

Feldbusanbindung für intelligenten Multi-Achs-Antrieb

Hexapoden in der Industrie



1 Übersicht

Fertigungs- und Qualitätssicherungsprozesse in der Elektronikproduktion, im Maschinenbau und in der Automobilindustrie erfordern immer häufiger mehrachsige Positioniersysteme. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an die Genauigkeit.

Parallelkinematische Hexapod-Roboter können je nach Ausführung Werkzeuge, Werkstücke und auch komplexe Bauteile mit Gewichten von einigen Kilogramm bis zu einigen Hundert Kilogramm, oder sogar mehreren Tonnen in beliebiger Raumorientierung, also unabhängig von der Montageausrichtung, mit hoher Präzision bewegen und positionieren.

Trotz anspruchsvoller Kinematik-Transformationen ist es dank der in den Controller integrierten Feldbuschnittstellen wie z. B. EtherCAT oder PROFINET für Anwender nun ganz einfach, Hexapoden in Automatisierungsanlagen einzubinden.

2 Vorteile der Hexapoden gegenüber seriell-kinematischen Systemen

Seriellkinematische Systeme bestehen aus einzelnen Achsen bzw. Aktoren, die aufeinander aufbauen, d. h., mechanisch hintereinandergeschaltet werden. Beispielsweise wird eine plattformtragende Z-Achse auf eine Y-Achse montiert; diese wiederum auf eine X-Achse (Abb. 1).

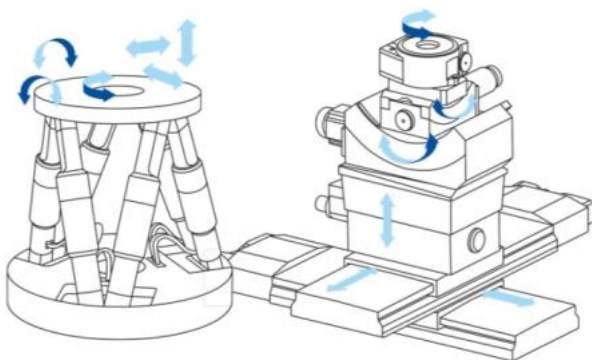


Abb. 1 Funktionsschema der parallelkinematischen Hexapoden

Bei Hexapoden wirken alle sechs Aktoren unmittelbar auf dieselbe Plattform. Dadurch kann ein deutlich kompakterer Aufbau erreicht werden als bei seriell gestapelten Mehrachssystemen.

Da nur eine einzige Plattform bewegt wird, die häufig mit großer Apertur ausgestattet ist, ist die bewegte Masse wesentlich geringer. Daraus resultieren ein deutlich schnelleres Ansprechen und eine verbesserte Dynamik.

Darüber hinaus verfügen Hexapoden über eine höhere Genauigkeit, da hier meist keine Führungen mit entsprechenden Führungsfehlern enthalten sind und sich Fehler in den Einzelantrieben nicht akkumulieren. Da keine Kabel geschleppt werden, ist die Präzision nicht durch entsprechende Reibung oder Momente eingeschränkt. Die parallele Kinematik erhöht die Steifigkeit des Gesamtsystems.

Bei aufeinander gestapelten Systemen hingegen müssen die unteren Antriebe nicht nur die Masse der Nutzlast, sondern auch die Masse der nachfolgenden Antriebe bewegen. Dadurch reduzieren sich die dynamischen Eigenschaften. Durch Summierung der Führungsfehler der Einzelachsen verschlechtern sich zudem Genauigkeit und Wiederholbarkeit.

3 Hexapod-System als intelligenter Multi-Achs-Antrieb mit Feldbusanbindung

Bei einem parallelkinematischen System entsprechen die kartesischen Achsen nicht den Motorachsen. Es ist eine Koordinatentransformation notwendig, welche im Allgemeinen analytisch nicht lösbar ist. Daher wird ein rechenintensiver, iterativer Algorithmus eingesetzt, der die komplexe Hexapod-Kinematik bei jedem Schritt neu berechnet.

Eine wesentliche Eigenschaft der Hexapoden ist der frei definierbare Dreh- oder Pivotpunkt. Damit kann die Bewegung der Hexapod-Plattform gezielt auf die jeweilige Applikation abgestimmt und in den Gesamtprozess integriert werden.

Da ein digitaler Hexapod-Controller die Berechnungen übernimmt und die einzelnen Motoren in Echtzeit ansteuert, müssen sich Anwender weder mit diesen komplexen Algorithmen auseinandersetzen, noch entsprechende Implementierungen in der SPS vornehmen. Verschiebungen und Drehungen der Plattform sowie die Definition des Dreh- oder Pivotpunktes werden einfach in kartesischen Koordinaten kommandiert. Darüber hinaus versteht das Hexapod-System verschiedene Feldbus-Standardprotokolle (Abb. 2).



Abb. 2 Feldbusschnittstellen gibt es aktuell als austauschbare Module für PROFIBET und EtherCAT

Daraus ergeben sich mehrere Vorteile:

- Für die Kommandierung des Hexapod-Systems lassen sich die Funktionen der jeweiligen SPS verwenden.
- Pfadplanung und Trajektoriengenerierung sowie die Synchronisation mit anderen Teilnehmern in der Automatisierungsanlage können so sehr leicht umgesetzt werden.
- Es ist keine proprietäre Sprache notwendig.

Die übergeordnete SPS kommuniziert mit dem Hexapod beispielsweise über EtherCAT oder PROFIBET. Sie gibt als Master die kartesische Soll-Position der Hexapod-Plattform im Raum vor und bekommt die Ist-Positionen ebenfalls über die Feldbusschnittstelle zurückgemeldet (Abb. 4).

Durch den Einsatz standardisierter Realtime Ethernet-Protokolle und die Verlagerung der Transformations-

berechnungen auf den Hexapod-Controller, ist der Anwender unabhängig von einem bestimmten SPS-Hersteller. Das Hexapod-System verhält sich am Bus wie ein intelligenter Multi-Achs-Antrieb.

Da alle Antriebe auf dieselbe Plattform wirken, sind die kartesischen Achsen in ihrer Ansteuerung voneinander abhängig. Ereignisse, die an einer der kartesischen Achsen auftreten wirken sich auf das Gesamtsystem aus. Dieser Schwierigkeit wird begegnet, indem in der SPS zwar jede kartesische Achse als separate Achse dargestellt und behandelt wird, der Hexapod-Controller jedoch Aktionen, wie Referenzfahrt oder Stillsetzen der Achse, für alle Achsen gleichzeitig ausführt. Daher genügt es, solche Aktionen nur für eine kartesische Achse zu kommandieren.

Auch werden Fehlermeldungen einer kartesischen Achse einfach an allen anderen Achsen gespiegelt. Um jedoch nicht zu umfassend in das jeweils zugrundeliegende standardisierte Antriebsprotokoll einzugreifen, werden Steuer- und Status-Wort für jede Achse weiterhin separat geführt (Abb. 3).

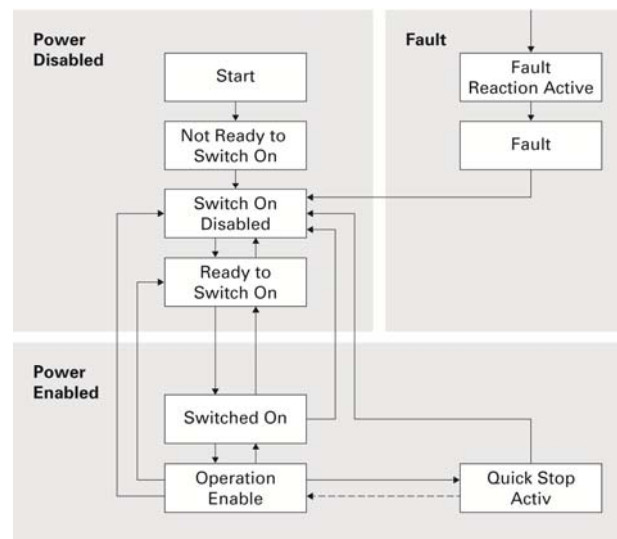


Abb. 3 CiA402 Drive State Machine

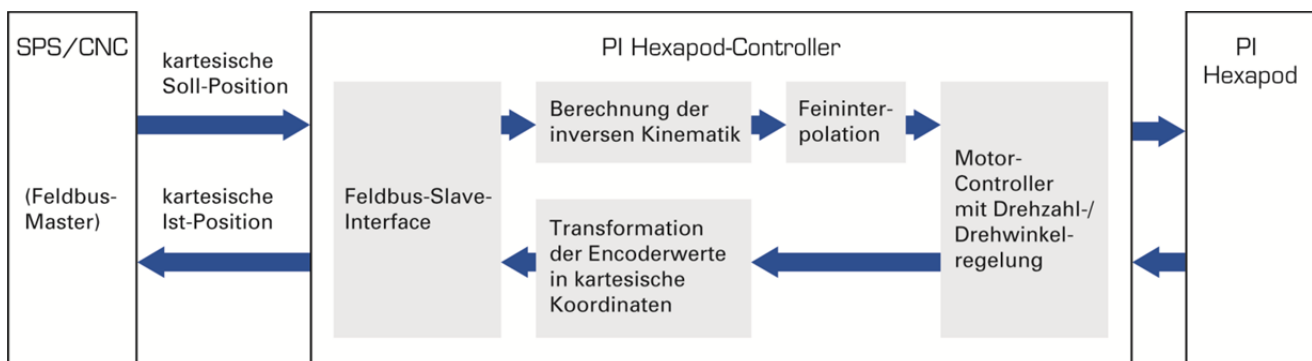


Abb. 4 Die Steuerung sendet und empfängt regelmäßig kartesische Positionsdaten. Die typische Taktzeit liegt bei 1 ms

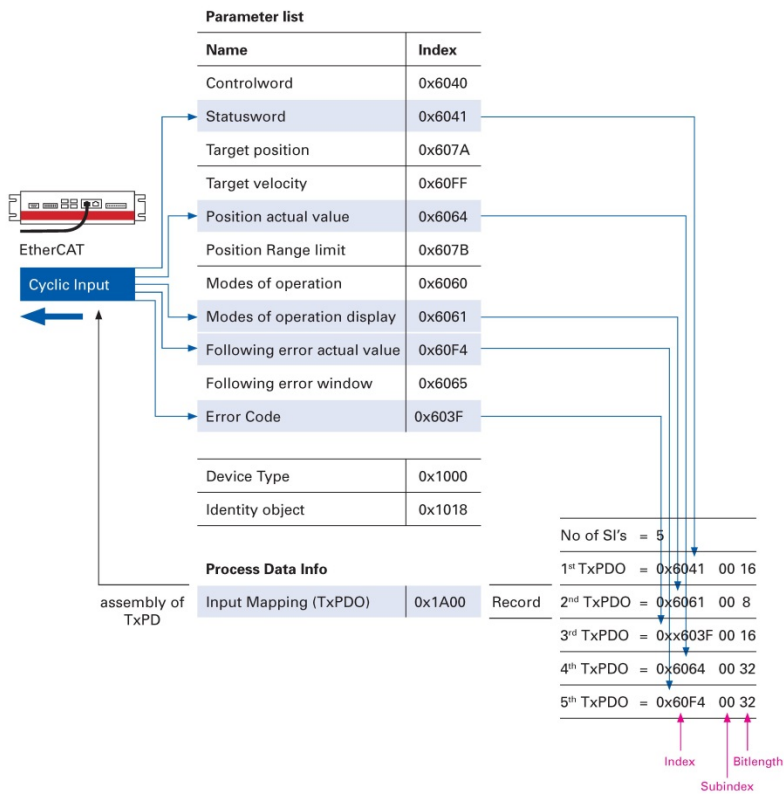


Abb. 5 PDO Mapping Inputs für Hexapoden

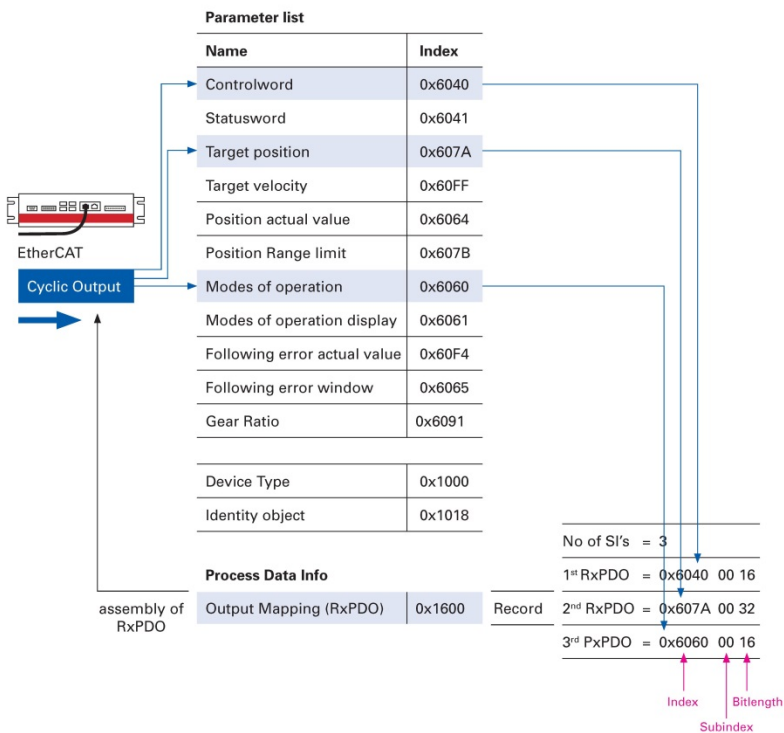


Abb. 6 PDO Mapping Outputs für Hexapoden

4 Kommunikation über EtherCAT

4.1 Grundlagen

Die EtherCAT-Kommunikation basiert auf dem *CANopen over EtherCAT (CoE)* Protokoll und bietet daher dieselben Kommunikationsmechanismen, wie sie im CANopen-Standard nach EN 50325-4 definiert sind. Die minimal zulässige Zykluszeit liegt dabei bei einer Millisekunde. Es werden Object Dictionary, Process Data Object (PDO) Mapping und Service Data Objects (SDO) unterstützt.

Um eine einfache Einbindung der kartesischen Achsen des Hexapods innerhalb der SPS zu ermöglichen, wurden PDOs und SDOs entsprechend dem Antriebsprofil CiA402 (IEC 61800-7-201/301, Abb. 5 und Abb. 6) definiert.

Es werden die in CiA402 definierten Betriebsarten *Cyclic synchronous position mode (CSP)* und *Homing* unterstützt. Darüber hinaus wurde noch der *Config mode* definiert. Diese wird zur Konfiguration des Hexapod-Controllers genutzt. Die Auswahl der jeweiligen Betriebsart erfolgt über das Servicedaten-Objekt *Modes of operation (0x6060)* der X-Achse.

4.2 Cyclic Synchronous Position Mode (CSP)

Der *CSP-Modus* wird zur Positionierung des Hexapods genutzt. Dabei gibt der EtherCAT-Master zyklisch die kartesischen Soll-Positionen für die einzelnen Achsen vor und empfängt die kartesischen Ist-Positionen (Abb. 7).

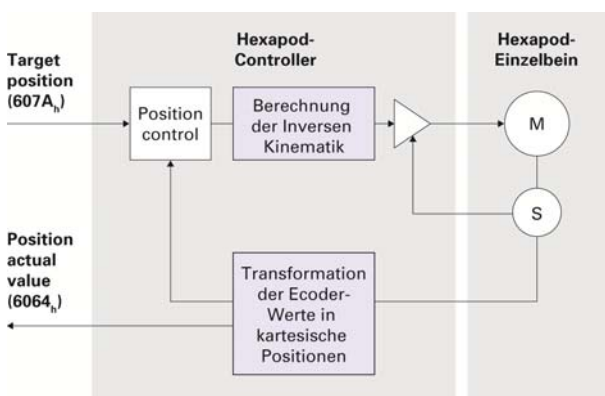


Abb. 7 Regelkreis des Cyclic Synchronous Positioning Mode (CSP)

Bei der Kommandierung des Hexapods ist zu beachten, dass die maximal mögliche Vektorgeschwindigkeit des Hexapods abhängig ist von den maximal möglichen Geschwindigkeiten bzw. Beschleunigungen der Einzelbeine. Je nach Winkel der Hexapod-Plattform und kommandierter kartesischer Zielposition erreicht der Hexapod unterschiedliche maximale Geschwindigkeiten. Leider können in der SPS nur die Bewegungsparameter der einzelnen kartesischen Achsen hinterlegt werden. Je größer der zu fahrende Weg ist, desto stärker wird die tatsächliche Hexapod-Geschwindigkeit von der berechneten Geschwindigkeit der SPS abweichen, sofern in der SPS mit den Maximal-Werten des Hexapods gearbeitet wird.

Die einzige Möglichkeit, größere Schleppfehler zu vermeiden, ist, bei kombinierten Bewegungen der kartesischen Achsen die Soll-Geschwindigkeit und -beschleunigung in der SPS zu reduzieren. Wird bei der Vorgabe der Soll-Positionen die maximal mögliche Vektorgeschwindigkeit des Hexapods überschritten, greift automatisch der im Hexapod-Controller integrierte Interpolationsmechanismus.

Dieser führt eine lineare Interpolation für die kartesischen Soll-Positionen durch, begrenzt die aktuelle Hexapod-Geschwindigkeit auf den maximal zulässigen Wert und ermöglicht damit, dass der Hexapod dem gewünschten kartesischen Pfad mit entsprechend reduzierter Geschwindigkeit folgt.

4.3 Quickstop-Funktion bei Not-Halt

Auch bei der Quickstop-Funktion kommt diese Interpolation zum Tragen: Wird während einer Bewegung ein Quickstop angefordert z. B. im Zusammenhang mit einem Not-Halt der Anlage, wird der Hexapod mit der maximal möglichen Beschleunigung zum Stillstand gebracht.

Durch Bahninterpolation versucht der Controller, den Hexapoden weiterhin auf der zuvor angeforderten Bahn zu bewegen. Er passt beim Bremsen die Beschleunigung der einzelnen Beine entsprechend an.

4.4 Referenzfahrt und Konfigurationsmodus

Der Modus *Homing* dient dazu, eine Referenzfahrt zu den Motorachsen-Nullpunkten auszuführen, die den kartesischen Nullpunkt der Hexapod-Plattform definieren. Der Hexapod-Controller übergibt der SPS unabhängig von der Art des verwendeten Messsystems Absolut-Werte.

Da es sowohl Hexapoden mit absolut messenden Encodern gibt, als auch solche mit inkrementellen Messsystemen, werden alle Informationen bezüglich Referenzschalter und Nullpunkten nur innerhalb des Hexapod-Controllers genutzt, um für die SPS eine absolute Ist-Position zu berechnen. Daher wird die Referenzfahrt immer als antriebsgesteuertes *Homing* durchgeführt.

Das kartesische Koordinatensystem des Hexapoden und der Dreh- oder Pivotpunkt werden im Konfigurationsmodus festgelegt. Als Quelle für die Konfiguration kann der Anwender entweder den EtherCAT-Master nutzen oder über eine alternative Schnittstelle (TCP/IP oder RS232) parallel zur EtherCAT-Verbindung auf das Hexapod-System zugreifen (Abb. 8).

Letzteres bietet sich zum Beispiel auch an, um Abläufe zu überprüfen. So lassen sich die Koordinaten ändern oder der Drehpunkt verschieben, ohne die Änderungen gleich zu aktivieren oder die Echtzeit-Kommunikation über EtherCAT zu stören.

4.5 Vielseitige Einsatzmöglichkeiten

Die Hexapoden können sehr unterschiedlich aufgebaut sein. Durch eine modulare Konzeption können anwendungsspezifische Anpassungen innerhalb kürzester Zeit entwickelt werden. Die einzelnen Beine bilden intelligente Einheiten, welche mit nahezu beliebiger Geometrie der Grund- und Deckplatte kombiniert werden können. Die Länge der Beine kann sehr einfach skaliert und so an die Anforderungen der jeweiligen Applikation angepasst werden.

Für eine bestimmte Aufgabe die passende Lösung zu finden, vereinfacht sich dadurch, so dass viele Bereiche der Automatisierungstechnik, von den Vorteilen der Hexapoden profitieren können.

Autor

Dr. Steffen Schreiber, Senior Expert Entwicklung Hexapoden bei Physik Instrumente (PI)

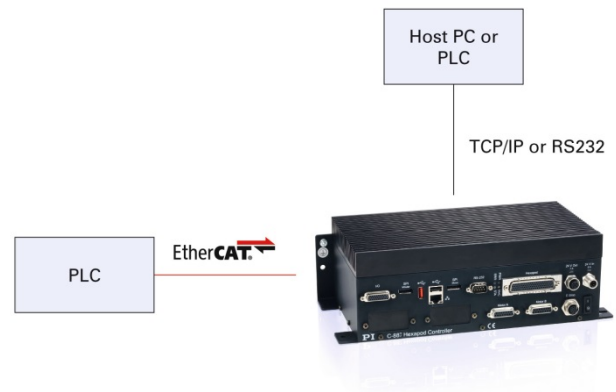


Abb. 8 Als Quelle für die Konfiguration kann der Anwender entweder den EtherCAT-Master, also die Steuerung, nutzen oder über eine zweite Schnittstelle (TCP/IP oder RS232) auf das Hexapod-System zugreifen

Über PI

In den letzten vier Jahrzehnten hat sich Physik Instrumente (PI) mit Stammsitz in Karlsruhe zum führenden Hersteller von Positioniersystemen mit Genauigkeiten im Nanometerbereich entwickelt. Das privat geführte Unternehmen ist mit vier Sitzen in Deutschland und fünfzehn ausländischen Vertriebs- und Serviceniederlassungen international vertreten.

Über 850 hochqualifizierte Mitarbeiter rund um die Welt versetzen die PI Gruppe in die Lage, fast jede Anforderung aus dem Bereich innovativer Präzisionspositioniertechnik zu erfüllen. Alle Schlüsseltechnologien werden im eigenen Haus entwickelt. Dadurch kann jede Phase vom Design bis hin zur Auslieferung kontrolliert werden: die Präzisionsmechanik und Elektronik ebenso wie die Positionssensoren.

Die dafür benötigten piezokeramischen Elemente werden bei der Tochterfirma PI Ceramic in Lederhose gefertigt, einem der weltweit führenden Unternehmen auf dem Gebiet aktorischer und sensorischer Piezoprodukte.

Die PI miCos GmbH in Eschbach bei Freiburg ist spezialisiert auf flexible Positioniersysteme für Ultrahochvakuum-Anwendungen sowie parallelkinematische Positioniersysteme mit sechs Freiheitsgraden und Sonderanfertigungen.

