Die Feldbusse : der grosse Basar : Teil 1 : die Probleme der industriellen Kommunikation

Autor(en): **Prasad, R. / Decotignie, J. D.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **84 (1993)**

Heft 21

PDF erstellt am: **30.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-902741

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Die richtige Wahl eines Feldbusses oder eines Sensor-Aktuator-Busses ist keine leichte Aufgabe. Ziel dieser Folge von drei Artikeln ist, den Einsteiger bei der Wahl der seinen Bedürfnissen entsprechenden Lösung zu unterstützen. Auch der erfahrene Benützer wird darin – so hoffen wir – die Klärung gewisser Fragen finden. Im ersten Teil werden Kommunikationsprobleme erläutert, die auf der tiefsten Hierarchiestufe auftreten. In späteren Teilen werden die Anwenderbedürfnisse erklärt und Vergleichskriterien für bereits existierende Lösungen aufgestellt sowie ein Vergleich der existierenden Feldbusse durchgeführt.

Die Feldbusse – der grosse Basar

Teil 1: Die Probleme der industriellen Kommunikation

■ R. Prasad und J.D. Decotignie

Feldbusse sind erstmals um 1983 aufgetaucht. Ihre Aufgabe war, die Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zwischen Sensoren und der ersten Automationsstufe zu ersetzen. Die für die Datenakquisition verwendeten Netzwerke, wie z.B. Camac oder MIL-STD 1553, existierten bereits früher, waren jedoch infolge ihres hohen Anschaffungspreises nicht einsetzbar. Als dann aber günstige und komplexe Kommunikationsschaltungen auf dem Markt erschienen, war man in der Lage, wettbewerbsfähige Netzwerke mit traditionellen Verbindungen, wie zum Beispiel der berühmten 4-20-mA-Verbindung, anzubieten. Heute liegen eine ganze Anzahl Lösungen vor. Einige sind standardisiert, andere sind De-facto-Standards, wieder andere laufen noch unter dem Vertraulich-Vorbehalt. Der am weitesten verbreitete und bereits normierte Feldbus ist Bitbus von Intel. Unter diesen verschiedenen Lösungen die richtige Wahl zu treffen, ist schwierig.

In diesem Artikel soll gezeigt werden, wo die Feldbusse in der industriellen Kommunikationshierarchie eingeordnet sind. Natürlich ist der Einsatz der Feldbusse nicht auf die Industrie beschränkt; die Probleme in anderen Branchen sind jedoch ähnlicher Natur. Wir werden uns mit den Besonderheiten des Informationsaustausches zwischen den Geräten, die durch einen Feldbus verbunden werden können, befassen. Diese Besonderheiten werden von den Personen, die Punkt-zu-Punkt-Verbindungen durch einen Feldbus ersetzen, oft vergessen. Eine Lösung, die auf den ersten Blick die Forderungen zu erfüllen scheint, kann sich später als nicht ausreichend erweisen und teure Folgeentwicklungen verursachen.

Die Produktionshierarchie

Die Steuerung eines Produktionssystems wird durch das Zusammenspiel von Rechnern sowie mechanischen, hydraulischen und pneumatischen Systemen realisiert und durch menschliche Operateure kontrolliert. Dieses Zusammenspiel wird durch die Unterteilung in eine bestimmte Anzahl von Stufen hierarchisch organisiert. Die manuellen oder automatischen Systeme auf der Stufe N erhalten Befehle von der übergeordneten Stufe N+1. Anhand dieser Befehle werden entsprechende Befehle an die untergeordneten Systeme auf der Stufe N-1 weitergegeben. Diese Systeme leiten Fortschrittsrapporte an den Befehlsgeber der Stufe N+1 zurück oder bestätigen ihm das Ende der Operation (Bild 1). Die Anzahl der Stufen ist vom Typ des Produktionssystems und seiner Komplexität abhängig. In der Literatur sind bereits viele Produktionssystem-Modelle vorgeschlagen worden [1]; sie werden auch zukünftig eine wichtiges Forschungsgebiet darstellen. Bezüglich hierarchischer Unterteilung unterscheiden sich die verschiedenen Modelle wenig voneinander. Die Tabelle I stellt eine vernünftige Synthese der verschiedenen Vorschläge dar. Sie präzisiert die Ideen für die unterliegenden Stufen.

Adresse der Autoren:
R. Prasad, Dipl. Ing. ETH, und
Prof. Dr. *J.D. Decotignie*, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Laboratoire d'informatique technique, 1015 Lausanne.

Öffentliches Netz	Stufe		Manufacturing	Process Control
Top	6	Plant Management	Plant Management	
Map	5	Factory Controller	Supervisory Controller	
Mini-Map	4	Cell/line Controller	Linie	Distributed Control System
Backplane/ Mini-Map	3	Workstation Controller	Maschine	Process Controller
Feldbus	2	Automation Module Ctrl	Achsen	Dedicated Controller
Feldbus	1	Device Controller	Achse	Dedicated Controller
	0	Sensor or Actuator		

Tabelle 1 Produktionsstufe N

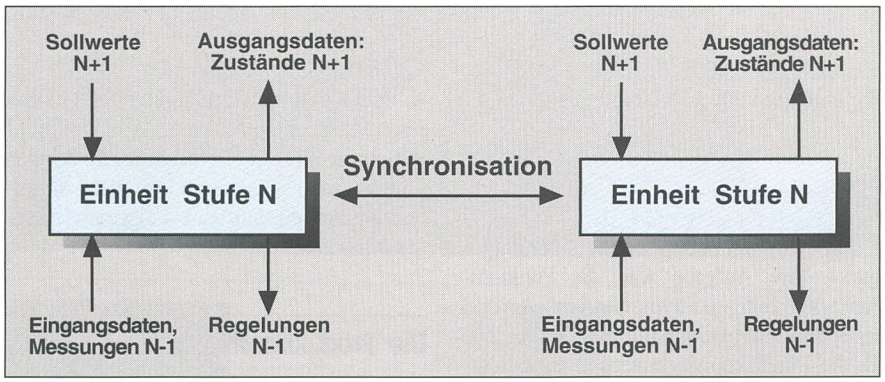


Bild 1 Die Produktionshierarchie

Um den unterschiedlichen Begriffen in der Literatur Rechnung zu tragen, wird zwischen *Fabrikation* (Manufacturing) und *Prozesskontrolle* (Process Control) [2;3] unterschieden. Die Prozesskontrollsysteme sind mit einem Minimum von menschlichen Eingriffen ununterbrochen im Einsatz (d.h. 24 Stunden täglich und 7 Tage wöchentlich). Diese Arbeitsweise ist dann notwendig, wenn Produktionsunterbrüche schwere finanzielle Verluste zur Folge haben. Prozesskontrollsysteme verlangen eine grösstmögliche Zuverlässigkeit und ein bestmögliches Verhalten im Schadenfall. Fabrikationsanlagen arbeiten in der Regel im Achtstundenbetrieb während fünf Tagen pro Woche, wobei sie einen relativ grossen Anteil an menschlicher Arbeitskraft bedingen. Sie können ohne grosse Verluste angehalten und wieder gestartet werden[1]. Um die Rentabilität dieser Anlagen zu steigern, besteht die Tendenz, sie im Schichtbetrieb laufenzulassen. Je nach Einsatzort sind Prozesskontrollsysteme verschiedenen schädlichen Einflüssen ausgesetzt (Witterung, Korrosion usw.) In Anwesenheit von Zündstoffen dürfen sie keine Brand- oder Explosionsgefahr darstellen (Inhärente Sicherheit, Intrinsic Safety [4]). Man sieht, dass die zwei Prozessgruppen sowohl funktionelle als auch betriebliche Unterschiede aufweisen. Diese Unterschiede haben Einfluss auf die Konzeption des Feldbusses.

[1] Die Funktionsweise von Dienstleistungen (Banken, Buchhaltungen usw.) kann man unter der Bedingung, dass die daraus resultierenden Produkte richtig identifiziert werden, sehr einfach mit einem Fabrikationsverfahren vergleichen.

Die hierarchischen Stufen

Das primäre Ziel eines hierarchisch organisierten industriellen Kontrollsystems (Bild 2 und Tab. I) ist die Steuerung eines durch Sensoren erfassten physikalischen Prozesses (Stufe 0). Die Sensoren und Aktuatoren sind auf der ersten Automationsstufe (Stufe 1) miteinander verbunden. Auf dieser Stufe steuert jedes Automationsgerät (auch Reflexautomat genannt) eine einzige Prozessvariable so, dass diese innerhalb vorgeschriebener Grenzen bleibt oder einem von der überliegenden Automationsstufe (Stufe 2) vorgegebenen Sollwert folgt. Die Variation dieser Grösse kann diskreten (z.B. Stückwechsler einer Werkzeugmaschine) oder kontinuierlichen Charakter (z.B. Temperaturüberwachung in einem Heizungssystem) haben. In Tabelle I ist der Begriff Achse [5;6] allgemein zu verstehen, muss also nicht unbedingt mit einer Bewegung verbunden sein.

Die Automationsgeräte der Stufe 2 (Achsen) bestimmen die Soll- oder Grenzwerte der Variabeln und fahren diese Variabeln in gegenseitiger Abhängigkeit, um eine korrekte Operation zu gewährleisten. Als typischer Fall mag hier ein Interpolator in einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine gelten, dessen Aufgabe darin besteht, die Bewegungen mehrerer Achsen zu koordinieren, damit das Werkzeug einer vorgegebenen Bahn folgt. Diese Einheiten erhalten ihre Befehle von den Einheiten der höheren Stufe (Stufe 3) und übermitteln ihnen den Ist- oder Arbeitszustand.

Auf Stufe 3 (Stufe Maschine) übernehmen die Automationsgeräte die Aufgabe, die Aktionen oder die Funktionsbedingungen mehrerer Elemente oder Elementegruppen zu koordinieren, so dass die Operationen oder die Operationssequenzen auf feste oder flüssige Objekte optimal ausgeführt werden. Dies ist die typische Aufgabe einer numerischen Steuerung, welche die Verarbeitung eines Werkstücks oder die Funktion einer Robotersteuerung sicherstellt. Alle Einheiten erhalten die Befehle von Systemen der Stufe 4 (Stufe Linie). Die Automationsgeräte der Stufen 1 bis 3 sollten Selbstdiagnostik durchführen können und bei der

Entdeckung von abnormalen Situationen sofort Entscheidungen treffen. Besitzen sie die dazu notwendigen Voraussetzungen nicht, so müssen sie die Situation an die höhere Stufe weitermelden.

Auf Stufe 4 befinden sich die Automatisierungszellen oder Fabrikationsanlagen, die für die Optimierung der Produktefertigung oder der Produktionslinie verantwortlich sind. Diese entscheiden, wo und wann eine vorgegebene Operation ausgeführt werden muss, und stellen sicher, dass alle notwendigen Ressourcen zur Verfügung stehen. Die Stufen 5, 6 und höher sind nicht Bestandteil dieser Studie.

Zu bemerken ist, dass in den Unternehmungen nicht a priori alle erwähnten Stufen vorhanden sein müssen und dass gewisse Stufen auch doppelt vorkommen können. Die oben beschriebenen Funktionen sind jedoch, unabhängig von der tatsächlichen Zahl der Stufen, immer vorhanden. Uns interessieren die Stufen 0 bis 3, jene Stufen, wo der Feldbus eingesetzt werden kann. Im folgenden werden wir die Eigenschaften des Datenaustauschs zwischen diesen Stufen betrachten.

Charakteristiken des Verkehrs zwischen den Stufen 0 bis 2

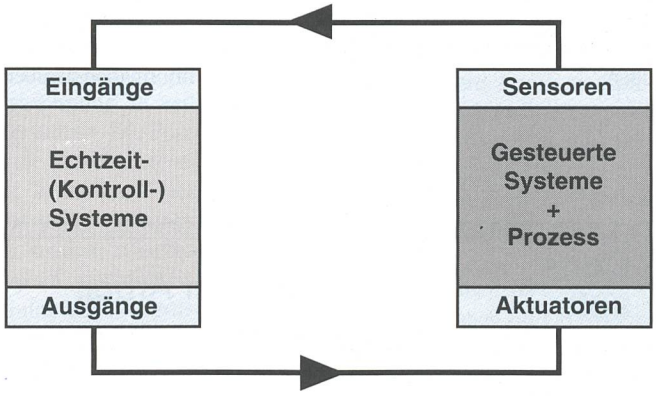
Die primäre Funktion der Stufen 1 und 2 sowie der Stufen 3 und 4 besteht darin, die Produktion unter vordefinierten Bedingungen und Zielsetzungen zu gewährleisten. Zu diesem Zweck müssen auf dieser Stufe die Einheiten eine Diagnostik durchführen, d.h. sie müssen den Zustand des Prozesses oder eines Teiles des unter ihrer Kontrolle stehenden Prozesses kennen. Das Wort Diagnostik bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Einheiten erfassen müssen, in welchem Zustand sich das unter ihrer Kontrolle stehende Teilsystem befindet und wie der weitere Ablauf aussieht. Je nach Diagnostik werden die Einheiten auf andere unter ihrer Kontrolle stehende Einheiten wirken (z.B. auf die Aktuatoren, falls es sich um die Stufe 1 handelt), indem sie die Entwicklung des Prozesses beeinflussen, um das momentane Ziel zu erfüllen.

Eine solche Diagnostik ist immer das Resultat der Gegenüberstellung einer Messung mit dem vorgängig definierten Prozessmodell. Als Beispiel soll die Analyse einer Mikroprozessorschaltung mittels eines Loganalysers dienen (Bild 3). Es handelt sich um ein Speicheroszilloskop, das mehrere logische Signale gleichzeitig aufzeichnen kann. Der linke Teil von Bild 3 zeigt das auf dem Bildschirm festgehaltene tatsächliche Verhalten des überwachten Gerätes, der rechte Teil sein erwartetes Verhalten (Modell). Der Vergleich dieser zwei Teile erlaubt nun festzustellen, ob sich das Gerät normal verhält. Wenn nicht, muss ein Korrektureingriff vorgenommen werden.

Der Benutzer interessiert sich besonders für den Zustand der verschiedenen Signale und die Sequenzen der entsprechenden Zustandsänderungen. Es ist sehr wichtig zu wissen, ob ein Signal seinen Zustand vor, gleichzeitig oder nach einem anderen Signal ändert. Mit anderen Worten, man muss die Reihenfolge der Signale bzw. die Gleichzeitigkeit dieser Zustandsänderungen kennen.

Bei der Messung können diese Eigenschaften auf zwei Arten realisiert werden [7;8]. Die erste Art besteht darin, die Werte der Signale in vorbestimmten Zeitpunkten zu lesen, wobei der Zeitabstand zwischen zwei Punkten von der Prozessdynamik abhängt. Man misst für jedes Signal S_k eine Reihe von Werten $S_{ik} = S_k(t_i)$. Die Zeitpunkte sind identisch für alle Signale. Dieses Vorgehen erlaubt, die Begriffe Gleichzeitigkeit und Synchronisation zu definieren. Sie ist typisch für Sampled Systems. Die zweite Art besteht darin, die Signale kontinuierlich zu messen und nur Zustandsänderungen aufzuzeichnen. Die Begriffe der Gleichzeitigkeit und Reihenfolge implizieren, dass jede Änderung einem Zeitpunkt zugeordnet wird, d.h. einen sogenannten Zeitstempel erhält. Formelmässig lässt sich die Aufzeichnung der Wertepaare Zustandsänderung-Zeitstempel folgendermassen beschreiben:

Bild 2 Interaktion zwischen Prozess und Automationssystem



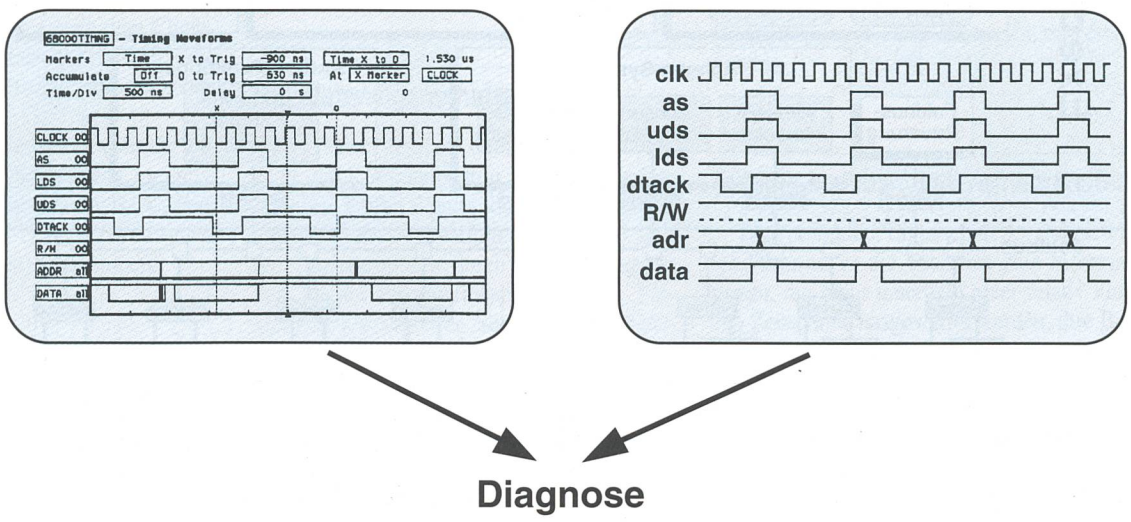


Bild 3 Vergleich von Messung und Modell

$$S_k = \{ev_{ik}, t_i\} \quad (1)$$
mit $ev_{ik} \in \{\uparrow,\downarrow\}$ und $t_i \in \Re$

Es ist klar, dass die in Bild 4 dargestellte Messung auf beide Arten erhalten werden kann. Verlassen wir nun dieses Beispiel, das anschaulich zeigen sollte, welche Eigenschaften man von einer Messung erwartet.

Es ist zu bemerken, dass die «Messsignale» auf der Stufe 1 von Sensoren stammen. Auf den höheren Niveaus handelt es sich lediglich um Informationen, die von Einheiten der tieferen Stufe übermittelt werden. Trotz unterschiedlicher Quellen haben aber alle die gleichen Eigenschaften.

Die zwei Arten, Messungen zu realisieren, entsprechen grob zwei Klassen von Kontrollsystemen. Die Event-Systeme basieren auf Änderungen des Zustandes. Die Sampled-Systeme, wie z.B. die Mehrzahl der Regulatoren, beruhen hingegen auf Messungen, die an vordefinierten Zeitpunkten durchgeführt werden. Ferner basieren diese Systeme auf einer periodischen Signalakquisition, wobei die Periode ΔT die Zeitdifferenz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Messungen angibt:

$$\Delta T = t_i - t_{i-1} \quad (2)$$

Die zusätzliche Hypothese der zeitlichen Äquidistanz der Messwerte erlaubt, die Kontrollalgorithmen bedeutend zu vereinfachen.

Zyklischer und verlangter Datenaustausch

Werden die gemessenen Werte über einen Bus übertragen, führt die Methode der Sampled-Systeme zu einer zyklischen oder periodischen Zustandsübertragung. Im Gegensatz dazu provozieren die Event-Systeme nur einen Austausch, wenn eine Zustandsänderung festgestellt wird. Diese bezeichnet man gewöhnlicherweise als ein Ereignis. Man spricht in diesem Fall von einem ereignisgesteuerten Austausch.

Aus der Sicht des Feldbusses können der zyklische und der ereignisgesteuerte Datenaustausch unterschiedlich behandelt werden.

Falls nämlich der Datenaustausch zyklisch erfolgt, ist wiederholter Austausch nicht erforderlich; man wird die Information des nächsten Zyklus verwenden. Andererseits müssen, weil die Abtastwerte keinen Zeitstempel enthalten, alle Werte einer Wertemenge, die einer Kontrolleinheit zur Verfügung gestellt werden, bezüglich ihres Messzeitpunktes t_i übereinstimmen. Diese Eigenschaft wird Zeitkonsistenz genannt. Sie muss bei einer Übertragung über den Bus respektiert werden, auch wenn die Abtastwerte von unterschiedlichen am Bus angeschlossenen Einheiten stammen. Die Einheiten, welche die der Abtastwerte entgegennehmen, müssen feststellen können, ob diese Eigenschaft respektiert wurde oder nicht. Die Information darüber muss vom Netzwerk geliefert werden. Der Feldbus muss auch den gleichzeitigen Empfang der Abtastwerte erlauben.

Der ereignisgesteuerte Datenaustausch ist dagegen per Definition punktuell. Die Austauschforderung wird nicht wiederholt. Ein sicherer Austausch ist unumgänglich. Tritt ein Übertragungsfehler auf, muss automatisch nochmals übertragen werden. Auch müssen alle am Bus angeschlossenen Einheiten die gleiche Uhr besitzen, um Inkonsistenzen zwischen den verschiedenen Zeitstempeln zu vermeiden. Die Erfahrung zeigt, dass es nicht genügt, sich bei der Datierung auf lokale Uhren zu verlassen, da die Abweichungen der verschiedenen Uhren zu gross werden können. Deshalb ist man gezwungen, diese regelmässig zu synchronisieren, was zu einem zusätzlichen Busverkehr führt. Die angeschlossenen Einheiten müssen die Ordnungs- und Kausalitätsbeziehung oder die Gleichzeitigkeit der Ereignisse feststellen können.

Bei der Verwendung eines Feldbusses ist der Austausch zwischen den Einheiten der Stufen 0 bis 2 hauptsächlich zyklisch. Normalerweise ist die Zyklusdauer konstant, und es können a priori verschiedene Zykluszeiten gleichzeitig auf demselben Feldbus koexistieren. Wir werden jetzt dieses Phänomen anhand der vorher erwähnten numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine erklären. Erwähnenswert ist, dass gewisse Feldbusse wie der Profibus zunächst für die Verbindung

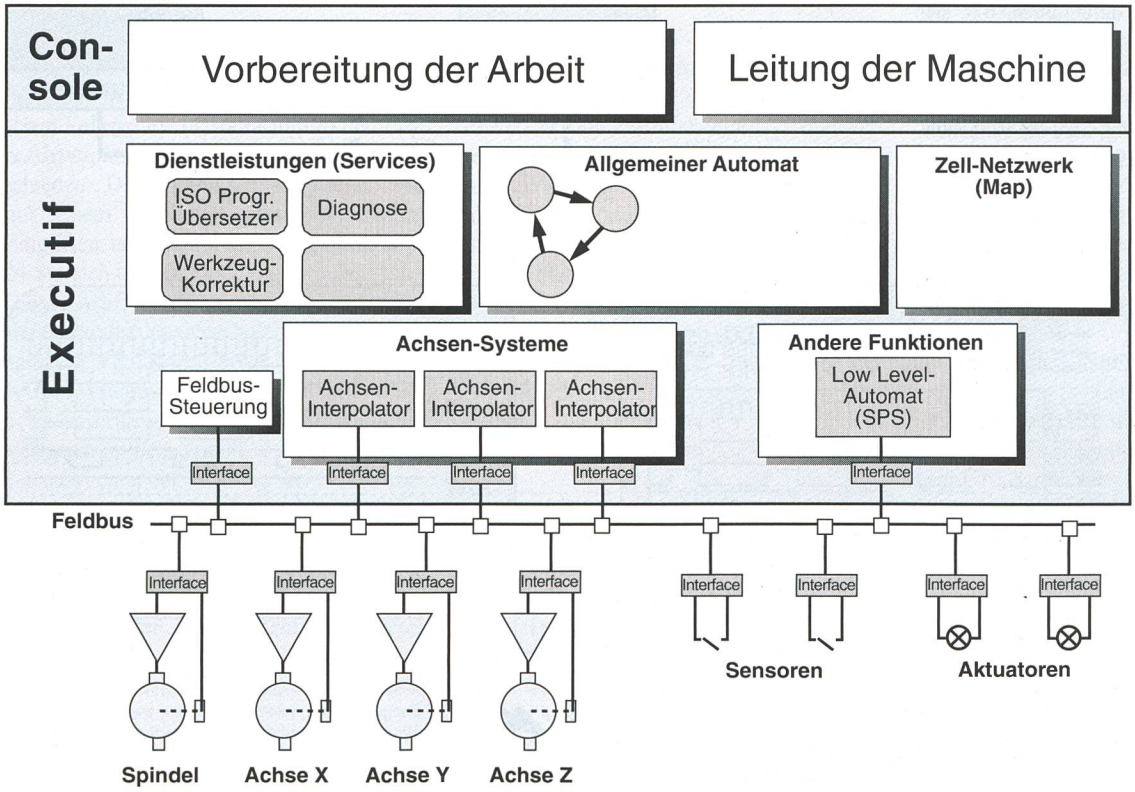


Bild 4 Architektur einer numerischen Maschinensteuerung

von Einheiten der Stufen 2 bis 4 vorgesehen waren. Auf diesen Stufen kommt hauptsächlich der ereignisgesteuerte Datenaustausch zur Anwendung, was die uneinheitliche Philosophie der Feldbuskonzeption erklärt.

Das Beispiel der Werkzeugmaschine

In Bild 4 ist eine Werkzeugmaschine schematisch dargestellt. Der Feldbus befindet sich zwischen den Stufen 0, 1 und 2. Die Einheiten der Stufe 2 sind die Interpolatoren [9], deren Aufgabe darin besteht, den Betrieb der Achsen und die Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS), die die übrigen Hilfsfunktionen wie z.B. Einölung, Giessen und Stückwechsel übernimmt, zu garantieren. In dieser Architektur steuert jeder Interpolator eine Achse, indem er die sukzessiven Sollwerte periodisch, ungefähr alle Millisekunden, übermittelt. Um auch in Ausnahmezuständen eine gute Koordination der Achsen zu garantieren, muss jeder Interpolator die Position der anderen Achsen kennen. Jede Achse muss also ihre Position an alle Interpolatoren senden.

Auch die SPS funktioniert zyklisch. Sie tastet den Zustand der unter ihrer Kontrolle stehenden Geräte (wie z.B. Sensoren, Aktuatoren und Spindel) ab, verarbeitet die Werte und sendet sie an diese zurück. In Anbetracht der Dynamik dieser Geräte genügt eine Zykluszeit von 20 bis 50 ms.

Anhand dieses Beispiels sieht man, dass die zyklischen Informationen im Netzwerk mit zwei verschiedenen Zykluszeiten übertragen werden müssen: Daten für die Achsen haben eine Periode von 1 ms und jene für Hilfsfunktionen eine Periode von 20 ms.

Seltenere Ereigniszustände, wie z.B. Alarme, werden nicht zyklisch übertragen. Solche Informationen können einen oder mehrere Empfänger haben. Der Austausch kann also von einer Einheit nach *N* anderen Einheiten erfolgen. Andere Informationen, wie z.B. die Fernkonfiguration von Funktionsparametern oder Programmen, werden nach dem Client-Server-Modell ausgetauscht, wobei die Kommunikationsverbindung nur zwischen zwei Einheiten besteht.

Auf dem Feldbus werden sowohl der zyklische als auch der punktuelle, d.h. ereignisgesteuerte Datenaustausch mit (z.B. Alarme) oder ohne Zeitstempel (z.B. Fernkonfigurationen von Programmen) vorkommen.

Die Kommunikationsbeziehungen

Am Beispiel der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine haben wir gesehen, dass der Informationsaustausch auf zwei Arten zustande kommt. Nehmen nur zwei Einheiten an der Kommunikation teil, d.h. fliessen die Informationen nur zwischen zwei Einheiten, so wird dieser Informationsaustausch oft im sehr verbreiteten Client-Server-Modell dargestellt: die Einheit, die eine Dienstleistung zur Verfügung stellt, nennt man Server und die Einheit, die diese Dienstleistung benötigt, nennt man Client.

Auf den unteren Stufen aber werden die zahlreichen Informationen anders ausgetauscht: die Informationen, die von einem Gerät (z.B. Sensor) kommen, können von vielen Einheiten der höheren Stufen genutzt werden. Eine Einheit wird beispielsweise die Daten zuhanden des Bedienpersonals auf einem Bildschirm anzeigen, eine andere wird dieselben Daten nutzen, um den Prozesszustand zu ermitteln. Bei der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine wird die Position einer Achse von vielen Interpolatoren benutzt, um alle Achsen gleichzeitig zu verlangsamen, falls ein Fehler auftritt. Die Position wird aber auch für die Rotationssteuerung der Spindel benötigt. In solchen Fällen findet der Austausch nicht mehr von Punkt-zu-Punkt (Point-to-Point), sondern zwischen mehreren Punkten (Multipoint) statt. Ein Erzeuger (Producer) stellt Informationen mehreren Abnehmern (Consumers) zur Verfügung. Deshalb spricht man von einem Producer-Distributor-Consumer-Modell [11]. Die Feldbusse müssen beide Modelle unterstützen.

Grösse	Bit Anzahl	Antwort Zeit	Beispiel
Schnelle analoge Änderung	12 bis 16	1 ms	Position oder Sollwert
Langsame analoge Änderung	12 bis 16	1 s	Temperatur
Logischer Indikator	1	1 ms	Überdruck
Logischer Aktuator	1	20 ms bis 1 s	Elektroventil
Numerische	16 bis 32	1 ms oder mehr	Zähler

Tabelle II Eigenschaften von Sensoren und Aktuatoren

Die Dateneigenschaften

Wir haben gesehen, dass sich die Feldbusse für die Kommunikation zwischen den Geräten der Stufen 0 und (oder Stufen 1 und 2) eignen. In der Normalfunktion zeichnet sich der Datenaustausch durch die Übertragung von kurzen Informationspaketen aus. Tatsächlich überschreiten Sensordaten nur selten 32 Bits (Tab. II). Dasselbe gilt auch für die Daten, die an die Aktuatoren geschickt werden. Die einzige erwähnenswerte Ausnahme betrifft das Konfigurieren von Geräten: Dieses kann einen grösseren Datenaustausch bedingen.

Zeit- und Raumkonsistenz, Synchronisation der Uhren

Zeitkonsistent bedeutet, dass alle Werte, welche einem Applikationsprozess von Geräten der tieferen Stufe übergeben werden, zum gleichen Zeitpunkt erfasst worden sind. Raumkonsistent bedeutet, dass mehreren Applikationsprozessen zur Verfügung gestellte Kopien eines bestimmmten Wertes identisch sein müssen. Bei Abtastsystemen stellt die Zeitkonsistenz eine Bedingung für eine gute Diagnostik der Prozesse dar. Bei Eventsystemen wird die Diagnostik mit Hilfe einer auf synchronisierte Uhren gestützten Datierung der Ereignisse realisiert. Die Synchronisationsmechanismen müssen separat und ausserhalb des Feldbusses implementiert werden.

Die Raumkonsistenz ist für die Sampled- und Event-Systeme wichtig. Sie ist immer notwendig, wenn mehrere Applikationsprozesse, deren Funktionen koordiniert werden müssen, auf dieselben Informationen zurückgreifen. Fehlt die Raumkonsistenz, besteht die Gefahr, dass die verschiedenen Applikationsprozesse falsche Entscheidungen treffen.

Der Begriff Raumkonsistenz ist nicht nur für die Daten, sondern auch für die Systemkonfiguration, die Beschreibung der Kommunikationseinheiten und Kommunikationsparameter der Applikationsprozesse wichtig. Werden zum Beispiel gewisse Kommunikationsparameter von mehreren Applikationsprozessen benutzt, so müssen Änderungen dieser Parameter allen Prozessen mitgeteilt werden.

Gültigkeitsdauer und Antwortzeiten

Eine besondere Eigenschaft der industriellen Prozesse ist die Tatsache, dass Informationen, die nicht innerhalb einer relativ kurzen Zeitspanne ausgewertet werden, ihre Bedeutung verlieren. Betrachten wir noch einmal das Beispiel der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine.

Eine Werkzeugmaschinenachse besitzt an jeder der beiden Endpositionen eine Sicherheitsvorrichtung, die, sobald die Endposition

überschritten wird, mittels eines Relais die Stromzufuhr unterbricht. Die digitale Steuerung besitzt zusätzliche interne (logische) Grenzpositionswerte, die nicht überschritten werden dürfen. Diese Grenzwerte sollen verhindern, dass die Maschine wegen eines Bedienungsfehlers die Endschalter berührt. Wenn das Ereignis, welches angibt, dass einer der logischen Grenzwerte erreicht worden ist, nicht rechtzeitig ausgewertet wird, erreicht die Achse den Sicherheits-Endschalter, womit das vorhergehende Ereignis «logische Endposition erreicht» jegliche Bedeutung verliert.

Das gleiche Phänomen tritt auch bei zyklischen Übertragungen auf. Der neue Wert aus einem neuen Gerätezustand ersetzt den alten Wert. Man kann also die Gültigkeitsdauer einer Information [10] als die Zeitdauer zwischen dem Zeitpunkt der Informationserzeugung und dem Zeitpunkt, bei dem die Information für ihren Benutzer die Bedeutung verliert, definieren.

Eine Information kann je nach Benutzer eine unterschiedliche Gültigkeitsdauer haben. Bei der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine werden die Positionswerte der Achsen einerseits von den Interpolatoren und andererseits von der Bildschirmdarstellung für die Kontrolle durch das Bedienungspersonal benötigt. Im ersten Fall ist die Gültigkeitsdauer in der Grössenordnung von einer Millisekunde, im zweiten Fall von einer Sekunde. Der Begriff der Gültigkeitsdauer lässt sich auf Sampled- und Eventsysteme gleichermassen verwenden. Er impliziert, dass das Netzwerk dem Benutzer ein Mittel für die Bestimmung des Informationsalters zur Verfügung stellen muss.

Die Anforderungen an die Antwortzeit ergeben sich meistens aus den Wünschen des Benutzers und aus den Eigenschaften des Netzes. Die Antwortzeit ist definiert durch die maximale Zeitdauer, die zwischen einer Übertragungsanforderung und der entsprechenden Antwort verstreicht. Beim Client-Server-Modell, bei dem nur zwei Einheiten zueinander in Beziehung stehen, ist die Antwortzeit klar definiert. Nutzen mehrere Applikationsprozesse die gleiche Information, ist es schwierig, eine eindeutige Antwortzeit zu definieren. Die einfachste Lösung besteht darin, die Antwortzeit durch die Gültigkeitsdauer zu ersetzen. Wie schon erwähnt, kommen in einem reellen System beide Arten der Kommunikationsbeziehung nebeneinander vor. Neben Übertragungen gemäss dem Producer-Distributor-Consumer-Modell wird es Ereignisse, zum Beispiel Alarme, geben, welche nach dem Client-Server-Modell übertragen werden und bei denen die Antwortzeit im klassischen Sinne zu verstehen ist. Die Idee der Gültigkeitsdauer ist jedoch sehr allgemein und kann auch beim Client-Server-Modell verwendet werden. Bei einem Datenaustausch des Typs Request-Response hat der Request lediglich eine beschränkte Gültigkeitsdauer, nach deren Ablauf der Response keine Bedeutung mehr hat.

Das Verhalten des Applikationsprozesses

Bei der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine (Bild 5) müssen die Interpolatoren synchron arbeiten, das heisst ihre Berechnungen gleichzeitig starten und sie vor Ablauf der gleichen Verfallzeit (Deadline) beendet haben. Der Low-Level-Automat für andere Funktionen, der als SPS arbeitet, führt seine Operationen unabhängig von den Interpolatoren aus. Man sieht, dass das Verhalten von verschiedenen Applikationsprozessen sehr unterschiedlich sein kann. Mit Hilfe des Vokabulars von J.P. Thomesse [11] werden im folgenden die verschiedenen möglichen Interaktionen beschrieben.

- Ein Prozess kann zu einem Zeitpunkt, wo er ein Signal von einem anderen Prozess erwartet, zum Anhalten seiner Aktivitäten gezwungen werden. Ein solcher Zeitpunkt wird Synchronisationspunkt genannt. Der Prozess, der das Signal sendet, muss klar definiert sein. Ein Rendezvous zwischen zwei Prozessen besteht also aus zwei Synchronisationspunkten, je einem für jeden Prozess.
- Ein Prozess, der mindestens einen Synchronisationspunkt besitzt, heisst synchron.
- Zwei oder mehrere Prozesse heissen synchronisiert, falls sie den gleichen Synchronisationspunkt benutzen. Das Kommunikationssystem übernimmt die Synchronisation der Prozesse. Es muss gewährleisten, dass zwei Prozesse das Synchronisationssignal gleichzeitig, das heisst, mit einer bestimmten zeitlichen Präzision empfangen.
- Alle anderen Prozesse heissen asynchron.
- Periodisch nennt man Prozesse, die mit einer konstanten Zykluszeit zyklisch arbeiten. Trifft dies nicht zu, ist der Prozess aperiodisch.

In der Welt der Feldbusse kommen fast alle möglichen Prozesskombinationen vor. Bei einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine (Bild 4) sind der Automat selbst und ein Interpolator periodische asynchrone Prozesse. Zwei Interpolatoren sind periodische synchrone Prozesse. Dieses Verhalten der Applikationsprozesse legt der Feldbuskonzeption und inbesondere dem Synchronisationsservice, welcher von der Applikationsschicht angeboten wird, Beschränkungen auf.

Sicherheit und Zuverlässigkeit

Zusätzlich zu den bisher erwähnten Aspekten sind im industriellen Umfeld besondere Anforderungen bezüglich Sicherheit und Zuverlässigkeit zu berücksichtigen[2]. Industrielle Installationen müssen kontinuierlich arbeiten; Unterbrechungen sind sehr kostspielig. Die Funktionsdauer zwischen zwei Ausfällen sowie die Wiederinstandstellungsdauer sind von grösster Bedeutung. Auf Protokollstufe bedeutet dies, dass die Anzahl der unentdeckten Fehler so klein wie möglich sein muss.

Definition eines Feldbusses

Der Feldbus ist ein lokales Kommunikationsnetzwerk, das die Feldgeräte wie Sensoren, Aktuatoren mit der ersten Automationsstufe (Tab. I) verbindet. Er wird in einem industriellen Produktionssystem eingesetzt. Wie alle Netzwerke der Teleinformatik, muss der Feldbus die Verbindung von Geräten herstellen und ihre Zusammenarbeit gewährleisten. Die Verbindung erlaubt zwei beliebigen Teilnehmern, Information auszutauschen. So wichtig diese Funktion ist, so genügt sie doch nicht, wenn zwei Geräte bei der Erfüllung einer Aufgabe zusammenarbeiten müssen. Die Teilnehmer müssen auch den Sinn der ausgetauschten Meldungen verstehen können. Diese Aufgabe erfüllen die Interfunktionsdienste des Netzwerkes.

Der Feldbus ist ein lokales Netzwerk, das für den Einsatz in einer industriellen Umgebung gedacht ist. Er besitzt deshalb eine auf die Grösse einer Fabrikanlage beschränkte Reichweite und muss die Zuverlässigkeits- und Sicherheitsbedingungen seiner Umgebung respektieren. Er befindet sich auf der tiefsten Hierarchiestufe der industriellen Produktion und muss deshalb den übergeordneten Automatisierungsebenen erlauben, ihre Aufgaben unter Einhaltung der Raum- und Zeitkonsistenz, der Gültigkeitsdauer und der Antwortzeiten zu erfüllen. Dabei muss er die zwei Arten des Informationsaustausches (zyklisch und ereignisgesteuert) unterstützen.

Das Interesse am Feldbus

Auch wenn heute auf Prozessebene noch der grösste Teil der Kommunikation durch Einzelverbindungen (Point-to-Point) reali-

[2] Unter Sicherheit werden hier zwei Aspekte verstanden: erstens die Fähigkeit des Systems, keine fehlerhaften Befehle auszugeben, und zweitens die Wahrscheinlichkeit, mit welcher Situationen ausgeschlossen werden können, bei denen Menschen oder Sachen Schaden nehmen. Die Zuverlässigkeit ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Gerät die benötigte Funktion unter den vorgegebenen Bedingungen und während einer bestimmten Dauer [9] durchführt.

siert wird, darf man doch nach dem Interesse fragen, diese durch einen Feldbus zu ersetzen. Je nach Einsatzgebiet ist die Motivation der Anwender unterschiedlich.

In Prozesskontroll-Anwendungen können die Geräte an schwer erreichbaren Stellen installiert sein. Für die periodische Kalibrierung und Kontrolle [12] werden solche Geräte mit einer Autodiagnostikfunktion ausgestattet und können nun fernkonfiguriert werden. Für die Aktivierung dieser Funktionen müssen die alten analogen durch digitale Linien ersetzt und mit einem Kommunikationsprotokoll ausgestattet werden. Für solche Fälle eignet sich der Feldbus geradezu ideal.

In den Fabrikationsbetrieben sind es vor allem die mit der Planung, der Realisierung und dem Unterhalt der Verkabelung verbundenen Kosten, die mehr und mehr ins Gewicht fallen [14]. Die Einführung eines Feldbusses erlaubt, diese Kosten zu reduzieren.

Neben diesen vorrangigen Gründen bringt die Einführung von Feldbussen noch viele andere Vorteile [14;15;16]:

- Die Akquisitionsfunktionen und ihre Verarbeitung sind getrennt; ein Sensorwechsel hat keinen Einfluss auf das Kontrollsystem.
- Systemerweiterungen sind viel einfacher und schneller zu realisieren; die Einführung eines Gerätes benötigt lediglich einige kleine Eingriffe und wirkt sich nicht mehr auf die ganze Steuerung aus. Dies ist vor allem beim Installieren von Optionen sehr interessant; solche Eingriffe können jetzt innerhalb weniger Minuten und nicht mehr in vielen Stunden vorgenommen werden.
- Das Kabel kann während der Datenübertragung auf Unversehrtheit überwacht und Fehler können einfach lokalisiert werden, was zu einer Reduktion der Eingriffszeit führt.
- Die analogen Werte werden gleich nach der Akquisition, das heisst vor der Übertragung, in numerische Werte umgewandelt; dadurch können die klassischen Störungs- und Isolationsprobleme vermieden werden.
- Alle über das Netzwerk übertragenen Werte stehen allen Teilnehmern zur Verfügung; damit kann die Duplikation der Sensoren oder der Kabel vermieden werden.
- Es kann vorkommen, dass die Leistung eines Steuersystems nicht ausreicht; in solchen Fällen kann ein neues Gerät problemlos und ohne zusätzliche Verkabelung eingeführt werden.
- Benötigen verschiedene Applikationsprozesse die gleichen Informationen, so kann die Raumkonsistenz der Daten mittels der Broadcastmöglichkeiten des Feldbusses einfach realisiert werden.
- Schliesslich ist jedes Interface zum Netzwerk mit einem Prozessor ausgerüstet; weil der Datenaustausch in getrennten Zeitabständen erfolgt, steht dieser Prozessor nicht immer im Einsatz. In der freien Zeit können Operationen wie Analog-Digital-Umwandlung, Filtrierung, Skalierung, Linearisierung oder Autodiagnostik übernommen werden.

Für alle diese Vorteile hat man einzig eine geringfügige Verlangsamung des Datenaustausches infolge des Multiplexings in Kauf zu nehmen.

Schlussfolgerungen

In diesem ersten Teil wurden die Feldbusse in den richtigen Zusammenhang eingeordnet und die spezifischen Probleme erläutert, welche bei der Konzeption zu beachten sind. Im zweiten Teil soll dann mehr auf die Anwenderbedürfnisse eingegangen und im dritten und letzten Teil ein Vergleich zwischen den marktgängigen Lösungen angestellt werden.

Danksagung

Die Autoren möchten Herrn Christian Unternährer und Herrn Bargmann für ihre Mithilfe bei der Übersetzung des Artikels herzlich danken.

Fortsetzung in Heft 25/93

Literatur

[1] *J.-D. Decotignie, P. Pleinevaux:* A Survey on Industrial Communication Networks. Annales des Télécommunications, à paraître.

[2] *T.J. Williams*: The Use of Digital Computers in Process Control. Instr. Soc. of America, 1984.

[3] *J. Bernard:* CIM in the Process Industries. Instr. Soc. of America, Res. Triangle Park, USA, 1989.

[4] *R. Garside:* Intrinsically Safe Instrumentation: a Guide. Instr. Soc. of America, Res. Triangle Park, USA, 1983.

[5] *A. Fossard et M. Clique:* Commande hiérarchisée. Cours de l'Ecole Nationale Supérieure d'Aéronautique, Toulouse, 1972.

[6] *F. Pruvot:* Introduction aux automates programmables. Cours EPFL, Lausanne, 1984.

[7] Groupe de réflexion temps reel du CNRS: Le temps réel. TSI 7(1988)5, pp. 493–500.

[8] *H. Kopetz, K. Kim:* Temporal Uncertainities in Interactions among Real-Time Objects. Proc. 9th Symp. on Reliable Distributed Systems. Huntsville, Al, Oct. 9–11, 1990, pp.165–174.

[9] *H. Nussbaumer:* Informatique Industrielle IV. Presse Polytechniques Romandes, Lausanne, 1987.

[10] *J.-P. Thomesse:* Time Critical Local Area Networks: Analysis of Needs and Characteristics. Contribution to TCCA group of ISO TC184, SC5 WG2, Oct., 1989.

[11] *J.-P. Thomesse:* Communication Models – Client-Server vs Producer-Distributor-User. Working paper N190 of TTCA group of ISO TC184, SC5 WG2, Oct. 1989.

[12] *B. Tinham:* What Users Say about Smart Transmitters. Control & Instr. 24(1992)4, pp. 75–77.

[13] ISO Norme Internationale 7498: Systèmes de traitement de l'information – Interconnexion de systèmes ouverts – Modèle de référence de base. 1984.

[14] *P. Pleinevaux, J.-D. Decotignie* , Time Critical Communications Networks: Field Busses, IEEE Network Mag. 2(1988)3, pp. 55–63.

[15] *D. Galara, J.-P. Thomesse:* Proposition d'un système de transmission série multiplexée pour les échanges d'informations entre des capteurs, des actionneurs et des automates reflexes. Ministère de l'Industrie et de la Recherche, Paris, France (1984). Une réimpression est disponible auprès des Editions KIRK, Paris.

[16] *J.-P. Thomesse et al.:* An Industrial Instrumentation Local Area Network., Proc. of IECON, pp. 73–78, 1986.

Réseaux de terrain – le grand bazar

1ère partie: le problème des communications industrielles

Le choix d'un réseau de terrain ou d'un réseau de capteurs et d'actionneurs ressemble aujourd'hui au supplice de Tantale. Nombre de solutions existent sur le marché et d'autres ne cessent d'apparaître. Plus grave encore, par manque d'information, de nombreuses entreprises réinventent à grands frais des solutions existantes. Par ailleurs, les avocats de ces solutions vantent leur produit, ce qui est bien naturel, mais beaucoup se contentent de comparaisons très partielles voire partiales. Ils oublient d'indiquer les problèmes et limites d'utilisation sans parler de l'investissement matériel et humain nécessaire à la première application.

L'objectif de cette série d'articles est d'aider le néophyte à choisir en connaissance de cause la solution adaptée à ses besoins. L'utilisateur chevronné y trouvera, nous l'espérons, quelque éclairage nouveau, fruit de l'expérience longue de près de 10 ans à l'EPFL.

Dans une première partie, nous allons montrer quels sont les problèmes posés par les communications aux plus bas niveaux de la hiérarchie. Une deuxième partie permettra de recenser les besoins émis par les utilisateurs. Ces deux parties nous donneront les exigences que doit respecter toute solution complète. Ces exigences serviront à établir les critères de comparaison des solutions existantes. Cette comparaison fera l'objet de la dernière partie.