

EtherCAT:

Die Beckhoff-Lösung für Echtzeit Ethernet

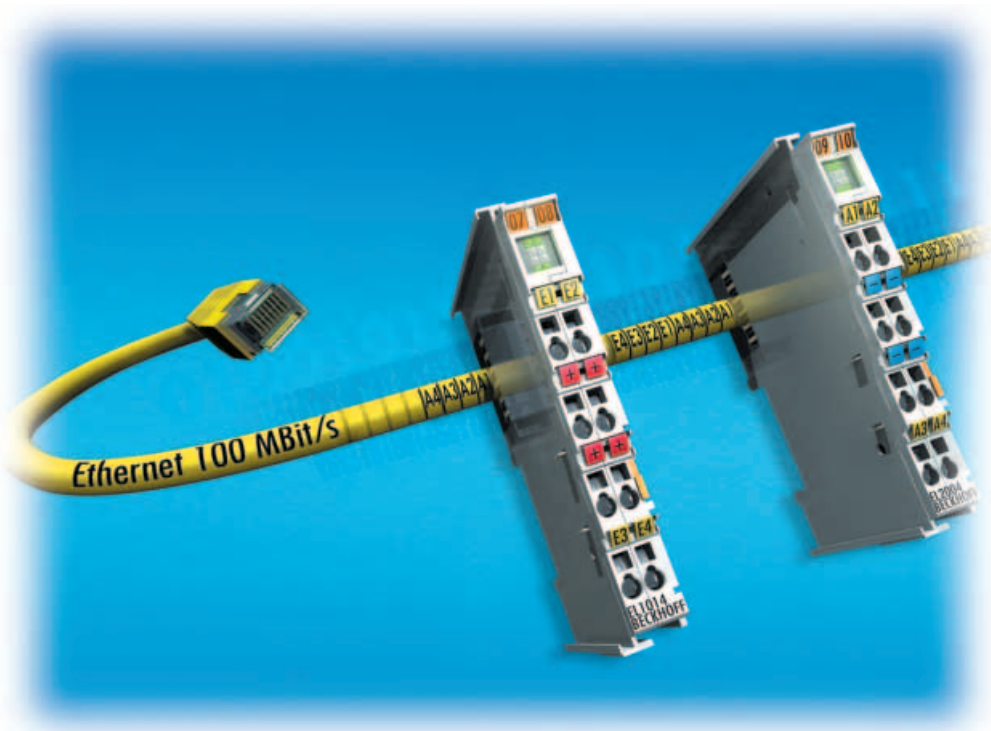


Bild 1: Beckhoff EtherCAT - Ultra-High-Speed I/O für die Automatisierung

Nachdem wir bereits in Ausgabe 3/2003 über die kommende echtzeitfähige Ethernetlösung aus dem Hause Beckhoff berichteten, stellen wir diese im Folgenden detailliert vor.

Eines vorweg: Mit EtherCat geht Beckhoff völlig neue Wege. Es gibt viele verschiedene Ansätze, mit denen Ethernet echtzeitfähig gemacht werden kann: So wird z.B. das Zugriffsverfahren CSMA/CD durch überlagerte Protokollschichten außer Kraft gesetzt und durch ein Zeitscheibenverfahren oder durch Polling ersetzt. Andere Lösungen sehen spezielle Switches vor, die Ethernetpakete zeitlich präzise kontrolliert verteilen. Diese Lösungen können Datenpakete durchaus schnell und exakt zu den angeschlossenen Ethernetknoten transportieren - die Zeiten, die für die Weiterleitung zu den Ausgängen oder Antriebsreglern und für das Einlesen der Eingangsdaten benötigt werden, sind jedoch stark implementie-

rungsabhängig. Speziell bei modularen E/A-Systemen kommt hier in der Regel noch ein Sub-Bus hinzu, der (wie z.B. beim Beckhoff Busklemmensystem der Beckhoff Klemmenbus) zwar synchronisiert und schnell sein kann, jedoch prinzipbedingt stets kleine Verzögerungen zur Kommunikation hinzufügt. EtherCat funktioniert völlig anders als die oben vorgestellten Lösungen: Das Ethernetpaket

wird nicht mehr in jeder Anschaltung zunächst empfangen, dann interpretiert und die Prozessdaten weiterkopiert. Die neu entwickelte Fieldbus Memory Management Unit (FMMU) in jeder E/A-Klemme entnimmt die für sie bestimmten Daten, während das Telegramm das Gerät durchläuft. Eingangsdaten werden im Durchlauf in das Telegramm eingefügt. Die Telegramme wer-

Ethernet-Klemmenbus

Der Ethernet-Klemmenbus (E-Bus) ist das Äquivalent zum bisher von Beckhoff verwendeten internen Klemmenbus (K-Bus) des Busklemmensystems. Er stellt also den EtherCat Systembus im Klemmenverbund dar. E-Bus ist protokolltechnisch Ethernet und wird auch mit 100 Mbit/s übertragen. Allerdings basiert E-Bus auf einem kostengünstigeren Physical Layer (Bitdarstellungsschicht) und eignet sich deshalb besonders für den Einsatz in der Klemme. Mit der E-Bus Verlängerungsklemme können preiswert weitere Klemmensysteme bis zu einer Entfernung von 10m angeschlossen werden.

den dabei nur wenige Nanosekunden verzögert. In einem Ethernetframe können mit diesem System bis zu 1486 Bytes Prozessdaten ausgetauscht werden, was fast 12.000 digitalen Ein- und Ausgängen entspricht.

Ethernet bis in die Klemme

„Was hat das noch mit Ethernet zu tun?“ Tatsächlich ist man geneigt diese Frage zu stellen, doch das Ethernetprotokoll bleibt bis in die einzelne Klemme erhalten, der Sub-Bus entfällt vollständig. Lediglich die Übertragungsphysik wird im Koppler von Twisted Pair bzw. Lichtleiterphysik auf E-Bus (siehe Kasten) gewandelt, um den Anforderungen der elektronischen Reihenklammer gerecht zu werden. Die Signalumformung innerhalb der Klemmenreihe (E-Bus) eignet sich für kürzere Strecken (bis 10m) auch zur Übertragung auf verdrehter Zweidrahtleitung. Damit kann die Klemmenreihe günstig verlängert werden, wobei der anschließende Wechsel auf Ethernet jederzeit möglich ist. Die FMMU-Technologie wird steuerungsseitig durch den sogenannten TwinCat Y-Treiber für Ethernet ergänzt. Dieser sorgt dafür, dass Ethernetframes aus dem Echtzeitsystem immer dann eine freie Sendeleitung vorfinden, wenn sie an der Reihe sind. Die Ethernetframes des Betriebssystems werden erst danach in den „Lücken“ verschickt. Hier macht sich die PC-basierende Architektur des TwinCat-Systems bemerkbar. Der Y-Treiber wird von Windows als betriebssystemkonformer Netzwerktreiber erkannt und von TwinCat als zusätzliche Feldbuskarte. Auf der Empfangsseite werden alle empfangenen Ethernetframes vom TwinCat I/O-System überprüft und die echtzeitrelevanten herausgefiltert. Alle anderen Frames werden nach der Überprüfung außerhalb des Echtzeitkontextes an das Betriebssystem übergeben.

Protokolle

Das für Prozessdaten optimierte EtherCat-Protokoll wird direkt im Ethernet-Frame transportiert. Es kann aus mehreren Subtelegrammen bestehen, die jeweils einen Speicherbereich des bis zu vier Gigabyte großen logischen Prozessabbildes bedienen. Die datentechnische Reihenfolge ist dabei unabhängig

von der physikalischen Reihenfolge der Ethernet-Klemmen im Netz und es kann wahlfrei adressiert werden. Broadcast, Multicast und Querkommunikation zwischen Slaves ist möglich. Die Übertragung direkt im Ethernetframe wird stets dann eingesetzt, wenn EtherCat-Komponenten mit TwinCat und im gleichen Subnetz wie der Steuerungsrechner betrieben

werden. Der Einsatzbereich von EtherCat ist jedoch nicht auf TwinCat als Steuerungssystem beschränkt: EtherCat UDP verpackt das EtherCat-Protokoll in UDP/IP-Datagramme. Hiermit kann jede Steuerung mit Ethernet-Protokollstack EtherCat-Systeme ansprechen. Selbst die Kommunikation über Router hinweg in andere Subnetze ist möglich. Die Leistungsfähigkeit

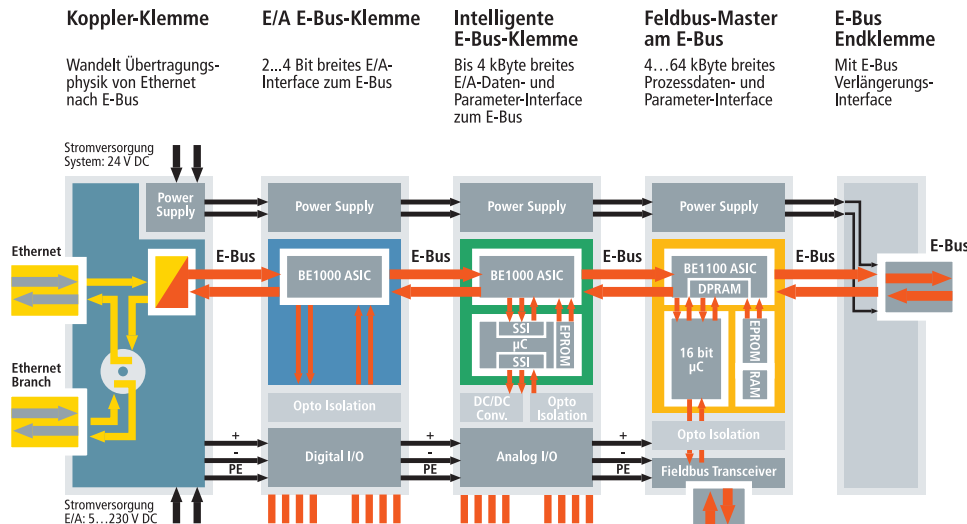


Bild 2: Protokollbearbeitung vollständig in Hardware: Die Protokoll-ASICs sind flexibel konfigurierbar.

des Systems in dieser Variante hängt von den Echtzeiteigenschaften der Steuerung ab. Die Antwortzeiten des EtherCat

Frame bis zu 1486 Bytes Prozessdaten ausgetauscht werden – das entspricht fast 12.000 digitalen Ein- und Ausgängen.

Kasten) Verfahren können die Achsen dabei mit einer Abweichung von deutlich weniger als einer Mikrosekunde synchronisiert werden.

Verdrahtung

Flexibel ist das System auch im Hinblick auf seine Verdrahtung: Flexible und preiswerte Standard-Ethernet Patchkabel übertragen die Signale wahlweise auf Ethernet-Art (100Base-TX) oder in der E-Bus-Signaldarstellung. Kunststoff-Lichtwellenleiter (POF) ergänzen das System für spezielle Anwendungsfälle. Die gesamte Bandbreite der Ethernetvernetzung - wie verschiedenste Lichtleiter und Kupferkabel - kann in der Kombination mit Switches oder Medienumsetzern zum Einsatz kommen. Die Fast Ethernet-Physik erlaubt eine Leitungslänge von 100m zwischen zwei Teilnehmern, die E-Bus-Leitung ist für Abstände bis 10m vorgesehen. Für jede Leitungsstrecke kann

Hardware

Als Ethernet Interface in der Steuerung kommen handelsübliche Netzwerkkarten zum Einsatz. Auf der gleichen Architektur basieren auch die von Beckhoff angebotenen Karten, die bis zu vier Ethernetkanäle auf einem PCI-Steckplatz bündeln. Allen diesen Interfacekarten ist gemeinsam, dass der Datentransfer zum PC per Direct Memory Acces (DMA) erfolgt, also keine CPU-Performance für den Netzwerkzugriff benötigt wird. Da die Ethernet-Funktionalität des Betriebssystems vollständig erhalten bleibt, können alle betriebssystemkonformen Protokolle parallel auf dem selben physikalischen Netzwerk betrieben werden. Dies umfasst nicht nur Standard-IC-Protokolle wie TCP/IP, http, FTP oder Soap, sondern auch praktisch alle Industrial Ethernetprotokolle wie Modbus TCP, ProfiNet oder EthernetIP.

Netzwerkes an sich werden jedoch nur geringfügig eingeschränkt: lediglich in der ersten Station muss das UDP-Datagramm entpackt werden.

Sollwerten und Steuerdaten versehen und melden ihre Istposition und Status. Durch das Distributed Clock (siehe

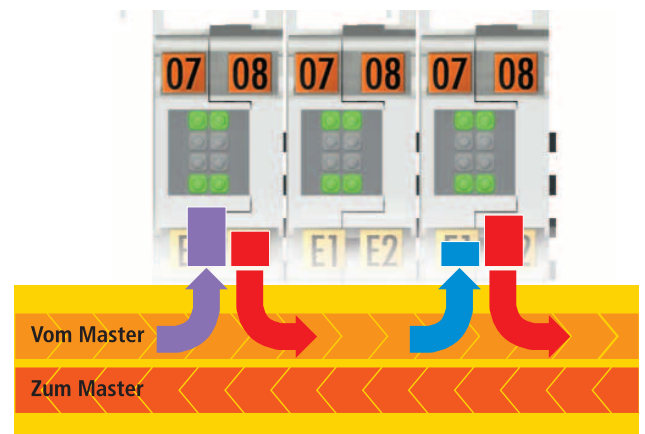
Topologie

EtherCat unterstützt nahezu beliebige Topologien. Die von den Feldbussen her bekannte Bus- oder Linienstruktur wird damit auch für Ethernet verfügbar. Praktisch für die Anlagenverdrahtung ist die Kombination aus Linie und Abzweigung bzw. Stichleitungen: die benötigten Schnittstellen sind auf den Kopplern vorhanden, zusätzliche Switches werden nicht benötigt. Dennoch kann die klassische Switchbasierende Ethernet-Stern-Topologie eingesetzt werden.

Performance

Kurz gesagt: EtherCat ist sehr schnell. Dank FMMU in der Klemme und DMA-Zugriff auf die Netzwerkkarten im Master erfolgt die gesamte Protokollbearbeitung in Hardware und ist damit unabhängig von der Laufzeit von Protokollstacks, von CPU-Performance oder Software-Implementierung. Die Updatezeit für 1.000 E/As beträgt 30 μ s – einschließlich Klemmendurchlaufzeit. Wie bereits erwähnt können mit einem einzigen Ethernet-

Bild 3: Die neu entwickelte Fieldbus Memory Management Unit in jeder E/A-Klemme entnimmt die für sie bestimmten Daten, während das Telegramm das Gerät durchläuft.



die Signalvariante individuell gewählt werden. Da bis zu 65.535 Teilnehmer angeschlossen werden können, ist die gesamte Netzausdehnung nahezu unbeschränkt.

Hot Connect

Viele Applikationen erfordern eine Änderung der E/A-Konfiguration während des Betriebes. Beispiele sind Bearbeitungszentren mit wechselnden sensorbestückten Werkzeugsystemen oder Transfereinrichtungen mit intelligenten, flexiblen Werkstückträgern. Die Protokollstruktur des EtherCat-Systems erlaubt es, Teile des Netzwerkes „on the fly“ an- und abzukoppeln, umzukonfigurieren und so flexibel auf wechselnde Ausbaustufen zu reagieren.

Diagnose

Die Verfügbarkeit und Inbetriebnahmezeiten hängen entscheidend von der Diagnosefähigkeit ab. Nur eine schnelle und präzise erkannte und eindeutig lokalisierbare Störung kann kurzfristig behoben werden. Deshalb wurde bei der Entwicklung des EtherCat-Systems besonderer Wert auf die 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 Topologieerkennung bis hinunter zu den einzelnen Klemmen kann nicht nur diese Überprüfung beim Systemstart stattfinden - auch ein automatisches Einlesen des Netzwerkes ist möglich (Konfigurationsupload). Bitfehler in der Übertragung werden durch die Auswertung der CRC-Prüfsumme erkannt: das 32Bit CRC-Polynom weist eine minimale Hamming-Distanz von 4 auf. Neben der Bruchstellenerkennung und -lokalisierung erlau-

Distributed Clock

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 Servo-Achsen gleichzeitig koordinierte Bewegungen ausführen. Der leistungsfähigste Ansatz zur Synchronisierung ist der exakte Abgleich verteilter Uhren - wie im neuen Standard IEEE1588 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. Beim 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, und es steht eine hochgenaue netzwerkweite Zeitbasis zur Verfügung, deren Jitter deutlich unter einer Mikrosekunde beträgt. 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 Geschwindigkeitssprüngen. Beckhoff führt mit EtherCat konsequenterweise auch neue, erweiterte Datentypen ein (Timestamp Data Type, Oversampling Data Type). Mit dem Messwert wird die lokale Zeit mit einer Auflösung von bis zu 10ns verknüpft - die große Bandbreite von Ethernet macht das möglich. 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.

ben Protokoll, Übertragungsphysik und Topologie des EtherCat-Systems eine individuelle Qualitätsüberwachung jeder einzelnen Übertragungsstrecke. Die automatische Auswertung der entsprechenden Fehlerzähler ermöglicht die exakte Lokalisierung kritischer Netzwerkabscchnitte. 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.

Busklemmen

Neben den neuen Ethernetklemmen mit E-Bus-Anschluss lassen sich sämtliche Kompo-

nenten mit K-Bus-Anschluss aus dem Beckhoff Busklemmen Programm anschließen. Das Programm umfasst entsprechende Koppler. Damit sind Kompatibilität und Durchgängigkeit zum bestehenden System gewährleistet, bestehende und zukünftige Investitionen werden geschützt.

Offenheit

Die EtherCat-Technologie ist nicht nur vollständig Ethernetkompatibel, 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 sogar mit minimalen Einbußen bei der Performance.

Beliebige Ethernetgeräte können innerhalb des EtherCat-Strangs via Hub-Klemme angeschlossen werden. Geräte mit Feldbuschnittstelle werden über EtherCat Feldbus Master-Klemmen integriert. Die UDP-Protokollvariante lässt sich auf jedem Socket-Interface implementieren. Schließlich ist vorgesehen, die Technologie nach Abschluss der Entwicklungsarbeiten offen zu legen.

Fazit

Die hohe Performance von EtherCat ermöglicht Steuerungs- und Regelungskonzepte, die mit klassischen Feldbusystemen nicht realisierbar waren. So kann beispielsweise nicht nur die Geschwindigkeitsregelung, sondern auch die Stromregelung verteilter Antriebe über Ethernet erfolgen. Die Bandbreite erlaubt es, zu jedem Datum z.B. auch Status-Informationen zu übertragen. 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. Dabei können zukünftige Geschwindigkeitssprünge bei Standard-Ethernet auch für EtherCat genutzt werden, eine Erweiterung auf Gbit-Ethernet ist also möglich. (kbn) ■

15818

www.beckhoff.de