



Optimales Zusammenwirken von Steuerungshard- und -software erlaubt die Verlagerung komplexer Regelkreise in die zentrale Steuerung

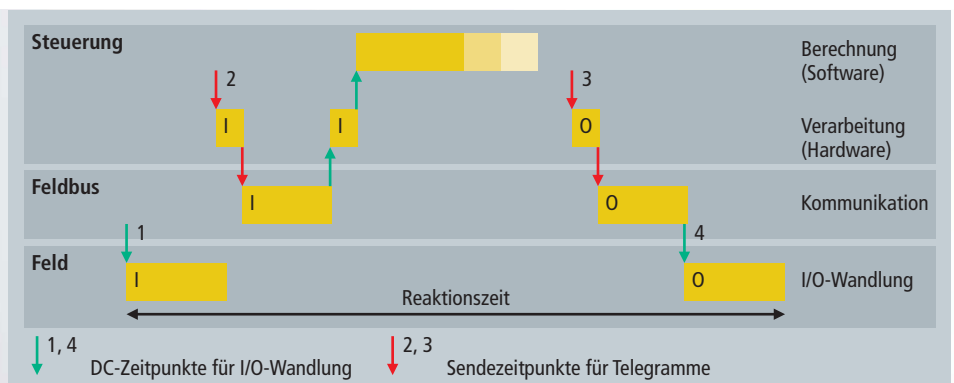
XFC: Steuerungstechnik im Sub-100- μ s-Bereich

Schnelle Regelkreise mit sehr kurzen Reaktionszeiten in der zentralen Steuerung zu schließen, stellt auch modernste Steuerungen vor eine Herausforderung. Allein die Schnelligkeit des Feldbussystems und die Leistungsfähigkeit der eingesetzten Hardware reichen hierfür nicht aus. Um echte Reaktionszeiten deutlich unter 100 μ s erzielen zu können, müssen alle eingesetzten Soft- und Hardwarekomponenten optimal aufeinander abgestimmt sein. Mit seiner eXtreme Fast Control (XFC) Technologie hat Beckhoff hier frühzeitig die Weichen gestellt. TwinCAT 3.1, die neueste Softwaregeneration von Beckhoff, verfolgt diesen Weg weiter, indem sie die hundertprozentige Ausnutzung der Prozessorleistung erlaubt. Durch die exklusive Nutzung von Prozessorkernen für Echtzeitanwendungen steht diesen nun mehr Rechenleistung zur Verfügung. TwinCAT erkennt von Windows nicht genutzte CPUs und kann diese per Konfiguration in das Echtzeitsystem einbinden. Dies führt zu einer optimalen Skalierung und Ausschöpfung der Systemressourcen für den jeweiligen Anwendungszweck und erlaubt die Verlagerung komplexer Regelkreise in die zentrale Steuerung ohne Leistungseinbußen für weitere Echtzeitaufgaben.

Moderne, Ethernet-basierte Feldbussysteme, wie z. B. EtherCAT, bieten einer übergeordneten Steuerung die Möglichkeit, im Sub-100- μ s-Bereich mit den angeschlossenen Komponenten zu kommunizieren. Zykluszeiten von 12,5 μ s hat Beckhoff bereits auf der Hannover Messe 2012 vorgestellt; eine weitere Reduktion ist theoretisch möglich. Um aber auch echte Reaktionszeiten deutlich unter 100 μ s zu erzielen, reicht ein schneller Feldbus allein nicht aus; vielmehr müssen sämtliche Steuerungskomponenten entsprechend leistungsfähig und optimal aufeinander abgestimmt sein, wie in der XFC-Technologie von Beckhoff.

Die Reaktionszeit ist definiert als die Zeit zwischen dem Auftreten eines externen Signals und der Ausgabe einer Reaktion an einen Aktor. Sie beinhaltet die Erfassung und Wandlung eines physikalischen Signals im Sensor, die Kommunikationszeit zur Steuerung, die Verarbeitung innerhalb der Steuerung, die Übertragungszeit zum Aktor und die Wandlung in ein physikalisches Signal. Für viele regelungstechnische Prozesse ist die Reaktionszeit ein entscheidendes Kriterium: je kürzer, desto schneller kann der Regler auf Abweichungen vom Sollzustand reagieren.

Reaktionszeit und Zeitsteuerung



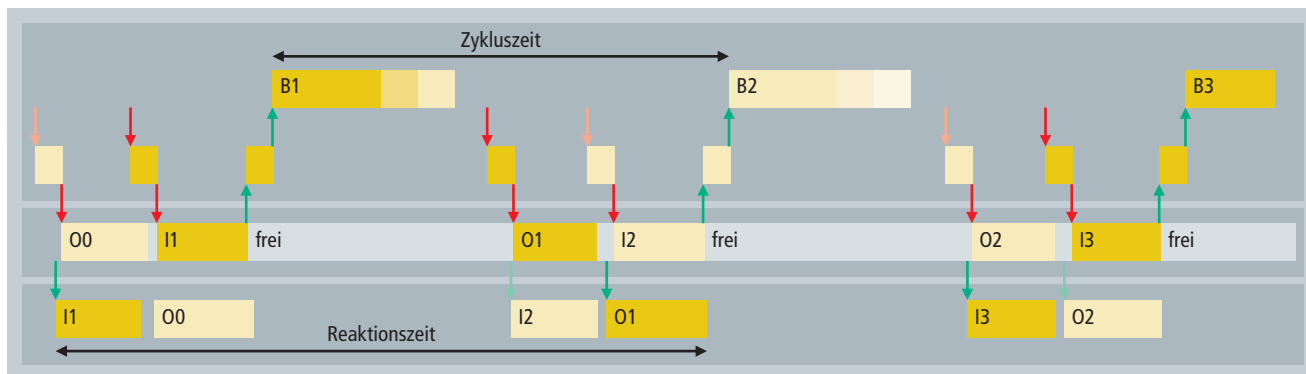
Regelkreise in der Automatisierungstechnik, die sehr schnelle Reaktionen erfordern, werden daher in speziellen Geräten lokal geschlossen und nicht in der übergeordneten Steuerung. Typische Beispiele sind Antriebsverstärker, die den Stromregelkreis, den Geschwindigkeitsregelkreis und häufig auch den Positionsregelkreis direkt im Antriebsverstärker schließen und nur noch die Sollpositionen von der überlagerten Steuerung erhalten. Für viele Anwendungen ist das ein praktikabler Ansatz. Allerdings besitzen solche dezentralen Regler häufig bis zu hundert Parameter, die zur Anpassung an die konkrete Aufgabenstellung einzustellen sind.

Wird die Regelstrecke komplexer und abhängig von vielen Einflussfaktoren, die nicht am lokalen Gerät verfügbar sind, ist eine zentrale Regelung in einer

sonsten deren Wandlung noch nicht abgeschlossen ist. Um den gemeinsamen Kommunikationszyklus für Ein- und Ausgänge am Ende des Steuerungszyklus anzustoßen, reicht die Standardbetriebsart eines EtherCAT-Masters nicht aus, da wertvolle Zeit ungenutzt verstreichen würde.

Zeitgesteuerter Doppel-Sendebetrieb

Durch die Trennung von Eingangs- und Ausgangskommunikation besteht die Möglichkeit, jeweils den optimalen Zeitpunkt für den entsprechenden Sendezeitpunkt zu berechnen und auszuführen. Eine strikte Zeitsteuerung der Kommunikation ermöglicht das zeitlich optimierte Versenden der Eingangs- und Ausgangstelegramme und die darauf abgestimmte Einstellung der Distributed Clocks in den Sensoren und Aktoren.



Reaktionszeit versus Zykluszeit

leistungsfähigen, zentralen Steuerung von Vorteil. In ihr sind alle Informationen gleichzeitig vorhanden und Zustände, die eventuell aus anderen Regelkreisen stammen oder durch weitere Sensoren erfasst werden, können berücksichtigt werden. Ein weiterer, wichtiger Vorteil einer zentralen Steuerung ist die Möglichkeit, den Regelalgorithmus speziell an die konkrete Anwendung anpassen zu können – und das direkt vom Anwender in seiner gewohnten Programmierumgebung und -sprache. Hat die zentrale Steuerung, aufgrund der zusätzlich notwendigen Kommunikation, jedoch eine deutlich langsamere Reaktionszeit zur Folge, gehen die Vorteile dieser Lösung meist wieder verloren.

Feldbuskommunikation

Eine wesentliche Voraussetzung für eine möglichst kurze Reaktionszeit eines verteilten Steuerungssystems ist die schnelle und deterministische Kommunikation. EtherCAT bietet hierfür mit seiner effizienten Übertragung und insbesondere durch die Eigenschaft der verteilten Uhren (Distributed Clocks) eine sehr gute Basis. Die Wandlung von Eingangssignalen muss so angestoßen werden, dass das Ergebnis unmittelbar vor dem nächsten Kommunikationszyklus fertig ist und zur Steuerung gelangt. Direkt nach der Berechnung der Sollwerte sollte dann der Ausgangskommunikationszyklus angestoßen werden, so dass die Werte gerade im Aktor angekommen sind, wenn deren Wandlung ansteht. Für die Ausgangsdaten gilt das Kriterium, dass sie „früh genug“ gesendet werden; bei den Eingangsdaten darf aber nicht „zu früh“ kommuniziert werden, da an-

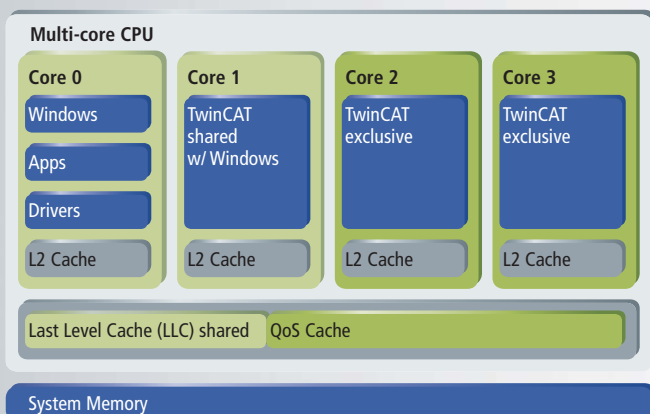
Eine weitere wichtige Eigenschaft von EtherCAT, das parallele Fahren verschiedener Kommunikationszyklen und -zykluszeiten auf einem System, sollte ebenfalls erhalten bleiben. Neben der extrem schnellen Regelung sollen auch noch andere Signale in „normaleren“ Zykluszeiten auf demselben EtherCAT-Strang ausgetauscht werden können. Die verbleibende Bandbreite kann daher geschickt genutzt werden, um den Kommunikationsbedarf anderer Tasks in der Steuerung abzudecken.

In der Konfigurationsphase berechnet der TwinCAT-Systemkonfigurator für einen Zeitraum, der sich als kleinstes gemeinsames Vielfaches aller beteiligten Zykluszeiten ergibt, die exakten Sendezeitpunkte aller EtherCAT-Telegramme und übergibt diese Tabelle an den EtherCAT-Master. Nach diesem Zeitraum wiederholt sich der Ablauf, so dass die Tabelle vom Master immer weiter abgearbeitet werden kann. Verbleibende zeitliche Lücken in der Tabelle kann der Master dann eigenständig mit azyklischen Kommunikationsanforderungen füllen – z. B. mit Parameterdaten über CoE (CAN Application Protocol over EtherCAT).

Eine strikte Zeitsteuerung ist aber nicht leicht einzuhalten. Ein großer Vorteil von EtherCAT, der den Master-Betrieb auf handelsüblichen Commercial Of The Shelf (COTS)-Prozessoren und Ethernet-Controllern (MAC) erlaubt, steht hier ein wenig im Widerspruch zum geforderten Determinismus. Eine reine Softwarelösung reicht nicht aus, da sich die Laufzeit des auszuführenden Codes nicht vollständig

vorausberechnen lässt. Neben dem offensichtlichen Einfluss der bedingten Ausführung der vom Anwender erstellten Software unterliegt die Abarbeitungszeit außerdem Schwankungen, die von der Prozessorarchitektur abhängig sind. Da diese nicht zu vernachlässigen sind, wird darauf im weiteren Verlauf noch einmal speziell eingegangen werden.

Entscheidend für die Einhaltung der Telegrammsendezeiten ist daher die Unterstützung der unterlagerten Ethernet-Hardware, die die einzelnen Telegramme zu dem exakt berechneten Zeitpunkt verschickt. Da diese Problematik auch außerhalb der Automatisierungstechnik eine Rolle spielt, kann weiterhin allgemein verfügbare Hardware eingesetzt werden. Erste MACs mit zeitgesteuerten Sendequeues sind von großen Herstellern bereits auf dem Markt, und diese Eigenschaft scheint in viele neuere MACs einzufließen. Die eingesetzten Ethernet-MACs der Embedded-PC-Serie CX von Beckhoff sowie der externe CU2508 als Ethernet-Portmultiplier unterstützen das zeitgesteuerte Senden ebenfalls in Hardware und können daher für diesen Einsatzzweck herangezogen werden.



Exklusive CPU-Cores für TwinCAT-Echtzeit-Tasks

Moderne Prozessoren: Segen und Fluch für schnelle Steuerungsaufgaben

Die PC-Steuerungstechnik profitiert vom schnellen technischen Fortschritt der allgemeinen IT-Welt. Allerdings bekommt man diesen Fortschritt nicht in Gänze geschenkt, sondern muss technologische Erweiterungen in Hard- und Software vornehmen, um ihn für die Automatisierungswelt nutzen zu können. Die Echtzeiterweiterung für Windows in TwinCAT und die Nutzung von Ethernet als Feldbus durch EtherCAT sind beste Beispiele hierfür.

Aufgrund physikalischer Grenzen ging die Entwicklung der Prozessoren zur Erhöhung der Rechenleistung von stetig steigenden Taktfrequenzen über zu einer Vervielfachung der Rechenkerne pro Chip. Man spricht hierbei von „Chip Multiprocessing“ (CMP). Aktuell sind über Doppelkern-CPU's hinaus auch Vierfach- beziehungsweise Achtfach-Kerne zu vertretbaren Kosten verfügbar. Diese Entwicklung kommt den softwarebasierten Automatisierungslösungen, wie TwinCAT 3, sehr entgegen, da diese in der Lage sind, Aufgaben je nach Anzahl

der verfügbaren CPU-Cores zu verteilen. Das heißt, funktionale Einheiten, wie HMI, PLC-Control, PLC-Runtime, NC, können mit weniger Aufwand als heute auf dedizierte Cores verteilt werden. TwinCAT 3 erleichtert dem Anwender durch entsprechende Konfigurations- und Diagnosewerkzeuge die Nutzung von Multicore-Systemen. So lassen sich im TwinCAT System Manager zum Beispiel die Laufzeiten der Echtzeittasks beobachten und Prioritäten beziehungsweise Ablaufreihenfolgen der Tasks manuell konfigurieren. Über konfigurierbare Core-Affinitäten lassen sich Tasks statisch einem Core zuordnen.

Allerdings unterliegen heutige Multicore-Systeme aufgrund der gemeinsamen Nutzung von Arbeitsspeicher und Prozessor-Cache (hierbei: Last Level Cache) der Einschränkung, dass sich die Cores gegenseitig beeinflussen können. Dies hat unter Umständen auch einen Einfluss auf die Ablaufzeiten des Codes in der Echtzeitumgebung, was bei der Konfiguration der Zykluszeiten von Echtzeittasks im Sub-100-µs-Bereich beachtet werden muss. Für die Beurteilung des jeweiligen Systemverhaltens bringt TwinCAT die geeigneten Messmethoden mit.

Auch in Nichtechtzeitanwendungen kann die gemeinsame Nutzung von Systemressourcen durch CPU-Cores nachteilig sein. CMP-Systeme sind ursprünglich für die performante Bearbeitung durch optimale Nutzung aller Systemressourcen von Multithreading-Einzelapplikationen designed. Aufgrund der verfügbaren Rechenleistung können sie aber auch – mit Hilfe von Virtualisierungstechnologien – mehrere Betriebssysteme auf einem Rechner parallel bearbeiten. Hierbei ist die gegenseitige Beeinflussung unter Umständen ebenfalls störend. Um hier Abhilfe zu schaffen, wurden bzw. werden für Prozessoren und Betriebssysteme neue Hardware- und Softwarelösungen von Prozessor- und Betriebssystemherstellern entwickelt und implementiert. Die für die Leistungsfähigkeit eines Rechners entscheidenden Systemeigenschaften sind, neben der Taktfrequenz des Prozessorkerns, vor allem die Größe des Prozessor-Caches und die Bandbreite des Arbeitsspeicherbusses.

Eine Softwarelösung zur Optimierung der Cache-Nutzung ist das sogenannte „Cache Coloring“ bzw. „Page Coloring“. Hierbei wird über die virtuelle Speicherverwaltung der CPU ein zusammenhängender Speicher aus Sicht des Caches erzeugt und somit seine verfügbare Größe effizienter genutzt. Diese Funktion ist z. B. in der dynamischen Speicherverwaltung eines Betriebssystems implementiert oder auch in der virtuellen Speicherverwaltung eines Hypervisors enthalten.

Für die Priorisierung von parallel ablaufenden Anwendungen besonders interessant ist ein „Last Level Cache“ der eine QoS (Quality of Service)-Funktion bietet. Über diese Hardware-Eigenschaft lassen sich Cache-Bereiche für hochprioräre Anwendungen reservieren bzw. die Cache-Größe kann für niederprioräre Anwendungen begrenzt werden. Das aktuelle Nonplusultra in Sachen Skalierbarkeit und Ressourcenaufteilung in SMP (Symetric Multiprocessing)-Systemen ist ein „echtes“ Multiprozessorsystem in NUMA (Non Uniform Memory Access)-Architektur. Hier hat nicht nur jeder Prozessor seinen eigenen „Last Level Cache“, sondern auch seinen eigenen lokalen Arbeitsspeicher, wobei alle Prozessoren einen gemeinsamen Adressraum haben und über einen Bus miteinander verbunden sind. Allerdings ist dies auch die aufwendigste und somit teuerste aller Lösungen.

**Autor: Dr. Dirk Janssen, Leiter
Software-Entwicklung System,
CNC und I/O bei Beckhoff**



**Autor: Ramon Barth, Leiter
Software-Entwicklung System,
HMI und Echtzeit bei Beckhoff**



Ab der Version 3.1 bietet TwinCAT die Möglichkeit, Prozessoren bzw. Prozessorkerne eines PC-Systems exklusiv für Echtzeitanwendungen zu nutzen. TwinCAT erkennt von Windows nicht genutzte CPUs und kann diese per Konfiguration in das Echtzeitsystem einbinden. Für TwinCAT und dessen Echtzeitanwendungen, wie z. B. PLC und Motion Control, geschieht dies vollkommen transparent, während die betreffende CPU für Windows unsichtbar ist. TwinCAT konfiguriert die Echtzeit-CPU in der Art, dass der gesamte Adressraum von den Echtzeit-CPU aus sichtbar ist, aber umgekehrt private Speicherbereiche vor Windows „versteckt“ werden können. Für die Implementierung dieser Funktionalität wurde bewusst auf Virtualisierungsfunktionen verzichtet, um eine zusätzliche Softwareschicht zu vermeiden, die eventuell zu Leistungseinbußen bzw. Latenzzeiten führen könnte. Genutzt werden kann diese Funktion in allen Windows-Versionen ab Windows XP SP2.

Die Vorteile dieser neuen TwinCAT-Eigenschaft liegen klar auf der Hand: In erster Linie bekommen die Echtzeitanwendungen mehr Rechenleistung, da der betreffende Prozessorkern zu 100 % genutzt werden kann. Lokale Ressourcen eines Cores, wie z. B. der „Second Level Cache“ oder der Speicher einer NUMA-Architektur können dem Echtzeitanteil der Software klar zugeordnet werden. Außerdem wird die statische Konfiguration von QoS-Caches zukünftiger Prozessoren vereinfacht. Basierend auf den zuvor beschriebenen Hardware-Eigenschaften erlaubt diese Lösung eine optimale Skalierung und Nutzung der Systemressourcen für den jeweiligen Anwendungszweck. Zykluszeiten bis hinunter in den 10-Mikrosekundenbereich zeigen die Möglichkeiten heute verfügbarer Technologien auf, die für die Anwender von TwinCAT und EtherCAT nutzbar sind.

weitere Infos unter:

www.beckhoff.de/XFC

www.beckhoff.de/TwinCAT3

Fazit

Die Verlagerung schneller Regelkreise mit sehr kurzen Reaktionszeiten in die zentrale Steuerung stellt auch für moderne Kommunikationssysteme und Steuerungshardware eine Herausforderung dar. TwinCAT, die auf allgemeiner PC-Hardware aufsetzende Steuerungssoftware, und EtherCAT, das auf allgemeinen Ethernet-MACs basierende Highspeed-Kommunikationssystem, bilden die Basis der Lösung. Aber erst das optimale Zusammenspiel zwischen Soft- und Hardware und die Ausnutzung neuester Hardwareeigenschaften durch TwinCAT 3 schaffen die Voraussetzung für den sicheren, deterministischen Betrieb extrem schneller Regelkreise in der zentralen Steuerung. Für den Anwender ergeben sich dadurch neue Möglichkeiten, bestimmte Regelungen selbst zu realisieren, auf deutlich mehr Informationen zuzugreifen, seine gewohnte Entwicklungsumgebung zu nutzen und – nicht zuletzt – auch Hardwarekosten einzusparen.

Release von TwinCAT 3.1

Mit dem Release der TwinCAT-Version 3.1, zur Hannover Messe 2013, verfügt der Anwender über die neue Eigenschaft der exklusiven Echtzeit-Cores. Der zeitgesteuerte Doppelsendebetrieb wird als Update zu TwinCAT 3.1 Mitte des Jahres verfügbar sein. Damit können auf Multiprozessor-Systemen die im Text beschriebenen Zykluszeiten und Leistungswerte erreicht werden. Die ersten Systeme mit QoS-Cache werden gegen Ende 2013 erhältlich sein.