



Technische Einführung und Überblick

Juli 2005



EtherCAT — Ethernet Control Automation Technology

Vorgestellt wird EtherCAT, ein Ethernet-basiertes Feldbussystem. EtherCAT setzt neue Geschwindigkeits-Standards und ist dabei dank flexibler Topologie und einfacher Konfiguration wie ein Feldbus zu handhaben. Da EtherCAT zudem sehr kostengünstig implementiert werden kann, erlaubt das System den Feldbuseinsatz auch in Applikationen, die bislang auf Feldbusvernetzung verzichten mussten.

EtherCAT ist eine offene Technologie, die in der IEC genormt wird. Unterstützt wird sie von der EtherCAT Technology Group, einer internationalen Anwender- und Herstellervereinigung mit rund 200 Mitgliedsfirmen.

1. Einleitung

Feldbusse sind aus der Automatisierungstechnik nicht mehr wegzudenken. Sie haben sich bewährt und sind etabliert. Erst durch die Feldbustechnik wurde der Einsatz der PC-basierten Steuerungen auf breiter Front sinnvoll möglich. Während die Steuerungs-CPU's – speziell bei IPC's – rasant an Performance gewinnen, wirken die herkömmlichen Feldbussysteme zunehmend als „Flaschenhals“ und begrenzen die erreichbare Leistungsfähigkeit der Steuerungssysteme. Hinzu kommt die geschichtete Steuerungsarchitektur mit mehreren unterlagerten, meist zyklischen Systemen: die eigentliche Steuerungstask, das Feldbussystem und ggf. noch lokale Erweiterungsbusse im I/O System oder einfach nur der lokale Firmwarezyklus im Peripheriegerät. Dadurch werden Reaktionszeiten erreicht, die in der Regel das 3-5-fache der Steuerungs-Zykluszeit erreichen – eine unbefriedigende Lösung (siehe **Bild 1**).

Oberhalb der Feldbussysteme, zur Vernetzung von Steuerungen, ist Ethernet schon lange Stand der Technik. Neu ist der Einsatz auch auf der Antriebs- oder E/A-Ebene und damit in dem Bereich, der bislang den Feldbussystemen vorbehalten blieb. Hier sind hohe Echtzeitfähigkeit, Eignung

auch für kleine Datenmengen und natürlich geringe Kosten gefragt. EtherCAT trägt diesen Forderungen Rechnung und stellt gleichzeitig die Internet Technologien auch auf der E/A Ebene zur Verfügung.

1.1 Ethernet und Echtzeitfähigkeit

Es gibt viele verschiedene Ansätze, mit denen Ethernet echtzeitfähig gemacht werden soll: So wird z.B. das Zugriffsverfahren CSMA/CD durch überlagerte Protokollschichten außer Kraft gesetzt und durch ein Zeitscheibenverfahren oder durch Polling ersetzt; andere Vorschläge sehen spezielle Switches vor, die Ethernet-Pakete zeitlich präzise kontrolliert verteilen. Diese Lösungen mögen Datenpakete mehr oder weniger schnell und exakt zu den angeschlossenen Ethernet-Knoten transportieren – die Zeiten, die für die Weiterleitung zu den Ausgängen oder Antriebsreglern und für das Einlesen der Eingangsdaten benötigt werden, sind jedoch stark implementierungsabhängig.

Wenn für jeden Teilnehmer individuelle Ethernet-Frames Verwendung finden, so ist zudem die Nutzdatenrate prinzi-

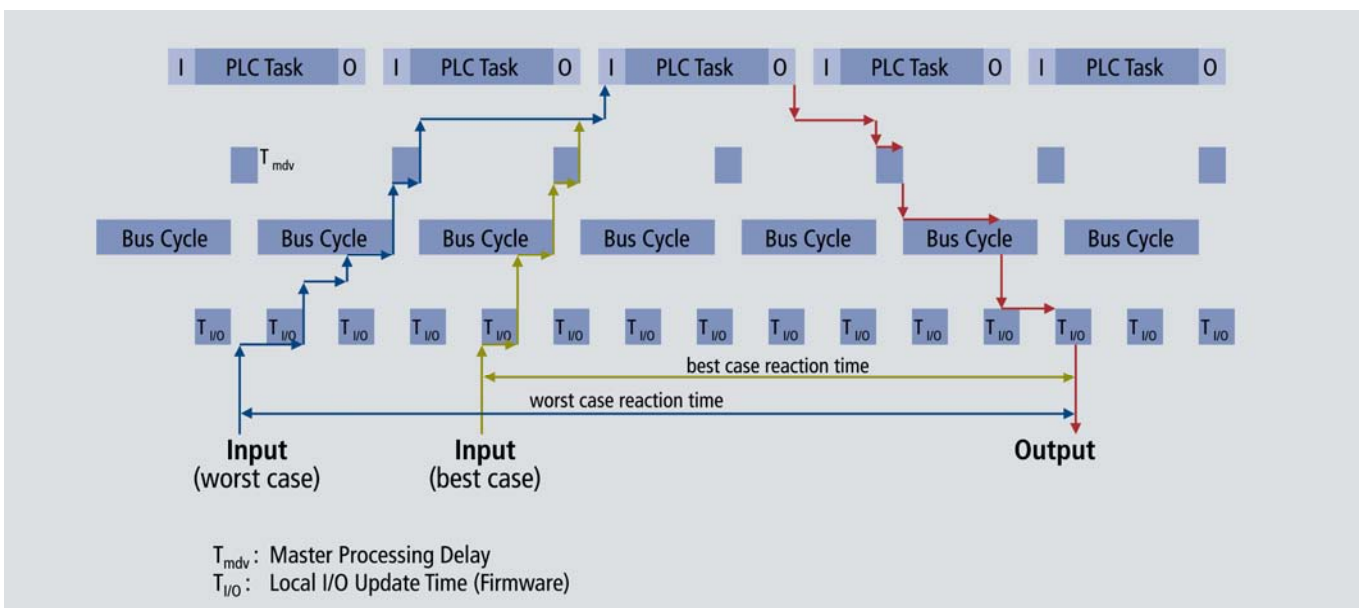


Bild 1 Reaktionszeit herkömmlicher Feldbussysteme

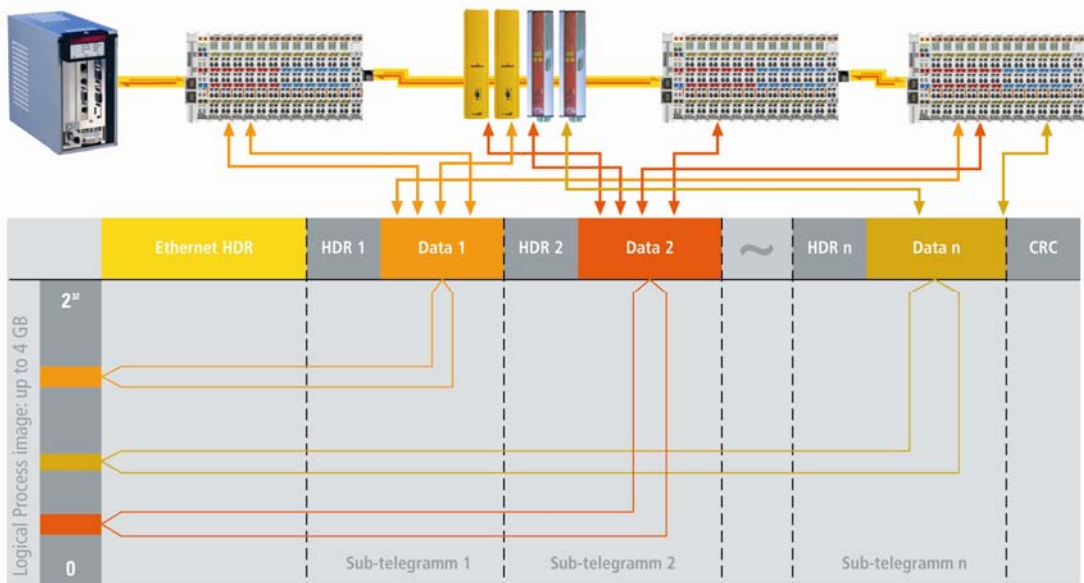


Bild 2: Prozessdaten werden in Telegramm eingefügt

piell sehr gering: Das kürzeste Ethernet-Frame ist 84 Bytes lang (incl. Inter Packet Gap IPG). Wenn z. B. ein Antrieb zyklisch 4 Bytes Istwert und Status sendet und entsprechend 4 Bytes Sollwert und Kontrollwort empfängt, so wird bei 100% Buslast (also unendlich kurzer Antwortzeit des Antriebs) nur eine Nutzdatenrate von $4/84 = 4,7\%$ erreicht. Bei durchschnittlich $10 \mu\text{s}$ Antwortzeit sinkt die Rate schon auf $1,9\%$. Diese Limitierungen gelten für alle Echtzeit-Ethernet-Ansätze, die an jeden Teilnehmer ein Ethernet-Frame senden bzw. erwarten – und zwar unabhängig von den verwendeten Protokollen innerhalb des Ethernet-Frames.

2. EtherCAT-Funktionsprinzip

Mit der EtherCAT-Technologie werden diese prinzipiellen Begrenzungen anderer Ethernet-Lösungen überwunden: Das Ethernet Paket wird nicht mehr in jeder Anschaltung zunächst empfangen, dann interpretiert und die Prozessdaten weiterkopiert. Die EtherCAT-Slave-Geräte entnehmen die für sie bestimmten Daten, während das Telegramm das

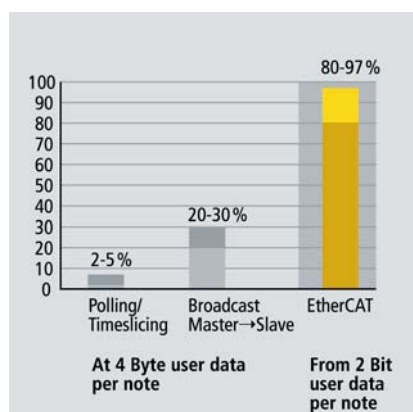


Bild 3: Bandbreiten-Nutzung im Vergleich

Gerät durchläuft. Ebenso werden Eingangsdaten im Durchlauf in das Telegramm eingefügt (siehe **Bild 2**). Die Telegramme werden dabei nur wenige Nanosekunden verzögert.

Da ein Ethernet-Frame sowohl in Sende- als auch in Empfangsrichtung die Daten vieler Teilnehmer erreicht, steigt die Nutzdatenrate auf über 90% an. Dabei werden die Voll-duplex-Eigenschaften von 100BASE-TX vollständig ausgenutzt, so dass effektive Datenraten von $> 100 \text{ MBit/s}$ ($>90\%$ von $2 \times 100 \text{ MBit/s}$) erreichbar sind (siehe **Bild 3**).

Das Ethernet-Protokoll gemäß IEEE 802.3 bleibt bis in die einzelne Klemme erhalten, der Subbus entfällt. Lediglich die Übertragungsphysik wird im Koppler von Twisted-Pair bzw. Lichtleiterphysik auf LVDS gewandelt, um den Anforderungen der elektronischen Reihenklemme gerecht zu werden. LVDS ist ein schneller und kostengünstiger, alternativer Ethernet-Physical-Layer, der auch bei 10 Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ae) zum Einsatz kommt. Am Ende des modularen Gerätes wird einfach wieder auf 100BASE-TX gewechselt.

3. EtherCAT-Eigenschaften

3.1 Protokoll

Das für Prozessdaten optimierte EtherCAT-Protokoll wird dank eines speziellen Ethertypes direkt im Ethernet-Frame transportiert. Es kann aus mehreren Subtelegrammen bestehen, die jeweils einen Speicherbereich des bis zu 4 Giga-byte großen logischen Prozessabbildes bedienen. Die datentechnische Reihenfolge ist dabei unabhängig von der physikalischen Reihenfolge der Ethernet-Klemmen im Netz. Es kann wahlfrei adressiert werden. Broadcast, Multicast und Querkommunikation zwischen Slaves sind möglich. Die

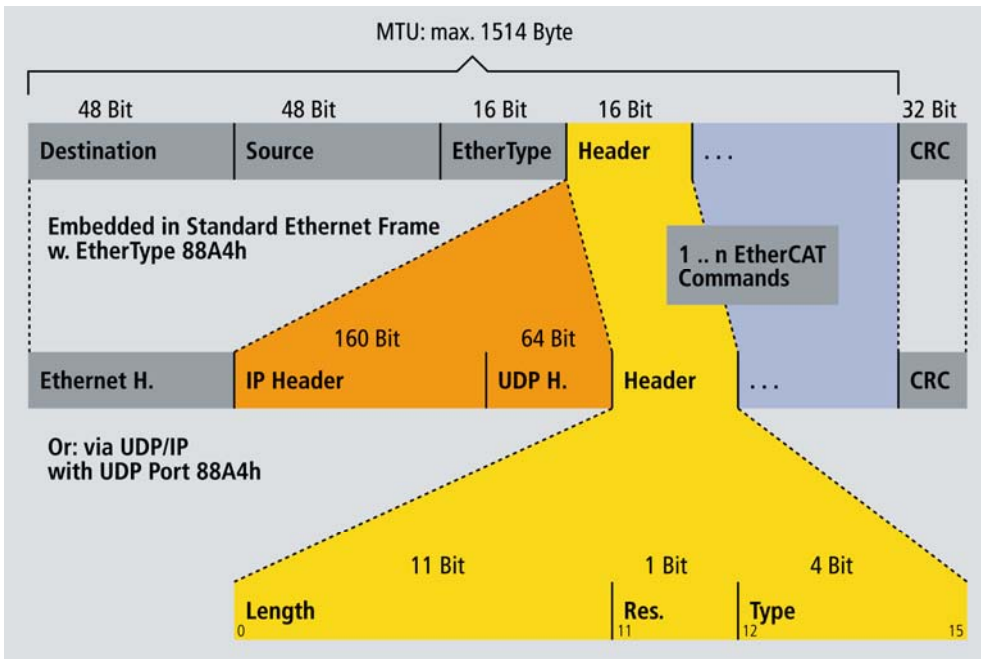


Bild 4: EtherCAT: Standard –IEEE 802.3-Frames [3]

Übertragung direkt im Ethernet-Frame wird stets dann eingesetzt, wenn höchste Performance gefragt ist und die EtherCAT-Komponenten im gleichen Subnetz wie die Steuerung betrieben werden.

Der Einsatzbereich von EtherCAT ist jedoch nicht auf ein Subnetz beschränkt: EtherCAT UDP verpackt das EtherCAT-Protokoll in UDP/IP-Datagramme (siehe **Bild 4**). Hiermit kann jede Steuerung mit Ethernet-Protokoll-Stack EtherCAT-Systeme ansprechen. Selbst die Kommunikation über Router hinweg in andere Subnetze ist möglich. Selbstverständlich hängt die Leistungsfähigkeit des Systems in dieser Variante von den Echtzeiteigenschaften der Steuerung und ihrer Ethernet-Protokollimplementierung ab. Die Antwortzeiten des EtherCAT-Netzwerks an sich werden jedoch nur minimal eingeschränkt: Lediglich in der ersten Station muss das UDP-Datagramm entpackt werden.

EtherCAT verwendet ausschließlich Standard-Frames nach IEEE802.3 [3] - sie werden nicht verkürzt. Damit können EtherCAT-Frames von beliebigen Ethernet-Controllern verschickt (Master), und Standard-Tools (z. B. Monitor) eingesetzt werden.

3.2 Topologie

Linie, Baum oder Stern: EtherCAT unterstützt nahezu beliebige Topologien (siehe **Bild 5**). Die von den Feldbussen her bekannte Bus- oder Linienstruktur wird damit auch für Ethernet verfügbar.

Besonders praktisch für die Anlagenverdrahtung ist die Kombination aus Linie und Abzweigen bzw. Stichleitungen:

Die benötigten Schnittstellen sind auf den Kopplern vorhanden, zusätzliche Switches werden nicht benötigt. Aber auch die klassische Switch-basierte Ethernet-Stern-Topologie kann eingesetzt werden. Die Flexibilität bei der Verdrahtung wird durch die Auswahl verschiedener Leitungen vervollständigt. Flexible und sehr preiswerte Standard-Ethernet-Patch-Kabel genügen für die Übertragung nach 100BASE-TX. Kunststoff-Lichtwellenleiter (POF) werden das System für spezielle Anwendungsfälle ergänzen. Die gesamte Bandbreite der Ethernet-Vernetzung – wie verschiedenste Lichtleiter und Kupferkabel – kann in der Kombination mit Switches oder Mediumsetzern zum Einsatz kommen.

Die Fast-Ethernet-Physik erlaubt eine Leitungslänge von 100 m zwischen zwei Teilnehmern. Da bis zu 65535 Teil-

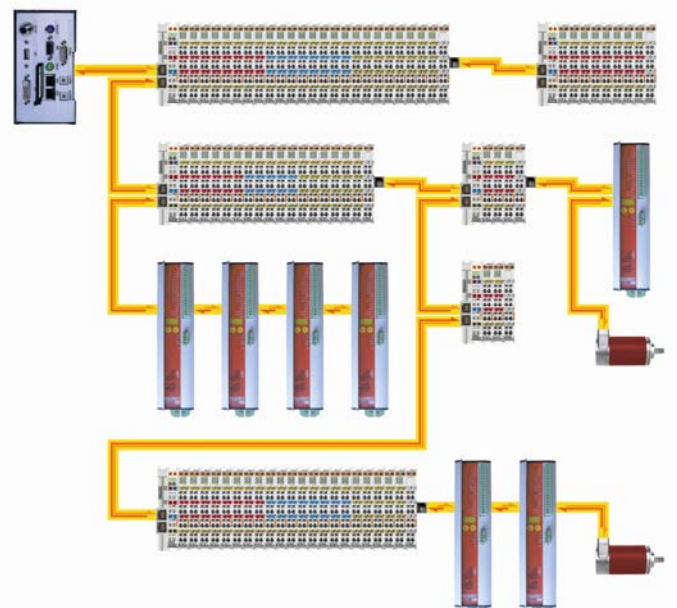


Bild 5: Flexible Topologie: Linie, Baum oder Stern

nehmer angeschlossen werden können, ist die gesamte Netzausdehnung nahezu unbeschränkt.

3.3 Verteilte Uhren

Der exakten Synchronisierung kommt immer dann eine besondere Bedeutung zu, wenn räumlich verteilte Prozesse gleichzeitige Aktionen erfordern. Das kann z. B. in Applikationen der Fall sein, wo mehrere Servoachsen gleichzeitig koordinierte Bewegungen ausführen.

Der leistungsfähigste Ansatz zur Synchronisierung ist der exakte Abgleich verteilter Uhren – wie auch im neuen Standard IEEE 1588 [6] beschrieben. Im Gegensatz zur vollsynchronen Kommunikation, deren Synchronisationsqualität bei Kommunikationsstörungen sofort leidet, verfügen verteilte abgegliche Uhren über ein hohes Maß an Toleranz gegenüber möglichen störungsbedingten Verzögerungen im Kommunikationssystem.

Bei EtherCAT basiert der Datenaustausch vollständig auf einer reinen Hardware-Maschine. Da die Kommunikation eine logische (und dank Vollduplex-Fast-Ethernet auch physikalische) Ringstruktur nutzt, kann die Mutter-Uhr den Laufzeitversatz zu den einzelnen Tochter-Uhren einfach und exakt ermitteln – und umgekehrt. Auf Basis dieses Wertes werden die verteilten Uhren nachgeführt. So steht eine hochgenaue, netzwerkweite Zeitbasis zur Verfügung, deren Jitter deutlich unter einer Mikrosekunde beträgt. (siehe **Bild 6**). Die externe Synchronisierung - z. B. standortweit - erfolgt dann über IEEE 1588.

Hochauflösende verteilte Uhren dienen aber nicht nur der Synchronisierung, sondern können auch exakte Informationen zum lokalen Zeitpunkt der Datenerfassung liefern. Steuerungen berechnen beispielsweise häufig Geschwindigkeiten aus nacheinander gemessenen Positionen. Speziell bei sehr kurzen Abtastzeiten führt schon ein kleiner zeitlicher Jitter in der Wegerfassung zu großen Geschwindigkeitsprüngen. Konsequenterweise werden mit EtherCAT auch Timestamp-Datentypen eingeführt. Mit dem Messwert wird die hochauflösende Systemzeit verknüpft; das ermöglicht die große Bandbreite von Ethernet. Damit hängt dann die Genauigkeit einer Geschwindigkeitsberechnung nicht mehr vom Jitter des Kommunikationssystems ab. Sie wird um Größenordnungen besser als diejenige von Messverfahren, die auf jitterfreier Kommunikation basieren.

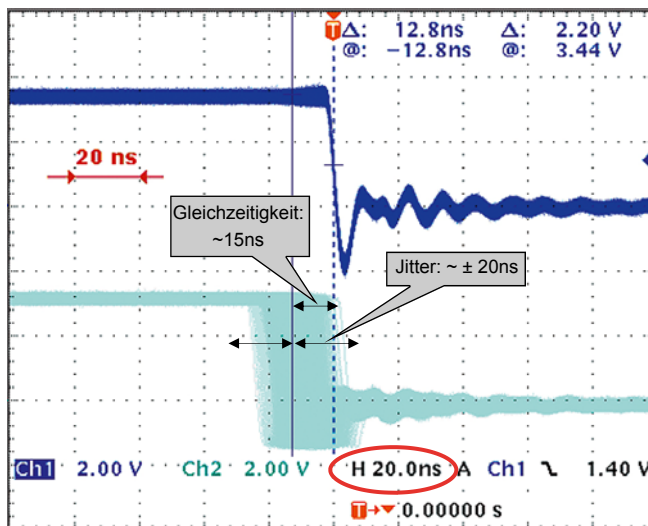


Bild 6: Synchronität und Gleichzeitigkeit: Scope-Aufnahme zweier verteilter Geräte; dazwischen sind 300 Knoten und 120 m Leitungslänge

3.4 Performance

Mit EtherCAT werden neue Dimensionen in der Netzwerk-Performance erreicht. Dank Hardware-Integration im Slave- und DMA-Zugriff auf die Netzwerkkarte im Master erfolgt die gesamte Protokollbearbeitung in Hardware und ist damit unabhängig von der Laufzeit von Protokollstacks, von CPU-Performance oder Software-Implementierung. Die Update-Zeit für 1000 E/As beträgt nur 30 µs – einschließlich I/O-Durchlaufzeit (siehe **Tabelle 1**). Mit einem einzigen Ethernet-Frame können bis zu 1486 Bytes Prozessdaten ausgetauscht werden – das entspricht fast 12000 digitalen Ein- und Ausgängen. Für die Übertragung dieser Datenmenge werden dabei nur 300 µs benötigt.

Für die Kommunikation mit 100 Servoachsen werden nur 100 µs benötigt. In dieser Zeit werden alle Achsen mit Sollwerten und Steuerdaten versehen und melden ihre Ist-Position und Status. Durch das Distributed-Clock-Verfahren

Prozessdaten	Update-Zeit
256 verteilte digitale E/As	11 µs = 0,01 ms
1000 verteilte digitale E/As	30 µs
200 analoge E/As (16 Bit)	50 µs ↔ 20 kHz
100 Servoachsen, je 8 Byte Ein- und Ausgangsdaten	100 µs
1 Feldbusmaster-Gateway (1486 Bytes Eingangs- und 1486 Bytes Ausgangsdaten)	150 µs

Tabelle 1: EtherCAT-Performance-Übersicht

können die Achsen dabei mit einer Abweichung von deutlich weniger als einer Mikrosekunde synchronisiert werden. Die Performance der EtherCAT-Technologie ermöglicht Steuerungs- und Regelungskonzepte, die mit klassischen Feldbussystemen nicht realisierbar waren. Mit EtherCAT steht eine Kommunikationstechnologie zur Verfügung, die der überlegenen Rechenleistung moderner Industrie-PCs entspricht. Das Bussystem ist nicht mehr der Flaschenhals im Steuerungskonzept. Verteilte E/As werden schneller erfasst, als dies mit den meisten lokalen E/A-Schnittstellen möglich ist. Das EtherCAT-Technologieprinzip ist skalierbar und nicht an die Baudrate von 100 MBaud gebunden – eine Erweiterung auf GBit-Ethernet ist möglich.

3.5 Diagnose

Die Erfahrungen mit Feldbussystemen zeigen, dass die Verfügbarkeit und Inbetriebnahmezeiten entscheidend von der Diagnosefähigkeit abhängen. Nur eine schnell und präzise erkannte und eindeutig lokalisierbare Störung kann kurzfristig behoben werden. Deshalb wurde bei der Entwicklung des EtherCAT-Systems besonderer Wert auf vorbildliche Diagnoseeigenschaften gelegt.

Bei der Inbetriebnahme gilt es zu prüfen, ob die Ist-Konfiguration der E/A-Klemmen mit der Soll-Konfiguration übereinstimmt. Auch die Topologie sollte der Konfiguration entsprechen. Durch die eingebaute Topologie-Erkennung bis hinunter zu den einzelnen Klemmen kann nicht nur diese Überprüfung beim Systemstart stattfinden – auch ein automatisches Einlesen des Netzwerkes ist möglich (Konfigurations-Upload).

Bitfehler in der Übertragung werden durch die Auswertung der CRC-Prüfsumme zuverlässig erkannt: Das 32-Bit-CRC-Polynom weist eine minimale Hammingdistanz von 4 auf. Neben der Bruchstellenerkennung und -lokalisierung erlauben Protokoll, Übertragungsphysik und Topologie des EtherCAT-Systems eine individuelle Qualitätsüberwachung jeder einzelnen Übertragungsstrecke. Die automatische Auswertung der entsprechenden Fehlerzähler ermöglicht die exakte Lokalisierung kritischer Netzwerkabschnitte. Schleichende oder wechselnde Fehlerquellen wie EMV-Einflüsse, fehlerhafte Steckverbindungen oder Kabelschäden werden erkannt und lokalisiert, auch wenn sie die Selbstheilungsfähigkeit des Netzwerkes noch nicht überfordern.

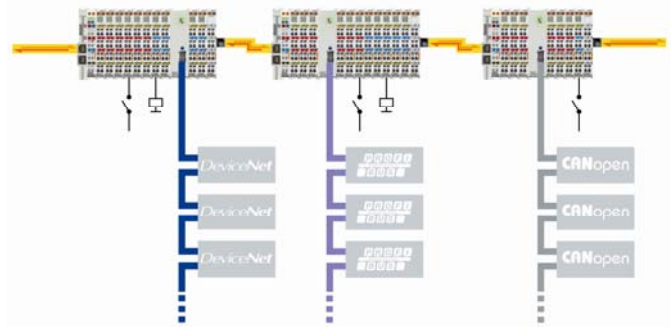


Bild 7: Dezentrale Feldbusschnittstellen

3.6 EtherCAT statt PCI

Mit der fortschreitenden Verkleinerung der PC-Komponenten wird die Baugröße von Industrie-PCs zunehmend von der Anzahl der benötigten Steckplätze bestimmt. Die Bandbreite von Fast-Ethernet, zusammen mit der Datenbreite der EtherCAT-Kommunikations-Hardware ermöglicht hier, neue Wege zu gehen: klassisch im IPC vorgesehene Schnittstellen werden in intelligente Schnittstellenklemmen am EtherCAT ausgelagert (siehe **Bild 7**).

Über einen einzigen Ethernet-Port im PC können dann, neben den dezentralen E/As, Achsen und Bediengeräten auch komplexe Systeme wie Feldbusmaster, schnelle serielle Schnittstellen, Gateways und andere Kommunikations-Interfaces angesprochen werden.

Selbst weitere Ethernet-Geräte mit beliebigen Protokollvarianten lassen sich über dezentrale Hub-Klemmen anschließen. Der zentrale IPC wird kleiner und damit kostengünstiger, eine Ethernet-Schnittstelle genügt zur kompletten Kommunikation mit der Peripherie (siehe **Bild 8**).

3.7 Geräteprofile

Die Geräteprofile beschreiben die Anwendungsparameter und das funktionale Verhalten der Geräte einschließlich der geräteklassenspezifischen Zustandsmaschinen. In der Feldbustechnik gibt es für viele Geräteklassen bereits bewährte



Bild 8: EtherCAT führt zu kleineren Steuerungen

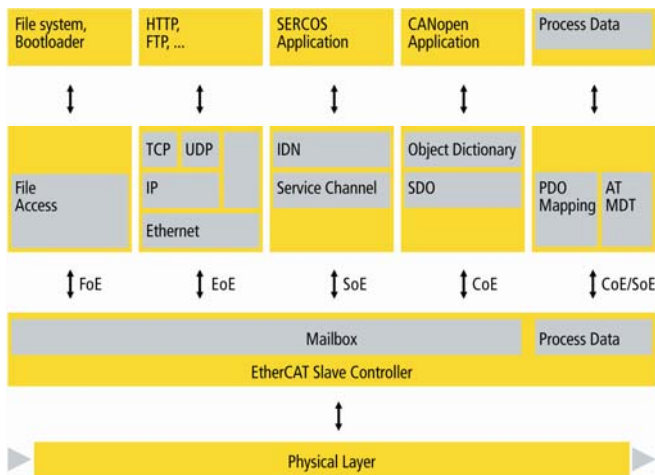


Bild 9: Mehrere Geräteprofile und Protokolle nebeneinander möglich

Geräteprofile - z. B. für E/A-Geräte, Antriebe oder Ventile. Die Anwender sind mit diesen Profilen, den entsprechenden Parametern und den dazugehörigen Tools vertraut. Daher verzichtet man bei EtherCAT darauf, eigene Geräteprofile für diese Geräteklassen zu entwickeln. Vielmehr werden einfache Schnittstellen für bestehende Geräteprofile angeboten. Damit wird die Migration vom bisherigen Feldbus zu EtherCAT sowohl für Anwender als auch für Gerätehersteller deutlich erleichtert.

3.7.1 CANopen over EtherCAT (CoE)

CANopen-Geräte und Applikationsprofile stehen für eine große Vielfalt an Geräteklassen und Anwendungen zur Verfügung: Angefangen von den E/A-Baugruppen über Antriebe, Encoder, Proportionalventile und Hydraulikregler, bis hin zu Anwendungsprofilen, etwa für die Kunststoffverarbeitung oder Textilmaschinen. EtherCAT kann die gleichen Kommunikationsmechanismen bereitstellen, wie sie von CANopen [9] her bekannt sind: Objektverzeichnis, PDO (Prozess-DatenObjekte) und SDO (ServiceDatenObjekte). Selbst das Netzwerkmanagement ist vergleichbar. So kann EtherCAT auf Geräten, die bisher mit CANopen ausgestattet waren, mit minimalem Aufwand implementiert werden; große Teile der CANopen-Firmware sind wieder verwendbar. Dabei lassen sich die Objekte optional erweitern, um der größeren Bandbreite von EtherCAT Rechnung zu tragen.

3.7.2 Servodrive-Profil nach IEC 61491 over EtherCAT (SoE)

SERCOS interface™* ist als leistungsstarke Echtzeit-Kommunikationsschnittstelle insbesondere für Motion-Control-Anwendungen weltweit anerkannt und geschätzt.

Das SERCOS-Profil für Servoantriebe und die Kommunikationstechnologie sind in IEC 61491 [10] genormt. Dieses Servodrive-Profil lässt sich sehr einfach auf EtherCAT abbilden. Der Servicekanal, und damit der Zugriff auf alle antriebsinternen Parameter und Funktionen, setzt auf der EtherCAT-Mailbox auf (siehe **Bild 9**).

Auch hier stehen sowohl die Kompatibilität zum bestehenden Protokoll (Zugriff auf Wert, Attribute, Namen, Einheiten etc. der IDNs) als auch die Erweiterungsmöglichkeit bezüglich der Datenlängenbeschränkung im Vordergrund. Die Prozessdaten, bei SERCOS in Form von AT- und MDT-Daten, werden wiederum mit den Mitteln des EtherCAT Slave Controllers übertragen. Das entsprechende Mapping erfolgt analog zu SERCOS. Die EtherCAT-Slave-State-Machine lässt sich ebenfalls gut auf die Phasen des SERCOS-Protokolls abbilden.

Damit steht auch für dieses, vor allem im CNC-Bereich weit verbreitete, Geräteprofil bereits eine Real-Time-Ethernet-Technologie zur Verfügung. Die Vorteile des Geräteprofils werden mit denen von EtherCAT kombiniert. Die netzwerkweite exakte Synchronisierung ist dabei durch die verteilten Uhren gewährleistet. Wahlweise können Sollposition, Drehzahl oder Drehmoment übertragen werden. Je nach Implementierung lassen sich sogar die gleichen Konfigurations-tools für die Antriebe weiter verwenden.

3.8 Ethernet over EtherCAT (EoE)

Die EtherCAT-Technologie ist nicht nur vollständig Ethernet-kompatibel, sondern „by design“ durch besondere Offenheit gekennzeichnet: Das Protokoll verträgt sich mit weiteren Ethernet-basierten Diensten und Protokollen auf dem gleichen physikalischen Netz – in der Regel nur mit minimalen Einbußen bei der Performance. Beliebige Ethernet-Geräte können innerhalb des EtherCAT-Strangs via Switchport angeschlossen werden. Die Ethernet-Frames werden durch das EtherCAT-Protokoll getunnelt, wie es bei den Internet-technologien üblich ist (z.B. VPN, PPPoE (DSL) etc.). Das EtherCAT-Netzwerk ist dabei für das Ethernet-Gerät voll transparent, und die Echtzeiteigenschaften werden nicht beeinträchtigt (siehe **Bild 10**).

EtherCAT-Geräte können zusätzlich über andere Ethernet-Protokolle verfügen und damit nach außen wie ein Standard-Ethernet-Teilnehmer auftreten. Der Master fungiert dabei wie ein Layer-2-Switch, der die Frames gemäß der Adress-

*SERCOS interface ist eine Marke der Interessengemeinschaft SERCOS e.v.

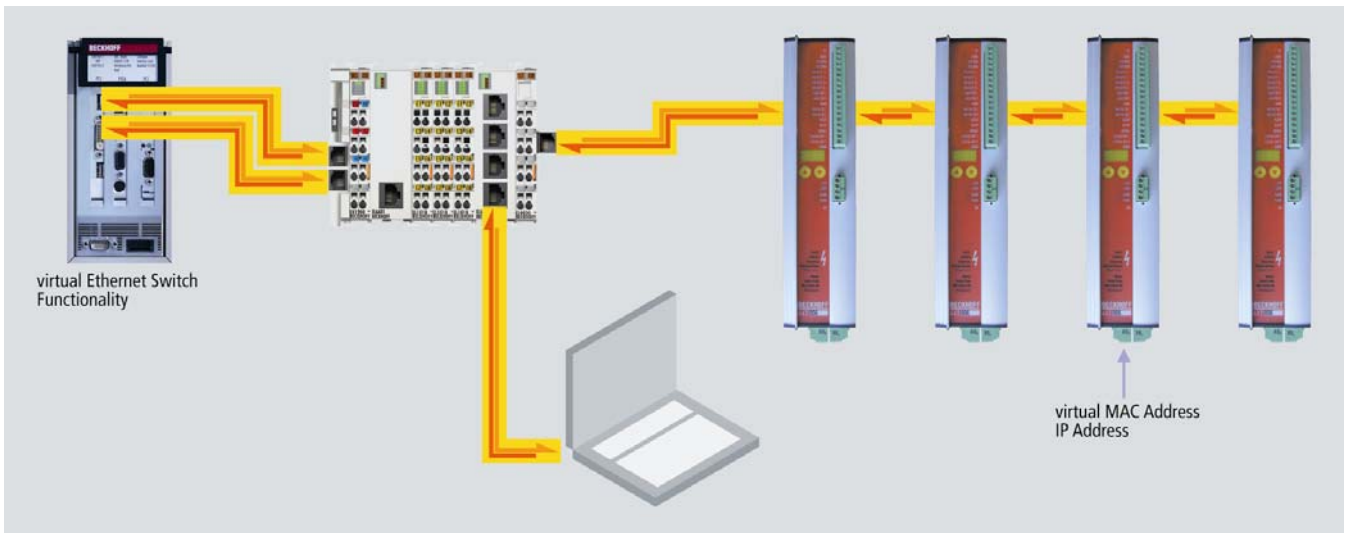


Bild 10: Transparent für alle Ethernet-Protokolle

information zu den entsprechenden Teilnehmern weiterleitet. Damit können sämtliche Internet-Technologien auch im EtherCAT-Umfeld zum Einsatz kommen: integrierte Webserver, Email, FTP-Transfer etc.

3.9 File Access over EtherCAT (FoE)

Dieses an TFTP angelehnte, sehr einfache Protokoll ermöglicht den Zugriff auf beliebige Datenstrukturen im Gerät. Damit ist z. B. ein einheitlicher Firmware-Upload auf Geräte möglich — unabhängig davon, ob diese TCP/IP unterstützen.

4. Implementierung

4.1 Master

EtherCAT verwendet Standard-Ethernet-Controller dort, wo es tatsächlich Kosten spart: im Master. Da in der Regel nur ein Ethernet-Frame je Zyklus abgeschickt werden muss, kann auf Kommunikations-Coprozessoren verzichtet werden. Damit ist EtherCAT die einzige Ethernet-Lösung für harte Echtzeit-Anforderungen, die ohne spezielle keine Mas-

ter-Einsteckkarten auskommt, der On-Board-Ethernet-Controller oder eine günstige Standard-NIC-Karte genügen. Der Master ist in der Regel eine reine Softwarelösung. Speziell für die kleine und mittlere Steuerungstechnik und für klar umrissene Anwendungen ist die Implementierung eines EtherCAT-Masters sehr einfach: Betrachtet wird eine SPS mit einem einzigen Prozessabbild, wenn dieses 1488 Bytes nicht übersteigt, so genügt das zyklische Versenden eines einzigen Ethernet-Frames – und zwar mit der Zykluszeit der SPS. Da sich der Header zur Laufzeit nicht ändert, muss also lediglich ein konstanter "Vorspann" zum Prozessabbild hinzugefügt und das Ergebnis dem Ethernet-Controller übergeben werden (siehe **Bild 11**).

Dabei ist das Prozessabbild bereits fertig sortiert, da das Mapping bei EtherCAT nicht im Master, sondern in den Slaves erfolgt – die Peripheriegeräte fügen ihre Daten an die entsprechende Stelle im durchlaufenden Frame ein.

4.1.1 Master-Sample-Code

Zur Unterstützung einer Master-Implementierung steht Master-Sample-Code gegen eine Schutzgebühr zur Verfügung. Die Software wird im Source-Code ausgeliefert und umfasst

Ethernet Header			ECAT	EtherCAT Telegram			Ethernet		
DA	SA	Type	Frame HDR	EtherCAT HDR	Data	CTR	Pad.	FCS	
(6)	(6)	(2)	(2)	(10)	(0...1486)	(2)	(0...32)	(1)	
constant Header			completely sorted (mapped) process data			Working Counter: constant	Padding Bytes and CRC generated by Ethernet Controller (MAC)		

Bild 11: Master-Implementierung mit einem Prozessabbild

alle Funktionen für einen EtherCAT-Master samt Ethernet over EtherCAT. Der Code muss lediglich noch an die Zielhardware und das verwendete RTOS angepasst werden – er wurde für Windows-Umgebungen erstellt (siehe **Bild 12**) und mittlerweile erfolgreich auf eine Vielzahl anderer RTOS portiert.

4.1.2 Monitor-Tools

Da EtherCAT Standard-Ethernet-Frames nach IEEE 802.3 verwendet, eignet sich jedes handelsübliche Ethernet-Monitor-Tool zur Beobachtung der EtherCAT-Kommunikation. Zusätzlich gibt es kostenlose Parser-Software für Ethereal (ein Open-Source-Monitor-Tool) und den Microsoft-Netzwerk-Monitor, mit der mitgeschnittener EtherCAT-Datenverkehr komfortabel aufbereitet und zur Anzeige gebracht wird.

4.2 Slave

Im Slave-Gerät kommt ein kostengünstiger EtherCAT Slave Controller (als ASIC oder FPGA) zum Einsatz. Für einfache Geräte ist kein zusätzlicher Microcontroller erforderlich. Bei komplexeren Geräten ist die Kommunikationsperformance bei EtherCAT nahezu unabhängig von der Leistungsfähigkeit des verwendeten Controllers; die Anschaltung wird entsprechend günstig.

EtherCAT Slave Controller sind von mehreren Herstellern verfügbar oder in Vorbereitung. Die von Beckhoff entwickelten und über Halbleiter-Distribution erhältlichen Slave-Controller verfügen über internes DPRAM und bieten eine Auswahl an Schnittstellen, zum Zugriff auf diesen Anwendungsspeicher:

- Das serielle SPI (Serial Peripheral Interface) ist speziell für Geräte mit kleiner Prozessdatenmenge gedacht, wie z. B. analoge E/A Module, Geber, Encoder oder auch einfache Antriebe.
- Das 32-Bit-Parallel-E/A-Interface eignet sich für den Anschluss von bis zu 32 digitalen Ein-/Ausgängen, aber auch für einfache Sensoren oder Aktoren, die mit 32 Datenbits auskommen.
- Das parallele 8/16Bit-Micro-Controller-Interface entspricht herkömmlichen Schnittstellen bei Feldbus-Controllern mit DPRAM-Schnittstelle. Es eignet sich besonders für komplexere Teilnehmer mit größerem Datenaufkommen.

Zur Unterstützung einer Slave-Implementierung wird ein kostengünstiges Evaluation-Kit angeboten, das auch Slave-Anwendungssoftware im Source sowie einen Testmaster enthält.

Ein 2nd-Source-ASIC ist in Vorbereitung. Wer auf ASICs verzichten möchte, hat mit der FPGA-Implementierung eine leistungsfähige und vollkommen herstellerunabhängige Alternative.

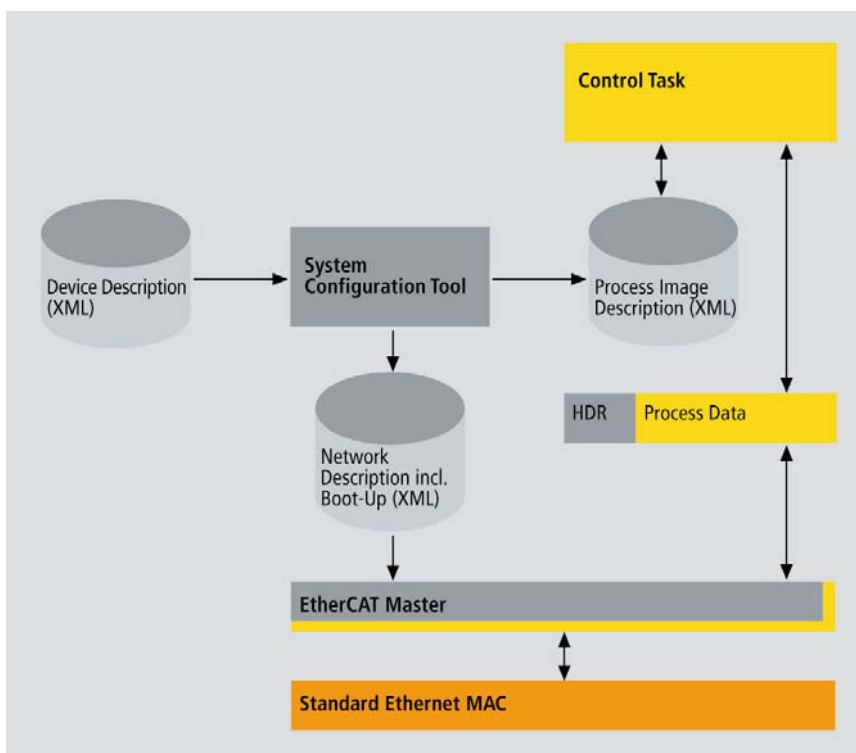


Bild 12: Struktur des Master-Sample-Codes

4.3 Infrastrukturkosten

Da EtherCAT auf Hubs und Switches verzichten kann, entfallen die entsprechenden Kosten für diese Geräte samt Spannungsversorgung, Einbau, etc. Es kommen Standard-CAT5-Kabel und auch Standardsteckverbinder zum Einsatz, wenn die Umgebungsbedingungen dies erlauben.

5. EtherCAT Technology Group

Jeder soll EtherCAT nutzen und implementieren können. Für diesen Ansatz steht die EtherCAT Technology Group. In der ETG finden sich Endanwender aus unterschiedlichen Branchen, Maschinenhersteller und Anbieter von leistungsfähiger Steuerungstechnik zusammen, um die EtherCAT-Technologie zu unterstützen und zu fördern. Die Branchenvielfalt gewährleistet, dass EtherCAT für vielfältige Anwendungen optimal vorbereitet ist. Die Systempartner sorgen mit ihrem qualifizierten Feedback für die einfache Integration der Hardware- und Softwarebausteine in alle erforderlichen Geräteklassen.

Die ETG wurde im November 2003 gegründet und ist die am schnellsten wachsende Feldbusorganisation mit mittlerweile rund 200 Mitgliedsfirmen. Aktuell sind Firmen aus Belgien,

China, Deutschland, Finnland, Frankreich, Großbritannien, Israel, Italien, Kanada, Korea, Liechtenstein, den Niederlanden, Österreich, Singapur, Schweden, der Schweiz, Taiwan und den USA in der ETG vertreten (siehe Bild 13).

6. Internationale Normung

Die Offenlegung wird nicht nur innerhalb der EtherCAT Technology Group betrieben – auch die internationale Normung von EtherCAT ist im Gange. So hat das Management-Board der IEC die EtherCAT Technology Group als offiziellen Liaison-Partner der IEC-Arbeitsgruppen für digitale Kommunikation akzeptiert. Seit Februar 2005 ist EtherCAT IEC-Spezifikation und bereits Teil einer ISO-Norm.

7. EtherCAT ist erprobt

EtherCAT ist seit Ende 2003 im Serieneinsatz: Die Erfahrungen mit der Pilotanlage bewogen die Schuler Pressen AG, EtherCAT für die Profiline-Pressenserie freizugeben. Firma Schuler zu EtherCAT: „Wir sind mit diesem System in der Lage, schnelle Antriebs- und Hydraulikregelung für sämtliche Anwendungen zu realisieren, die wir im Moment im



Bild 13: ETG-Mitgliedsfirmen (Stand Nov 04)

Schuler-Konzern kennen. Und, was ganz entscheidend ist, auf Grund der extrem hohen Performance von EtherCAT haben wir noch genug Potential für die Zukunft, auch aufwändigere Regelungsaufgaben ohne Geschwindigkeitsprobleme bewältigen zu können.“

8. Zusammenfassung

Hohe Performance, einfache Verdrahtung und Offenheit für andere Protokolle kennzeichnen EtherCAT. Wo herkömmliche Feldbussysteme an ihre Grenzen kommen, setzt EtherCAT neue Maßstäbe: 1000 E/A s in 30 μ s, wahlweise verdrehte Zweidrahtleitung oder Lichtleiter und, dank Ethernet und Internet-Technologien optimale vertikale Integration. Mit EtherCAT kann die aufwändige Ethernet-Sterntopologie durch eine einfache Linienstruktur ersetzt werden – teure Infrastrukturkomponenten entfallen. Wahlweise kann EtherCAT aber auch klassisch mit Switches verkabelt werden, um andere Ethernet-Teilnehmer zu integrieren. Wo andere Echtzeit-Ethernet-Ansätze spezielle Anschaltungen in der Steuerung erfordern, kommt EtherCAT mit äußerst kostengünstigen Standard-Ethernet-Karten (NICs) aus.

Ethernet bis in E/A-Ebene wird durch EtherCAT technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll. Volle Ethernet-Kompatibilität, Internet-Technologien auch in einfachsten Geräten, maximale Nutzung der großen Ethernet-Bandbreite, hervorragende Echtzeiteigenschaften bei niedrigen Kosten sind herausragende Eigenschaften dieses Netzwerkes. Als schneller Antriebs- und E/A-Bus am Industrie-PC, oder auch in Kombination mit kleiner Steuerungstechnik, wird EtherCAT vielfältige Einsatzmöglichkeiten finden.

9. Literatur

- [1] EtherCAT Technology Group, <http://www.ethercat.org>
- [2] Beckhoff GmbH, <http://www.beckhoff.com>
- [3] IEEE 802.3-2000: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications.
- [4] IEEE 802.3ae-2002: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications; Amendment: Media Access Control (MAC) Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for 10 Gb/s Operation.
- [5] ANSI/TIA/EIA-644-A, Electrical Characteristics of Low Voltage Differential Signalling (LVDS) Interface Circuits
- [6] IEEE 1588-2002: IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems
- [7] Janssen, Dr. Dirk, Büttner, Holger, "EtherCAT – the Ethernet Fieldbus". PC Control Magazine 3/2003.
- [8] EtherCAT Communication Specification, EtherCAT Technology Group 2004
- [9] EN 50325-4: Industrial communications subsystem based on ISO 11898 (CAN) for controller-device interfaces. Part 4: CANopen.
- [10] IEC 61491-2002: Electrical equipment of industrial machines - Serial data link for real-time communication between controls and drives