschiedliche Geräteinformationsmodelle arbeits- und zeitaufwändig.

Geändert hat sich das mit dem Ethernet Time Sensitive Networking (TSN), denn damit ist das Ethernet von vornherein deterministisch. TSN bezieht sich auf eine Reihe von IEEE-802-Standards, die Determinismus und Durchsatz in Ethernet-Netzwerken garantieren und damit Echtzeit-Ethernet branchenweit standardisieren. Allerdings endeten alle diese Ethernet-Derivate bisher an der letzten intelligenten Komponente der Maschine, weil Kabel und Steckverbinder zu groß waren, um Verbindungen zum kleinsten Sensor oder anderen Endgeräten zu realisieren.

Im Jahr 2016 initiierte die IEEE 802.3 Ethernet Working Group einen Vorstoß zur Schaffung eines einheitlichen Netzwerks. Dies sollte mit Single-Pair-Verkabelung eine Alternative zur fragmentierten Feldbuslandschaft bieten.

Die Automobilindustrie war eine der ersten Branchen, die die Vorteile des Einsatzes von Ethernet erkannte, denn somit konnten die in modernen Autos benötigten Datenraten erreicht werden. Wie in der Industrie wird auch im Automobilbereich eine Form der Feldbustechnologie, nämlich der CAN-Bus, für die Kommunikation zwischen dem elektro-

nischen Steuergerät (ECU) und den Sensoren und Aktoren eingesetzt. Die niedrige Datenrate von CAN (1 Mbit/s) oder sogar das schnellere CAN-FD (5 Mbit/s) reichten jedoch nicht mehr aus, um die vielen Kameras, Radare und LiDAR-Entfernungssensoren zu unterstützen, die in fortschrittlichen Fahrerassistenzsystemen (ADAS) eingesetzt werden.

Ethernet kann Datenraten von bis zu 400 Gbit/s liefern. Aber im Vergleich zu einem einpaarigen CAN-Bus würde die traditionelle 2- oder 4-paarige Ethernet-Verkabelung die Gesamtkosten und das Gewicht des Fahrzeugs erhöhen. Gemeinsam begannen Automobilhersteller mit der Entwicklung einer Reihe von Ethernet-Standards, die Datenraten im Bereich von 1 Gbit/s für Kurzstrecken-Kommunikationsverbindungen unter Verwendung von Single-Pair-Verkabelung bewältigen konnten. Das war der Beginn von xBASE-T1 SPE.

Konvergenz von der Cloud zur Feldebene

Für IIoT muss die industrielle Systemintegration herstellerunabhängig werden und eine durchgängige Interoperabilität vom Sensor bis zur Cloud ermöglichen. Dabei unterstützt die standardisierte Kommunikation die digitale Transformation über alle Branchen hinweg, auch in der Fabrik- und Prozessautomatisierung. Der lückenlose Zugriff auf Produktionsdaten und Prozessbedingungen erleichtert die Verfügbarkeit und Optimierung von Produktionsprozessen.

Kommunikationsstandards wie die Open Platform Communications Unified Architecture (OPC UA) standardisieren Gerätemodelle für die einheitliche Konfiguration und Diagnose von Geräten unterschiedlicher Hersteller im Netzwerk.

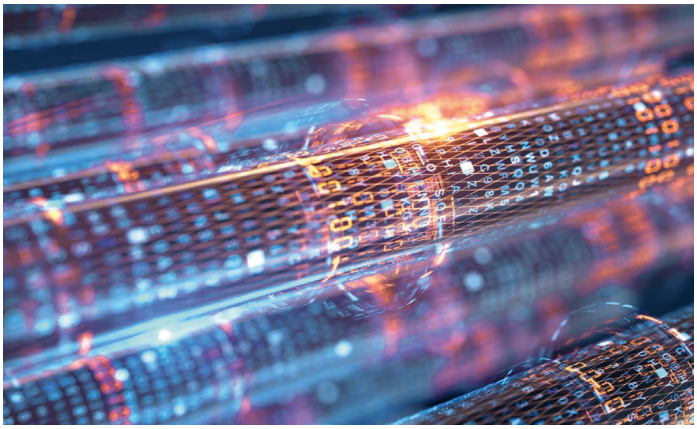
Besonders hervorzuheben sind die Ethernet-Technologien Advanced Physical Layer (APL) und Time-Sensitive Networking (TSN). APL ermöglicht eine nahtlose Ethernet-Konnektivität bis hinunter in die Feldebene und bietet Strom und Kommunikation über zwei Drähte mit langen Kabellängen und Eigensicherheit. Mit TSN wird Ethernet standardmäßig deterministisch, wodurch die Koexistenz von IT- und OT-Protokollen in einer gemeinsamen Netzwerkinfrastruktur möglich wird.

Die ursprüngliche 10BASE-T-Implementierung verwendet zwei Adern für die Übertragung der Daten und zwei weitere für den Empfang. Mit 10 Mbit/s ist dieser Standard viel schneller als das ursprüngliche Koaxialkabel für IT-Protokolle und verwendet CAT 5 oder höhere Kabel mit RJ-45-Steckern. Sie nutzt jedoch eine physikalische Sterntopologie mit einem logischen Bus und nicht die Bustopologie der Koax-Lösung. Diese Sterntopologie erfordert einen zentralen Hub oder Ethernet-Switch, der den Datenverkehr zwischen den Geräten abwickelt, die an seinen Ports angeschlossen sind.

Unter Ausnutzung dieser bestehenden IEEE 802.3u-Standardregeln überträgt 100Base-T, auch bekannt als Fast Ethernet, Daten mit 100 Mbit/s und erfordert CAT-5-UTP-Kabel. Die schnellste Form von Ethernet ist Gigabit-Ethernet (1000BASE-T) mit Datenraten bis 1 Gbit/s. Es erfordert die Verwendung von CAT 5 oder höherwertigen Kabeln und nutzt alle vier Paare.

Die meisten der heutigen industriellen Automatisierungsprofile basieren auf der 4-Paar-Ethernet-Spezifikation, wodurch die Kabelabmessungen und der zugehörige Steckverbinder sehr groß sind. Die Größe war für kommerzielle Anwendungen nie ein Problem, allerdings schränkte sie den Einsatz in industriellen Anwendungen ein. Von den stärkeren CAT-5e/6-Ethernet-Kabeln konnten beispielsweise weniger nebeneinander in einem Kabelkanal verlegt werden. Außerdem dauert es länger, sie zu verlegen und zu reparieren, was die Einsatz- und Inbetriebnahmezeiten verlängert. Neben der physischen Kabelgröße waren auch das Gewicht und der maximale Biegeradius limitierende Faktoren.

Der Erfolg von xBASE-T1 SPE in Automobilanwendungen führt zu



potenziellen Vorteilen der Weiterentwicklung des IEEE 808.3-Standards, damit IIoT auf Geräte der Feldebene ausgeweitet werden kann. Die SPE-Standards IEEE 802.3bw (100Base-T1) und IEEE 802.3bp (1000Base-T1) für den Einsatz in Fahrzeugen ermöglichen eine Ende-zu-Ende-Kommunikation mit ungeschirmten Twisted-Pair-Kabeln (UTP) für Entfernungen bis zu 15 m.

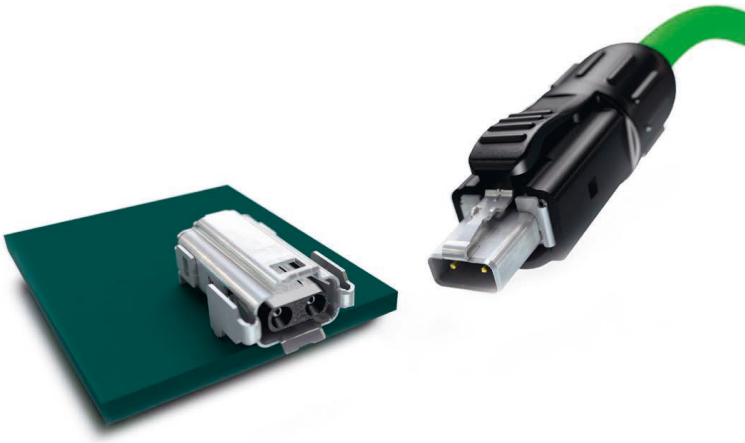
Im Vergleich zu CAT 6 Ethernet IEEE 802.3ab, das mit 125 MHz arbeitet und alle vier Paare verwendet, muss der Standard IEEE 802.3bp mit 600 MHz arbeiten, um die gleiche Datenübertragungsrate von 1 GBit/s (1000Base-T1) zu erreichen. Daher ist eine Abschirmung für Übertragungslängen von 15 bis maximal 40 m erforderlich.

Für industrielle Netzwerkanwendungen ist die Variante IEEE 802.3cg von besonderem Interesse. Dieser Standard arbeitet mit 20 MHz, um Übertragungsraten von bis zu 10 Mbit/s über eine maximale Entfernung von 1000 m auf geschirmten Twisted-Pair-Kabeln (STP) zu ermöglichen. Dadurch können fast alle Feldbusse ersetzt werden. Der neuere Standard IEEE 802.3ch ermöglicht Datenraten von bis zu 10 Gbit/s (4 GHz) über eine Distanz von 15-m-STP-Kabel und erfüllt damit die Anforderungen hochauflösender Sensoren und Videoübertragungen.

Fernspeisung

Zusätzlich zu den Änderungen der Datenraten ermöglicht die als Power-over-Ethernet (PoE) bekannte Technik, die durch den IEEE 802.at-Standard definiert ist, die Stromversorgung über das Ethernet-Kabel, über das auch die Datenübertragung erfolgt. PoE unterstützt die Abgabe von bis zu 25,5 W bei 48 V Gleichstrom und wird hauptsächlich in der Gebäudeautomatisierung und Kommunikationsinfrastruktur eingesetzt, um entfernte Geräte wie Überwachungskameras und drahtlose Zugangspunkte mit Strom zu versorgen. Die gleichzeitige Übertragung von Daten und Strom über „klassisches“ Industrial Ethernet erfordert zwei Kupferleitungspaare für Fast Ethernet (100 MB) und vier Paare für Gigabit Ethernet.

Wie PoE wurde auch die Fähigkeit, Geräte mit Strom zu versorgen,



speziell für den xBASE-T1 SPE-Markt entwickelt. Der Standard IEEE 802.3bu verwendet die Technik Power-over-Data Lines (PoDL). PoDL ermöglicht es, sowohl Daten als auch Strom über ein einziges Adernpaar bereitzustellen.

Diese Spezifikation umreißt zehn Klassen (0 bis 9) der Leistungsabgabefähigkeit von 0,5 bis 50 W am angeschlossenen Gerät. Jede Klasse bietet eine Reihe von Arbeitsspannungen und Maximalströmen, um die maximale Leistung zu liefern – bis zu 10 W bei 24 V und bis zu 50 W bei 48 V. Der neuere Standard IEEE 802.3cg fügt sechs weitere Klassen von PoDL-betriebenen Geräten hinzu (10 bis 15).

Für Datenübertragungsgeschwindigkeiten von 10 Mbit/s bis zu 100 Gbit/s wird typischerweise eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung (PtoP) verwendet. Alle diese Protokolle können mit PoDL für Fernspeiseanwendungen kombiniert werden.

IEEE 802.3cg definiert auch 10BASE-T1S als einen PHY, der auf zwei Arten eingesetzt werden kann – als PtoP-System mit einer Reichweite von mindestens 15 m und als Punkt-zu-Mehrpunkt-Kommunikation (PtoMP), auch Multi-Drop (MD)-Segment genannt. Bei dieser PtoMP-Topologie handelt es sich mehr oder weniger um ein „klassisches“ Bussystem mit mindestens 25 m Reichweite und bis zu acht Edge-Knoten. Leider unterstützt 10BASE-T1S noch nicht PoDL in PtoMP.

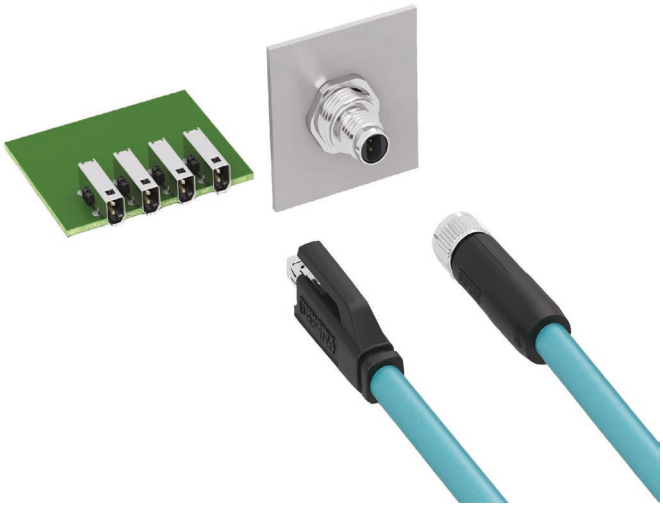
Der nächste Aspekt, den es zu berücksichtigen gilt, ist der Einsatz von SPE in gefährlichen industriellen Bereichen mit anspruchsvollen Betriebsumgebungen. Hier ist besondere Aufmerksamkeit, vor allem in Bezug auf die Interkonnektivität, erforderlich.

Einsatz von SPE

Die Betriebsumgebung eines jeden Fertigungsprozesses kann sehr unterschiedlich sein. Extreme Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen sind an der Tagesordnung. Außerdem sind Stoßbelastungen und Vibrationen von Motoren, Aktuatoren und anderen beweglichen Komponenten zu berücksichtigen. Alle wirken sich auf die Zuverlässigkeit des Gesamtbetriebs und der Anlagen selbst aus, wodurch die Konnektivität zwischen diesen Anlagen und den Prozesssteuerungsanlagen an Bedeutung gewinnt.

Einer der auffälligsten Unterschiede zwischen xBASE-T1 SPE und den 4-Paar-Ethernet-Standards ist das Fehlen des RJ-45-Anschlusses. Dieses Steckverbinderformat war nie für industrielle Anwendungen geeignet; selbst in Büroumgebungen bricht der Verriegelungsmechanismus häufig.

Da längere Übertragungsstrecken anfälliger für EMV sind, erfordert der Standard IEC 63171 für Verbindungstechnik einen geschirmten Aufbau, der auch in rauer Industrieumgebung zuverlässig funktioniert. Bei IIoT-Implementierungen, bei denen der Schutz gegen Eindringen von außen von größter Bedeutung ist, wie z. B. in Abfüllanlagen, haben zwei der sechs auf diesem Standard basierenden Anschlussmethoden die Schutzart IP67.



Von diesen beiden Optionen hat der IEC 63171-5-Standard für industrielle M8-/M12-Steckverbinder für IIoT-SPE-Implementierungen an Beliebtheit gewonnen. Das metrische Rundsteckersystem ist eine der zuverlässigsten, belastbarsten und robustesten Verbindungstechniken. Die Steckverbindergröße M12 ist bereits Standard für die Sensor/Aktor-Verkabelung oder Datenübertragung. Mit der Verlagerung zu SPE und der Nachfrage nach Miniaturisierung wird die Größe M8 (1/3 der Größe von M12) immer beliebter.

Entsprechend integriert sich das SPE-Steckerfläche in die M8-Ausführungen mit Schraub-, Rast- und Push-Pull-Verriegelung. Bei der Baugröße M12 sind Schraub- und Push-Pull-Verriegelung genormt. Ein weiterer Vorteil der Verwendung des etablierten M8/M12-Formats für SPE-Implementierungen ist die Sicherstellung der Marktakzeptanz. Außerdem reduziert es die notwendigen Investitionskosten, da viele Anbieter entsprechende Gehäuseausführungen auf Lager haben.

Die Umstellung von einem 4- oder 8-poligen Kabel auf ein 2-adriges stellt den nächsten Meilenstein in der Netzwerktechnologie dar und wird alle Märkte und Branchen beeinflussen. Im Vergleich zu einem vierpaarigen CAT 6-Kabel, bei dem AWG 23-Leiter verwendet werden, ist ein einpaariges Kabel bis zu 60% leichter. Weniger Adern machen die Kabel auch dünner, was einen engeren Biegeradius bei der Installation und eine höhere Kabeldichte im Rack ermöglicht.

Die Rolle von Industriekonsortien

SPE bietet viele quantifizierbare Vorteile für IIoT und industrielle Automatisierung. Der wesentliche Vorteil von SPE ist die durchgängige IP-basierte Kommunikation mit einem einheitlichen Protokollstandard bis in die Feldebene, wodurch sich der Parametrier-, Initialisierungs- und Programmieraufwand im Vergleich zu Feldbus-Implementierungen reduziert. Es verwendet eine miniaturisierte M8/M12-Schnittstelle mit dünner, leichter und kostengünstiger Verkabelung, die den rauen Umgebungsbedingungen

in der Fabrikhalle standhalten kann. Mehrere IEEE 802.3-Standards sind verfügbar, um Bandbreite, Leistung und Reichweite auszubalancieren, und weitere werden voraussichtlich bald folgen.

Dank SPE mit klassischem Industrial Ethernet werden bei neuen IIoT-Implementierungen zwischengeschaltete SPS sowie Protokollkonverter oder Gateways überflüssig, was die Komplexität verringert und Kosten senkt. SPE bietet auch einen relativ kostengünstigen Aufrüstungspfad, wenn alte kabelgebundene Sensoren und Aktoren in bestehenden Systemen ersetzt werden, um eine bessere Leistung und einen höheren Stromverbrauch zu erzielen – und das alles mit einem einpaarigen Kabel.

Mit den IEEE 802.3-Standards bauen die Single-Pair Ethernet System Alliance und das Industriekonsortium Single-Pair Ethernet Industrial Partner Network das SPE-Ökosystem aus und arbeiten mit ihren Mitgliedern an der Entwicklung IP-fähiger Endgeräte und IEC 63171-Verbindungstechnologien.

SPE kann einen Großteil der aktuell vorhandenen Feldbussysteme ersetzen, was Gewicht und Platz spart und die Installationszeit reduziert. In Zukunft wird das Industrial Ethernet in vielen IIoT-Fällen die Koexistenz von ein- und vierpaariger Verkabelung erleben – SPE, das sich mit dem PoDL-betriebenen Feldgerät verbindet, und klassisches Ethernet, das sich nahtlos mit dem Unternehmensrechenzentrum und dem Produktionsmanagementsystem verbindet. Über seine zahlreichen Sensor- und Steckverbinder-Lieferanten, darunter AVX, Molex, TE Connectivity, Amphenol und Phoenix Contact, will TTI seinen Kunden helfen, den SPE-Standard besser zu verstehen und die Technologie effektiver in ihre IIoT-Anwendungen zu implementieren. ◄