

Scientific Automation: Kinematische Transformation in TwinCAT

Einfache Integration von Robotern in PC-Control



Roboter sind heute aus der Industrie nicht mehr wegzudenken. Im Gegenteil: In vielen Bereichen werden sie aufgrund ihrer großen Flexibilität zunehmend häufiger eingesetzt. Für viele Anwendungen sind auch gar nicht die bekannten Knickarmroboter notwendig, sondern einfache und preiswerte Stab-Kinematiken, wie Deltaroboter. Bisher waren diese Roboter mit einer eigenen, meist PC-basierten, Steuerung ausgestattet. Mit „Scientific Automation“ hat Beckhoff den Anwendungsbereich der klassischen, PC-basierten Automatisierungstechnik um neue Komponenten, wie z. B. die Robotik, erweitert. Mit der Software „TwinCAT Kinematic Transformation“ steht dem Anwender nun eine Lösung zur Verfügung, die die Steuerung von Robotern in die Beckhoff-Welt integriert.



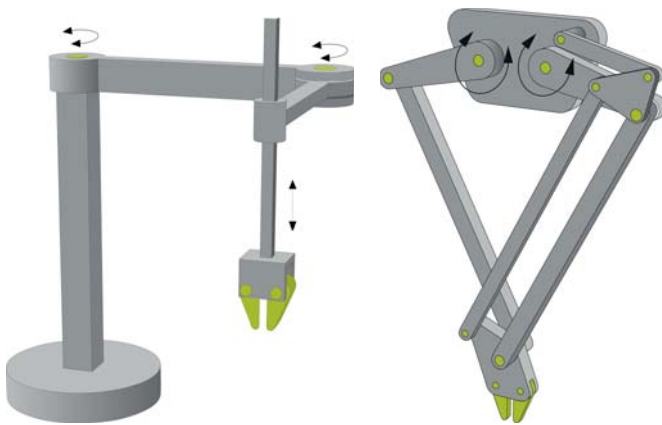
Der Einsatz von Robotern erforderte bisher immer eine spezielle CPU. Oft musste die Robotersteuerung durch einen speziellen Feldbus mit der eigentlichen Maschinensteuerung verbunden werden, und die Programmierung des Roboters erforderte ein spezielles Softwarepaket und eine spezielle, meist herstellerspezifische Programmiersprache. Die unterschiedlichen Steuerungen mit dazwischen geschaltetem Feldbus ließen jedoch keine Synchronisation zwischen Roboter und Motion Control zu. Der Ausweg ist die Realisierung des Roboters in Software. Damit entfallen die Kosten für die Robotersteuerung, die Verkabelung und Konfiguration des Feldbusses und insbesondere die Kosten für die Programmierung des Roboters. Durch die Reduktion der Kommunikation zwischen Standardsteuerung und Roboter auf einen reinen Speicherzugriff sind hochgenaue Synchronisierungen realisierbar. So kann ein Teil, das sich auf einem mit Standard-Motion-Control betriebenen Förderband befindet, vom Roboter „on the fly“ gegriffen und weggelegt werden.

Kinematische Transformation

Die Kinematik (griech.: „kinema“, Bewegung) ist die Lehre der Bewegung von Punkten und Körpern im Raum, beschrieben durch die Größen:

- | Weg s (Änderung der Ortskoordinate)
- | Geschwindigkeit v
- | Beschleunigung a

Dabei bleiben die Ursachen der Bewegung (Kräfte) unbeachtet. Im Zusammenhang mit Robotern steht der Begriff Kinematik für die unterschiedlichen Bewegungsmöglichkeiten. Da der Aufbau und die Anzahl der Achsen den Arbeitsraum des Roboters bestimmen, ist dieser konkret von vielen Parametern abhängig: Armlängen, Reichweitenwinkel, Schwerpunkt, max. Last etc. Die Anordnung der Arme und Gelenke bestimmt die kinematische Struktur, die in zwei Hauptklassen geteilt wird:



Beispiele für serielle Kinematiken: SCARA- und Kran-Kinematik

Serielle Kinematik

Die aktuelle Position einer beliebigen Achse ist immer von der Position der vorhergehenden Achse abhängig. Der TCP (Tool-Center-Point) wird von jeder Achse sowohl in x -, y - und z -Ebene verändert. Beispiele: SCARA und Kran-Kinematik

Parallele Kinematik

Die aktuelle Position der Achse ist nur in einer Richtung von der vorhergehenden Achse beeinflusst. Der TCP wird nur in einer Ebene verändert. Beispiele: Delta-Kinematik, Scheren-Kinematik



Beispiele für parallele Kinematiken: Delta- und Scheren-Kinematik

Koordinatensysteme

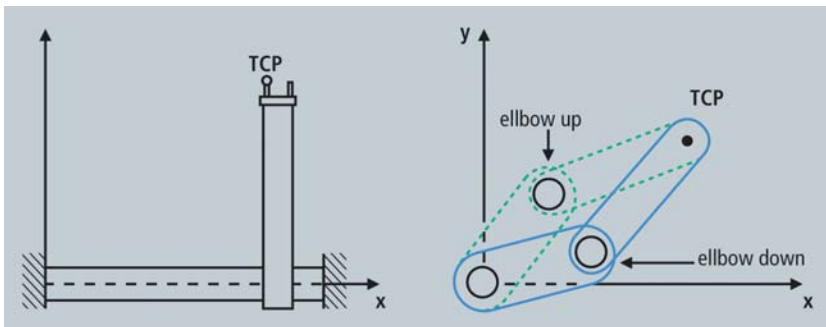
Zur Beschreibung des Positionierverhaltens eines Systems benötigt man Koordinatensysteme. Diese werden in die einzelnen, aktiven Gelenkachsen gelegt. Hierfür kann man z. B. kartesische Koordinatensysteme heranziehen, die so an die einzelnen Körper gebunden werden, dass eine Drehung oder Translation um bzw. in Richtung der Koordinatenachsen erfolgt. Zur Programmierung können unterschiedliche Koordinatensysteme als Grundlage genutzt werden:

- | Das kartesische Koordinatensystem
 - rechtshändig
 - Rotationsrichtungen immer positiv (gegen den Uhrzeigersinn)
- | Das Werkstück-Koordinatensystem bzw. Piece Coordinate System (PCS) ist unabhängig von der verwendeten Kinematik und wird für teilespezifische Orientierungen eingesetzt.
- | Das Maschinen-Koordinatensystem bzw. Machine Coordinate System (MCS) ist unabhängig von der verwendeten Kinematik und wird für maschinenspezifische Orientierungen eingesetzt.
- | Das Achs-Koordinatensystem (ACS) ist abhängig von der verwendeten Kinematik und wird für Referenzierung bzw. Homing eingesetzt.

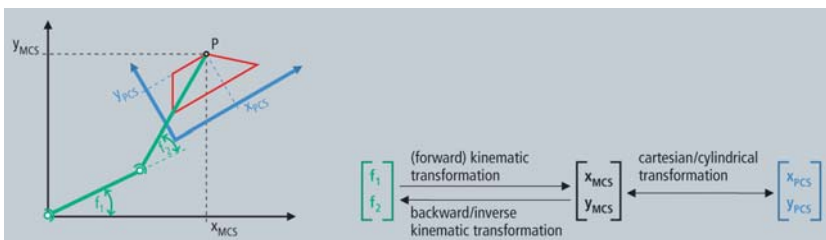
Die Programmierung der Roboter erfolgt häufig im PCS oder MCS, da beide Systeme durch den kartesischen Aufbau für den Programmierer sehr anschaulich sind. Die Art der Kinematik in diesen Systemen bedarf keiner Berücksichtigung, da die entsprechenden Bewegungsabläufe durch eine Transformation berechnet werden. Im Gegensatz dazu ist bei der Programmierung in ACS der Aufbau der Achsen unbedingt zu berücksichtigen, da die Bewegungsbefehle der Achsen direkt programmiert werden müssen. Daher wird diese Art der Programmierung nur in Ausnahmefällen verwendet.

Transformation

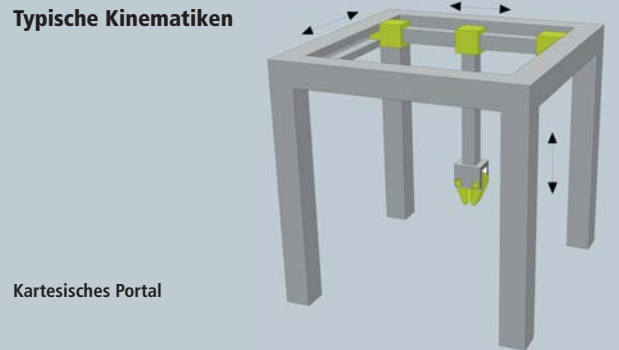
Die Kinematik beschreibt die Untersuchung der Bewegungsmöglichkeiten der einzelnen Glieder des Roboters in Relation zueinander. Es werden die auftretenden Geschwindigkeiten und Beschleunigungen bei der Bewegung der Gelenke berücksichtigt, jedoch nicht die auftretenden Kräfte und die Antriebsart des Gelenks (aktiv/passiv). Eine unterschiedliche Anordnung von Gelenken und Gliedern kann die identische Bewegungsbahn des TCP erzeugen.



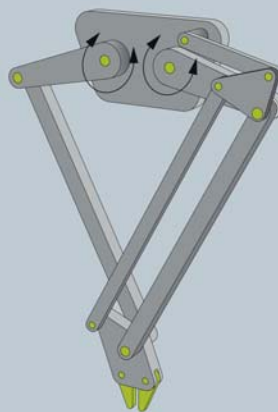
Die Transformation beschreibt, im Zusammenhang mit der Kinematik, die notwendige Berechnung, um von einem Koordinatensystem in ein anderes zu wechseln. Bei der Betrachtung der Kinematiken von Robotern stellen sich grundsätzlich zwei Probleme: Das direkte kinematische Problem (KP), auch als Vorwärts-Transformation bezeichnet, behandelt die Berechnung der Lage des Tool-Center-Points (TCP) in raumfesten Koordinaten aus den achsspezifischen Gelenkkordinaten des Roboters. Bei dem inversen kinematischen Problem (IKP), auch als Rückwärtstransformation bezeichnet, handelt es sich um die Umkehrrelation, bei der die achsspezifischen Gelenkkordinaten aus der Lage des TCPs zu bestimmen sind. Die Aufgabe einer Transformation besteht also darin, Position und Orientierung der Objekte zueinander so zu verändern, dass der TCP die gewünschten Bewegungsbahnen abfährt.



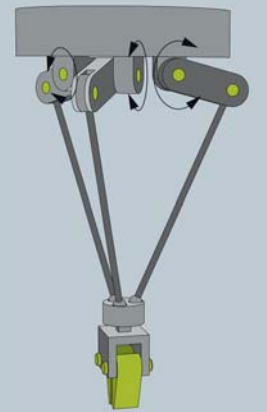
Typische Kinematiken



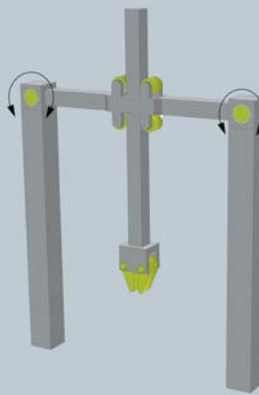
Kartesisches Portal



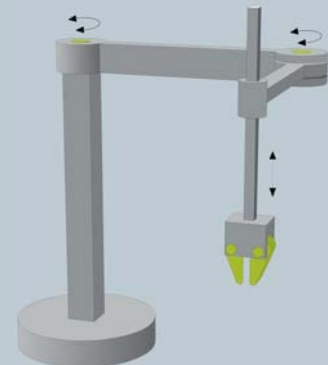
2-D-Parallelkinematik



3-D-Delta-Kinematik



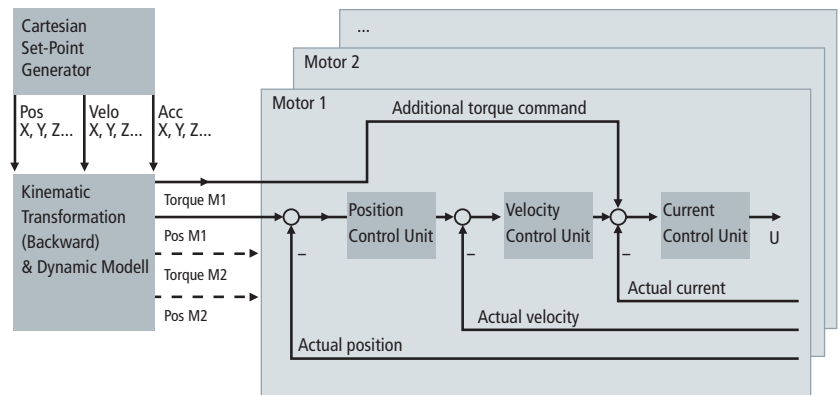
Rollen-Kinematik (H-Bot)



SCARA-Kinematik



Scheren-Kinematik



Wirkungsweise der Rückwärtstransformation und des dynamischen Modells

Tracking

Natürlich existiert ein Roboter nicht alleine auf der Welt, sondern muss mit anderen Maschinenkomponenten zusammenarbeiten. Eine häufige Aufgabe ist das gezielte Anfahren einer Position auf einem bewegten Band und natürlich das synchrone Mitfahren mit dem Band. Der Roboter soll zum Beispiel ein Teil von diesem Band greifen oder es an einer bestimmten Position ablegen. Das Aufsynchronisieren und Mitfahren des Roboters auf ein – im translatorischen oder rotatorischen Koordinatensystem – bewegtes Teil bezeichnet man als Tracking.

Realisierung in TwinCAT

TwinCAT Kinematic Transformation integriert sich transparent in die bestehende Motion-Control-Welt: Robotik- und Motion-Control-Funktionen lassen sich optimal mit TwinCAT NC PTP (Achspanpositionierung Punkt-zu-Punkt) oder NC I (Achsinterpolation in drei Dimensionen) synchronisieren. Alle SPS- und NC-Eigenschaften können auf einer gemeinsamen Hard- und Softwareplattform beliebig kombiniert werden.

TwinCAT Kinematische Transformation realisiert verschiedene Roboterkinematiken auf dem PC. Neben der 2-D- kann die 3-D-Stab-Kinematik – auch Delta-Kinematik – sowie die SCARA-Kinematik damit gerechnet werden. Die Ansteuerung der Achsen erfolgt direkt aus dem TwinCAT-Motion-Control-System heraus. Der Anwender programmiert die Roboterbewegung dabei direkt im kartesischen Koordinatensystem. Die Transformation in das Roboterkoordinatensystem wird in der Software in jedem Zyklus gerechnet. Zur Minimierung der Schwingungsneigung und zur Erhöhung der Positioniergenauigkeit ist für viele Kinematiken noch eine Stromvorsteuerung aktivierbar. Dies geht natürlich nur, wenn die Antriebsverstärker und der Feldbus schnell genug sind und Schnittstellen für eine zusätzliche Stromvorsteuerung zur Verfügung stehen. EtherCAT und die Beckhoff Servoverstärker vom Typ AX5000 erfüllen genau diese Anforderungen.

Die Konfiguration des Roboters erfolgt im bekannten TwinCAT System Manager, dem Tool zur Konfiguration der I/Os, aller Achsen und des Roboters. Hier werden die Stab- und Armlängen, sowie kinematische Versätze parametrisiert. Für die Vorsteuerung können optional noch Massen und Massenträgheiten des Roboters vorgegeben werden.

Ausblick

Mit dem TwinCAT-Kinematik-Transformationspaket steht dem TwinCAT-Nutzer die Möglichkeit zur einfachen Integration eines Roboters z. B. vom Typ Delta- oder SCARA-Kinematik zur Verfügung. Die Konfiguration erfolgt im TwinCAT System Manager. Die Berechnung des dynamischen Modells ermöglicht die Minimierung des Bahnschleppabstandes. Dadurch wird die Position bei hoher Wiederholgenauigkeit sehr genau eingehalten. Weitere Transformationen sind einfach zu entwickeln. In der nächsten Zeit stehen einfache Portale, Seilzugtransformation und Knickarmroboter auf dem Programm. Als Neuheit zeigt Beckhoff auf der Automatica, in einer Live-Demonstration, eine Erweiterung der TwinCAT-Software um die 6-D-Kinematik für Seilzugroboter. Die Vorteile des Seilzugroboters für Pick-and-place-Aufgaben ergeben sich aus seinem mechanischen Aufbau: Aufwändige Karbonstäbe werden durch kostengünstige Seile ersetzt, die Anordnung der Servomotoren ist flexibel (z. B. auch unterhalb des Roboters) und der Werkstückgreifer ist dreh- und neigbar.

TwinCAT Kinematic Transformation www.beckhoff.de/kinematics



Dr.-Ing. Josef Papenfort,
Produktmanager TwinCAT, Beckhoff



Dipl.-Ing. Klaus Berzen,
Produktmanager TwinCAT Motion
Control & Robotik, Beckhoff