

ControlNet

Einführung

Ein ControlNet-Netzwerk ist einfach und kostengünstig aufzubauen und bietet flexible Installationsalternativen. ControlNet erlaubt nahezu jede Topologie (Bus, Baum, Stern und Kombinationen daraus). Geräte-Abzweige können beliebig angeordnet werden, ohne Rücksicht auf Mindestabstände. Medienredundanz, als Mechanismus in der ControlNet-Spezifikation beschrieben, stellt eine kostengünstige Option zur Steigerung der Verfügbarkeit des Netzwerkes und damit des Gesamtsystems dar.

ControlNet nutzt ein RG-6-Koaxialkabel mit BNC-Steckern (weit verbreitet in der Kabel-TV-Industrie). Damit steht für ControlNet-Installationen eine preiswerte Technologie zur Verfügung, die von verschiedenen Herstellern für bestimmte Anwendungsbereiche angeboten werden (hochflexibel, bewehrt, hitze- und korrosionsbeständig, usw.). Zusätzlich ist dieses Kabel dank der hervorragenden Störungsempfindlichkeitswerte (EMV) sehr gut für die Fertigungsumgebung geeignet. Falls erforderlich, kann man mit LWL-Verbindungen die Netzwerkerweiterung und Störsicherheit noch weiter steigern.

ControlNet trägt dazu bei, die Netzwerkarchitektur im Werk flach zu halten. Die Kombination von zyklischem E/A-Update mit unregelmäßigem Nachrichtenverkehr (Peer-to-Peer-Nachrichten, Konfigurations- und Programm-Up-/Download-Anwendungen) gelingt hier mit einem einzigen Netzwerk. Dabei ist sichergestellt, dass weder Durchsatz noch Determinismus oder zyklische Wiederholbarkeit beeinflusst werden: Zeitkritische Daten haben garantierte Übertragungszeitpunkte, der restliche Datenverkehr lässt sich hinsichtlich seiner maximalen Übertragungszeiten eindeutig vorherbestimmen. Einfache Anwendungen (z.B. 32 Knoten mit je 8 Bit E/A-Daten) laufen innerhalb von 2 ms Netzzykluszeit ab.

Das **Producer/Consumer-Verfahren** ermöglicht mehreren Controllern die E/A-Steuerung auf der gleichen Leitung. Auch die Multicast-Übertragung von Eingängen und Peer-to-Peer-Daten trägt effektiv zur Reduktion des Datenverkehrs auf dem Netzwerk bei, denn so kann z.B. ein Signal gleichzeitig von mehreren Steuerungen gelesen werden. Auch die individuelle Einstellbarkeit der Update-Intervalle und anderer Kommunikationsoptionen für bestimmte Datenverbindungen trägt zur weiteren Effizienzsteigerung bei und erlaubt ein genaues Tuning auf die Applikationsanforderungen. So kann z.B. eine kontinuierliche, zyklische Multicast-Verbindung den regelmäßigen E/A-Datenaustausch sicherstellen, während eine andere azyklische Punkt-zu-Punkt-Verbindung nur ereignisbezogene Daten übermittelt. Anwendungen zur Zeitsynchronisation lokaler Uhren profitieren von der hohen Genauigkeit des Übertragungssystems.

Schließlich kann man auf ControlNet von jedem Knoten aus über das sogenannte „Network-Access-Port“ zugreifen, ein Vorteil bei Programmierung und Fehlersuche. Viele Netzinzustandhaltungsmaßnahmen können online erfolgen, ohne dass die laufende Kommunikation gestört wird; dazu gehören das Hinzufügen oder Entfernen von Geräten oder das Umkonfigurieren bestimmter Geräteparameter.

Zielanwendungen

ControlNet wurde mit Blick auf die hohen Echtzeit- und Performance-Anforderungen im Automatisierungs- und Steuerungsbereich entworfen. Das Netzwerk passt optimal für Anwendungen, bei denen Determinismus und wiederholbares Antwortverhalten, hoher Datendurchsatz, hohes Datenvolumen (analog und digital), Datenerfassung über ausgedehnte Entfernungen und hochsynchronisierte Steuerungs- oder Verriegelungsaufgaben benötigt werden. Da ControlNet aber ebenso effektiv die E/A-Updates und Nachrichtenübertragung für Peer-to-Peer-Anwendungen, Remote-Programmierung und Diagnose beherrscht, kann ControlNet ebenfalls als einziges Netzwerk für einfache Anwendungen installiert werden.

Mit ControlNet lassen sich auch viele komplexe Steuerungssysteme integrieren, die auf mehreren Controllern und/oder DCS-Geräten aufgebaut sind. Dazu gehören beispielsweise koordinierte Antriebssteuerungen, Schweißsteuerungen, Motion-Controller, Vision-Systeme, komplexe Batch- und

Prozesssteuerungssysteme mit hohem Datenbedarf sowie Anlagen mit mehreren Steuerungen und Bedien- und Anzeigegegeräten.

Das ControlNet-Protokoll

Die ControlNet-Spezifikation entstand aus der technologischen Zusammenarbeit mehrerer Anbieter hinsichtlich Design, Review und Test von Produkten. Die Dokumentation basiert auf dem klassischen OSI-Referenzmodell (ISO/IEC 7498-1), bestehend aus den Schichten „Bitübertragung“, „Sicherung“, „Vermittlung“, „Transport“ und „Anwendung“ (mit Kommunikationsobjekten und Diensten) sowie den zugeordneten Managementfunktionen.

Eigenschaften der Bitübertragungsschicht

ControlNet nutzt drei Varianten von Übertragungsmedien:

- RG6-Koaxialkabel wird in Verbindung mit BNC- und TNC-Steckern als passive Bustechnologie genutzt (Abzweige mit Stichleitungen dienen zum Geräteanschluss an die Fernleitung)
- LWL kann bei Punkt-zu-Punkt-Verbindungen optional eingesetzt werden
- NAP (Network Access Port) ist eine lokale RS422-Verbindung zum temporären Direktanschluss ans ControlNet für Konfigurations-, Diagnose- und Programmierzwecke.

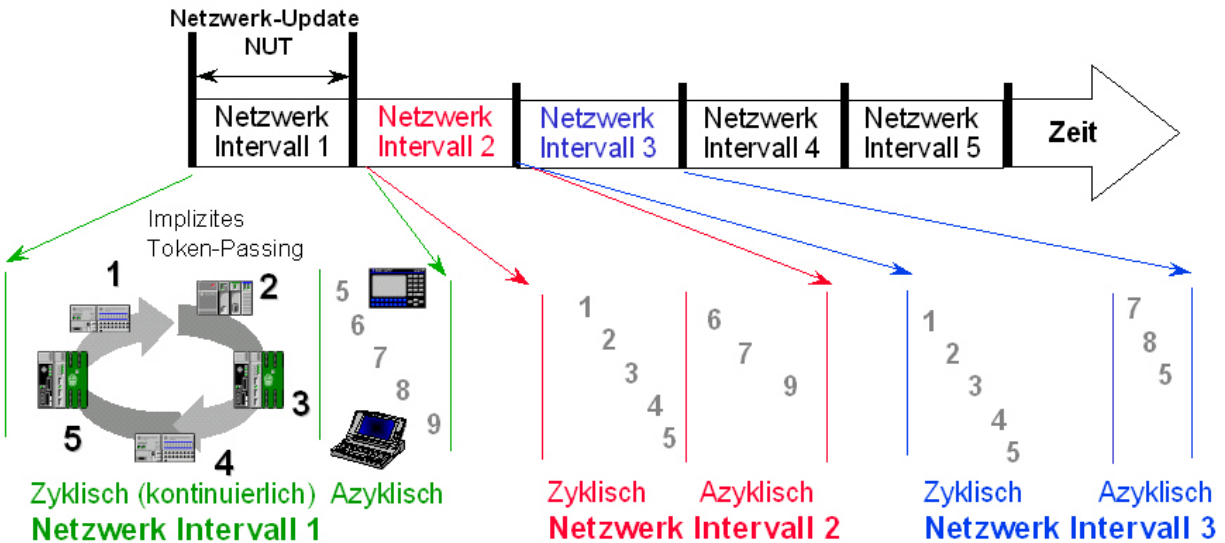
Sowohl Koaxial- als auch LWL-basierende Systeme können mit bestimmten Komponenten bis in den Ex-Bereich verlegt werden. Unterschiedliche Netzwerktopologien wie Bus, Baum, Stern sowie Kombinationen daraus werden unterstützt. ControlNet erlaubt bis zu 99 Knoten in einem Netzwerk; bei Verwendung von Koaxialkabeln sind bei 2 Teilnehmern maximal 1000 m Busausdehnung möglich (250 m mit 48 Teilnehmern). Unter Verwendung von Repeatern lässt sich eine maximale Ausdehnung des Netzwerks von 25 km erreichen. Dabei unterstützt ControlNet auch eine kostengünstige Medienredundanz: Alle angeschlossenen Geräte, die Medienredundanz unterstützen, überprüfen kontinuierlich die Signalqualität beider Kanäle und entscheiden automatisch, welcher Kanal benutzt wird. Die Daten werden mit 5 Mbit/s manchester-kodiert übertragen, wodurch exakte Zeitsynchronisation und hohe Übertragungssicherheit garantiert wird; zusätzliche Fehlererkennung garantiert ein 16-Bit-CRC für jedes Datenpaket.

Eigenschaften der Sicherungsschicht

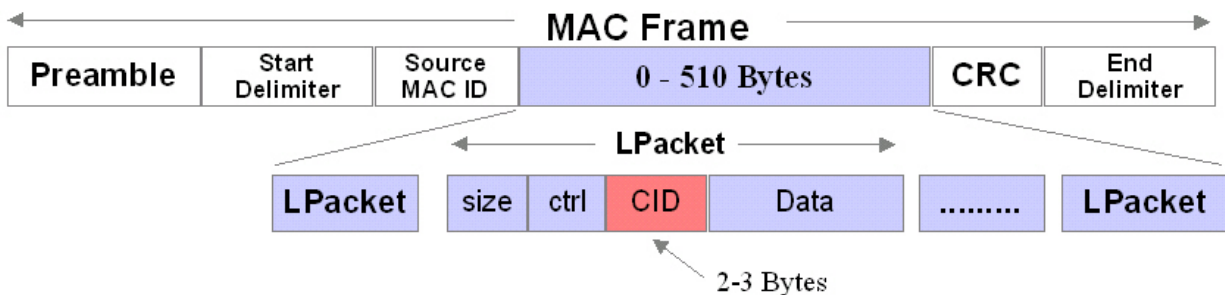
Für den Medienzugriff benutzt ControlNet ein Verfahren namens CTDMA (Concurrent Time Domain Multiple Access). Dieses wurde speziell entworfen im Hinblick auf die Performance von E/A-Daten oder Analogwerten sowie von zeitkritischen Verriegelungssignalen, die nicht unter der zusätzlichen Übertragung anderer Nachrichten für Programmier- oder Konfigurationsanwendungen leiden darf.

Dabei wird ein Zeitscheibenverfahren zugrundegelegt: Zyklische Übertragungsintervalle können zwischen 2 ms und 100 ms in der sogenannten NUT (Network Update Time) festgelegt werden. In jeder NUT wird zwischen zeitkritischen (zyklischen) und zeitunkritischen (azyklischen) Daten unterschieden.

Der Medienzugang wird den individuellen Knoten durch ein implizites Tokenverfahren innerhalb jedes Intervalls garantiert. Es gibt bei ControlNet keinen zentralen Bus-Scheduler, die Busverwaltung erfolgt dezentral. Alle Teilnehmer werden fortlaufend synchronisiert und wissen daher zu jedem Zeitpunkt, wann sie an der Reihe sind und wer gerade sendet. Der Tokenumlauf (round-robin) setzt sich fort jeweils bis zur höchsten konfigurierten Adresse (SMAX, UMAX) und beginnt im nächsten NUT-Intervall wieder von vorn. Fällt ein Teilnehmer aus, so wartet der Knoten mit der nächsthöheren Adresse (MAC ID) einen „Time-Slot“ ab und beginnt dann seinerseits mit dem Senden. Wird der ausgefallene Teilnehmer später wieder aktiv, reiht er sich automatisch wieder in den Sendeumlauf ein, ohne dass der Netzwerkbetrieb angehalten wird. Hat eine Station nichts zu senden, schickt sie ein „Null Frame“.

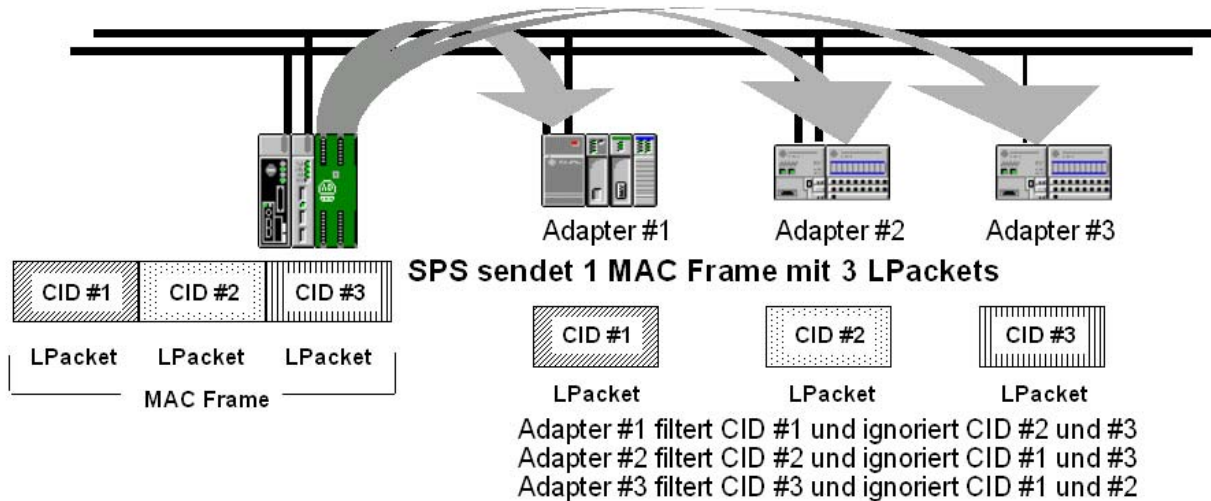


- In der ControlNet-Konfiguration wird die Übertragungsbandbreite für zeitkritische Daten im Voraus reserviert. Dieser zyklische Dienst (Scheduled Service) ist streng deterministisch und reproduzierbar. Die dafür reservierte Zeit richtet sich nach den zu erwartenden Applikationsanforderungen (unabhängig davon können die Sende-Zeitpunkte von Datenpaketen individuell eingestellt werden).
- Die übrige Zeit bis zum Ende der NUT wird für den Transport zeitunkritischer und azyklischer Daten benutzt (Unscheduled Service). Anders als im zyklischen Dienst ist dieses Zeitfenster nicht bestimmten Knoten fest zugewiesen, sondern wird je nach Bedarf von beliebigen Teilnehmern genutzt. Das bedeutet, dass die Datenübertragung im azyklischen Dienst keinerlei Auswirkung auf die zyklischen Daten hat und hinsichtlich der maximalen Übertragungszeit vorhersagbar bleibt.
- Zum Ende einer NUT werden im „Guardband-Slot“ Synchronisationsdaten übermittelt.



Aus Effizienzgründen werden die Applikationsdaten in einem MAC-Frame (MAC = Media Access Control) mit variabler Paketgröße zusammengefasst.

Für den Datenaustausch dieser Datenpakete nutzt ControlNet das Producer/Consumer-Kommunikationsmodell. Anstelle individueller Quell- und Zieladressen enthalten die Datenpakete eine CID-Kennzeichnung (CID = Connection Identifier). Ein Producer (Erzeuger) gibt per Broadcast ein Datenpaket auf die Leitung, und alle am Empfang interessierten Consumer (Verbraucher) können dieses Paket gleichzeitig aufnehmen, indem sie über den CID die entsprechenden Pakete herausfiltern und die enthaltenen Daten nutzen. Dieses Modell unterstützt praktisch alle bekannten Kommunikationsbeziehungen, von Master/Slave über Multimaster bis zu Peer-to-Peer.



Die zu übertragenden Datenblöcke sind meist sehr **klein**.
 Besonders **effizient** wird die Datenübertragung durch die Zusammenfassung mehrerer LPacket in einem größeren MAC-Rahmen.

Eigenschaften der Transport- und Vermittlungsschicht

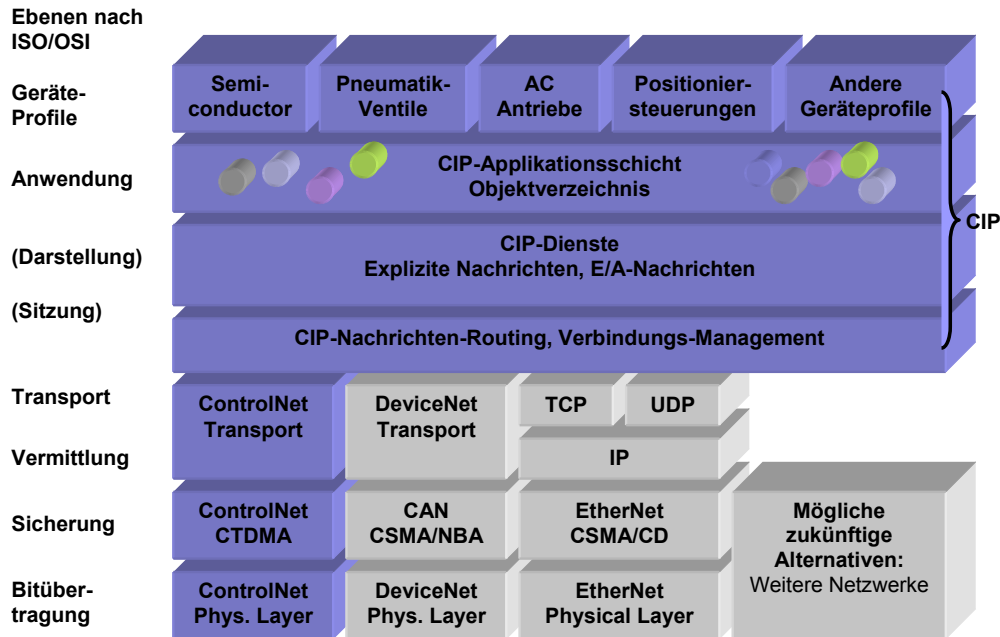
Bevor Daten übertragen werden, muss bei ControlNet eine virtuelle Verbindung zwischen zwei Applikationen aufgebaut werden. Eine solche virtuelle Verbindung ist definiert über die beiden Endpunkte für den Datentransfer. Spezielle Mechanismen stellen den Verbindungsaufbau über besondere (verbindungslose) Transfers sicher.

Es gibt unterschiedliche Transportdienste für diese Verbindungen. Sie können applikationsabhängig und vielseitig kombiniert werden. Verbindungen können entweder „Multicast“ oder „Peer-to-Peer“ sein. Für die Initialisierung der Datenübertragung kann zwischen „zyklisch zeitgesteuert“, „ereignisgesteuert“ oder „applikationsgesteuert“ gewählt werden. Unterschiedliche Transportklassen gewährleisten Duplikat-Erkennung, Bestätigung, Verifizierung und Fragmentierung (für lange Nachrichten).

Eigenschaften der Anwendungsschicht

Die oberen Ebenen des ControlNet-Protokolls basieren auf dem CIP (Common Industrial Protocol). Sowohl die Kommunikations- als auch die Applikationselemente werden als „Objekte“ verstanden. Explizit Messages können Dienste anfordern, die auf korrespondierende Objektinstanzen (oder deren Attribute) angewendet werden. Dieses Schema verbessert den expliziten Zugriff auf alle Konfigurations-, Status- und Runtime-Variablen in einem Netzknoten. Gleichzeitig erlauben implizite E/A-Verbindungen einen direkten und besonders effizienten Austausch von E/A-Daten, ohne zusätzliche Zwischenverarbeitung.

Netzarchitektur



Management-Eigenschaften

ControlNet erlaubt eine dynamische Netzwerk-Rekonfiguration (Rescheduling). Jeder Netzknoten hält eine Kopie der Verbindungsparameter sowie der lokalen Timing-Vorgaben. Spezielle Netzknoten, „Keeper“ (Wächter) genannt, enthalten die Verbindungs- und Timing-Parameter für das gesamte Netzwerk: Der primäre Keeper sichert die Konsistenz der gesamten Konfiguration während des Startup und der Online-Rekonfiguration des Netzwerks, während sekundäre Keeper automatisch als Backup für den primären Keeper arbeiten. Das bedeutet, dass individuelle zyklische Verbindungen (Scheduled Connections) geändert oder aufgelöst werden können, ohne andere existierende Übertragungen zu beeinflussen; sogar Netzknoten können hinzugefügt oder entfernt werden ohne Einfluss auf andere Knoten.

Das ControlNet-Protokoll definiert z.B. auch spezielle Broadcast-Messages für die Zeiteinstellung, die in Verbindung mit den Clock-Synchronisationsmechanismen im Data Link Layer die Realtime-Clocks in den Knoten mit hoher Genauigkeit (besser als 10 Mikrosekunden im gesamten Netzwerk) synchronisieren. Für die Netzwerkdiagnose ist ein einheitliches Verhalten der Kommunikationsparameter innerhalb von ControlNet spezifiziert.

Änderungen gegenüber EN 50170/A3

ControlNet war in DIN EN 50170/A3 festgelegt.

Die betreffenden Festlegungen der jetzt vorliegenden oben erwähnten Internationalen Normen unterscheiden sich hiervon durch die in 1.4 erläuterte neue Beschreibung der Applikationsschicht und die in 1.3 genannte Harmonisierung in der Sicherungsschicht sowie durch die folgenden Punkte:

- Die detaillierte Spezifikation der Bitübertragungsschicht befindet sich in der IEC 61158-2.
 - Einige gerätespezifische Teile des Station Management werden als informeller Anhang beschrieben.
- Die technischen Festlegungen sind jedoch identisch. Produkte, die mit Festlegungen aus DIN EN 50170/A3 übereinstimmen, stimmen also auch mit den entsprechenden Festlegungen in den oben genannten Internationalen Normen überein.