

Einführung in die Robotik

Jianwei Zhang
zhang@informatik.uni-hamburg.de

T | A
M | S
Universität Hamburg
Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften
Department Informatik
Technische Aspekte Multimodaler Systeme

22. Juni 2010

Gliederung

- Allgemeine Informationen
- Einführung
- Koordinaten eines Manipulators
- Kinematik-Gleichungen
- Kinematik-Gleichungen
- Inverse Kinematik von Manipulatoren
- Differentielle Bewegungen mit homogenen Transformationen
- Jacobi-Matrix eines Manipulators
- Aufgabenbeschreibung
- Robotergrammierung auf drei Ebenen
- Trajektoriegenerierung
- Trajektoriegenerierung
- Einführung in RCCL

Gliederung (cont.)

Dynamik

Roboterregelung

- Klassifikation der Regelung von Roboterarmen
- Gelenkregler des PUMA-Roboters
- Interne Sensorik von Robotern
- Regelungssystem eines Roboters
- Lineare Regelung für Trajektorienverfolgung
- Modellbasierte Regelung für Trajektorienverfolgung
- Regelung im Kartesischen Raum
- Hybride Regelung der Kraft und Position

- Programmierung auf Aufgabenebene und Bahnplanung
- Programmierung auf Aufgabenebene und Bahnplanung
- Programmierung auf Aufgabenebene und Bahnplanung

Gliederung (cont.)

- Architekturen sensorbasierter intelligenter Systeme
- Aus- und Rückblick

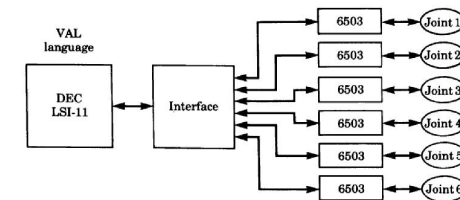
Klassifikation der Regelung von Roboterarmen

Als reines Problem der Trajektorie-Verfolgung:

- ▶ Regelung im Gelenkraum: PID, plus modellbasierte.
- ▶ Regelung im Kartesischen Raum: Gelenk-basierend, über Kinematik-Berechnung oder über inverse Jacobi-Berechnung.
- ▶ Adaptive Regelung: modell-bezogene adaptive Regelung, selbst-tunend.

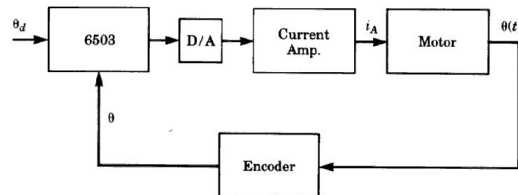
Hybride Regelung von Kraft und Position: (aktuelles Forschungsthema)

Architektur des Regelungssystems von PUMA-Robotern - I



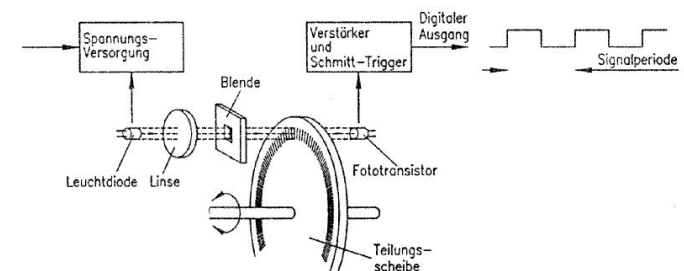
- ▶ Das gesamte System ist eine Hierarchie mit zwei Ebenen.
- ▶ Der DEC LSI-11 Rechner schickt alle 28ms neue Gelenk-Werte zur Regler-Interface.
- ▶ Die zu überwindende Distanz wird in 32 (möglich auch in $2^3 = 8, 2^4 = 16, 2^6 = 64, \dots$) Inkremente gleichmässig zerlegt und sie werden zum Gelenkregler weiter geschickt.

Gelenkregler des PUMA-Roboters



- ▶ Die Gelenkregelung arbeitet dann in 0.875 ms Takt.
- ▶ Encoder werden als Positionssensor eingesetzt.
- ▶ Potentiometer werden für grobe Positionsschätzung benutzt (nur PUMA-560).
- ▶ Kein Tachometer vorhanden. Gelenkgeschwindigkeit wird über die Differenzierung der Gelenkpositionen geschätzt.

Optische Encoder in einem Roboter



- ▶ Ein optischer Leser liest die Linien.
- ▶ Die Scheibe dreht sich wenn der Gelenkmotor sich bewegt (mit einem Verhältnis 1:1 am Beispiel des PUMA-Roboters. Über Getriebe ist die Genauigkeit ca. 0.0001 Rad/Bit).
- ▶ Eine spezielle Linie wird als "Null-Anzeige" markiert.

Interne Sensorik von Robotern

Die Sensoren befinden sich im Roboter und erfassen den internen Zustand des Roboters, u.a. die aktuelle Position und Geschwindigkeit jedes Gelenkes.

Positionsmesssysteme:

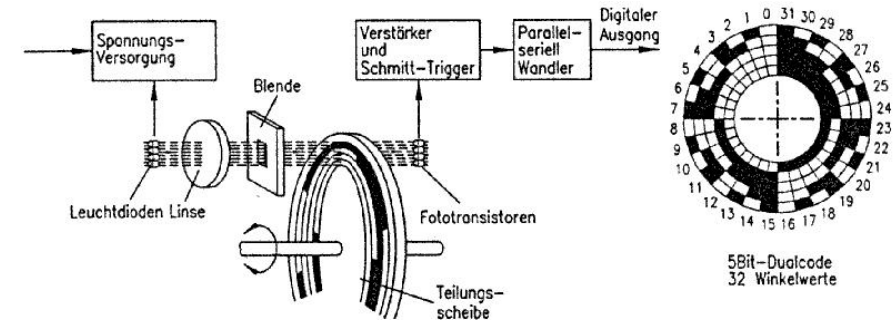
Potentiometer,
Drehimpulsgeber (Encoder),
Winkelcodier,
Resolver, ...

Geschwindigkeitsmessung:

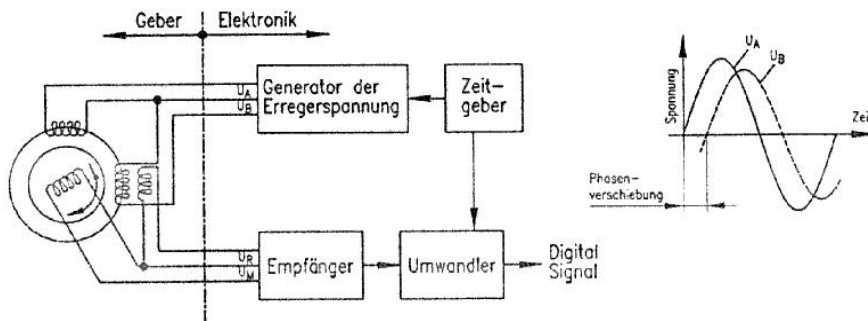
Für die direkte Geschwindigkeitsmessung an rotatorischen Gelenken werden häufig sogenannte Tachometer eingesetzt.

Indirekt lassen sich Geschwindigkeiten auch mit Positionsinformationen bestimmen.

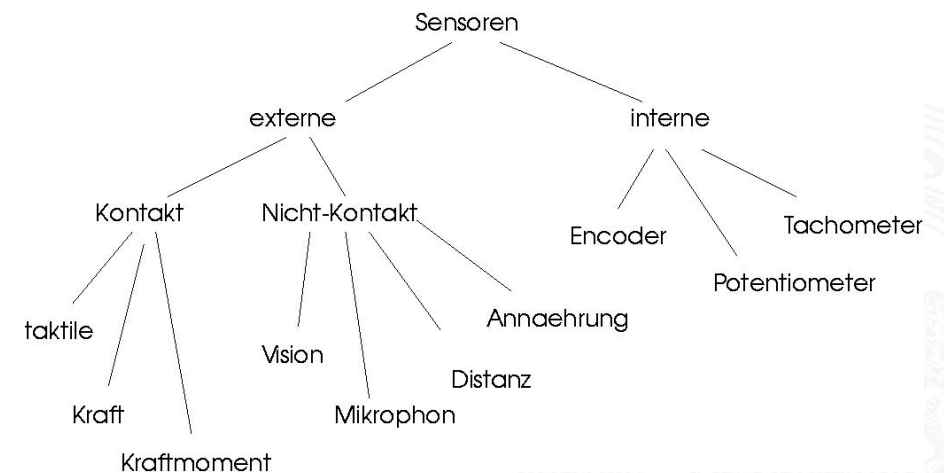
Arbeitsprinzip eines Winkelgebers



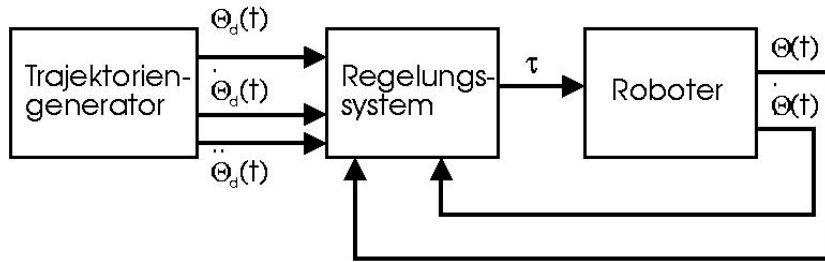
Arbeitsprinzip eines Resolvers (Drehmelders)



Sensoren: Klassifikationshierarchie



Regelungssystem eines Roboters



Regelungssystem eines Roboters

Führungsgröße:

$$\Theta_d(t),$$

$$\dot{\Theta}_d(t),$$

$$\ddot{\Theta}_d(t).$$

Fehlergröße:

$$E = \Theta_d - \Theta, \dot{E} = \dot{\Theta}_d - \dot{\Theta}$$

Ausgangsgröße:

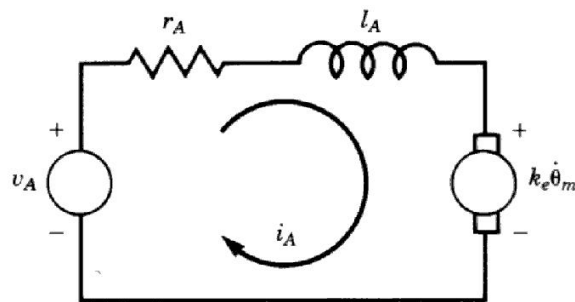
$$\Theta(t),$$

$$\dot{\Theta}(t).$$

Stellgröße:

$$\tau.$$

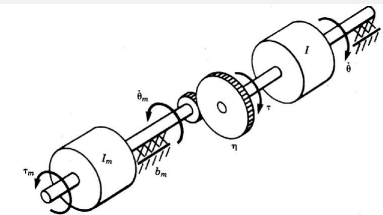
Schaltung eines DC-Motors



Die Schaltung läßt sich mit einer differentiellen Gleichung erster Ordnung beschreiben:

$$l_a \dot{i}_a + r_a i_a = v_a - k_e \dot{\theta}_m$$

Verbindung eines Motors mit einem Gelenk



Sei das Übersetzungsverhältnis η , dann gilt:

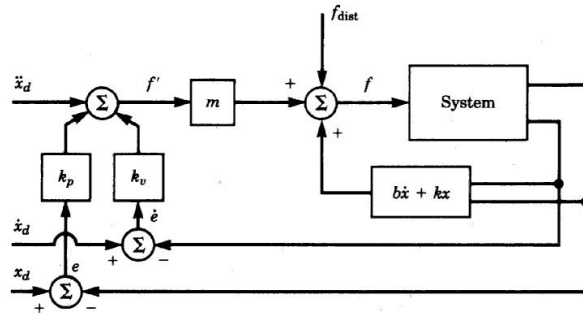
$$\tau_m = (I_m + I/\eta^2)\ddot{\theta}_m + (b_m + b/\eta^2)\dot{\theta}_m$$

wobei $\tau_m = k_m i_a$, I_m und I jeweils die Massenträgheit des Motor-Drehzylinders und der Last ist, und b_m und b die Reibungsfaktoren sind.

Darstellung mit Gelenkvariablen:

$$\tau = (I_m + \eta^2 I_m)\ddot{\theta} + (b_m + \eta^2 b_m)\dot{\theta}$$

Lineare Regelung für Trajektorienverfolgung



$$f' = \ddot{x}_d + k_v \dot{e} + k_p e + k_i \int e dt \quad (26)$$

(26) wird als das Gesetz der PID-Regelung bezeichnet.

P-, I- und D-Regler

P-Regler (Proportionalregler):

$\tau(t) = k_p \cdot e(t)$. Der Verstärkungsfaktor k_p bestimmt die Empfindlichkeit.

I-Regler (Integrator):

$\tau(t) = k_i \cdot \int_{t_0}^t e(t') dt'$. Langanhaltende Fehler werden dadurch aufsummiert.

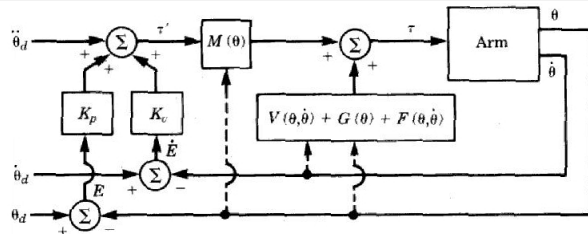
D-Regler (Differentialtor):

$\tau(t) = k_v \cdot \dot{e}(t)$. Dieser Regler zeigt eine empfindliche Reaktion auf zeitliche Änderungen der Regelabweichung.

Kombination \Rightarrow PID-Regler:

$$\tau(t) = k_p \cdot e(t) + k_v \cdot \dot{e}(t) + k_i \int_{t_0}^t e(t') dt'$$

Modellbasierte Regelung für Trajektorienverfolgung



Die dynamische Gleichung:

$$\tau = M(\Theta)\ddot{\Theta} + V(\Theta, \dot{\Theta}) + G(\Theta)$$

wobei $M(\Theta)$ die lageabhängige $n \times n$ -Massenmatrix eines Manipulators ist, $V(\Theta, \dot{\Theta})$ ein $n \times 1$ -Vektor der Zentripetal- und Coriolis-Terme ist, und $G(\Theta)$ eine komplizierte Funktion von Θ , die Position aller Gelenke des Manipulators, ist.

Wie regelt man Roboter besser?

Forschung:

Modell-basierte Regelung,
adaptive Regelung

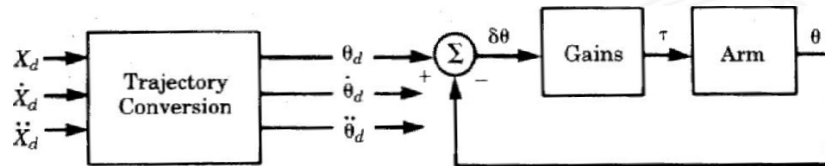
Regelungssysteme der Industrieroboter:

PID-Regelung + Schwerkraft-Kompensation:

$$\tau = \dot{\Theta}_d + K_v \dot{E} + K_p E + K_i \int E dt + \hat{G}(\Theta)$$

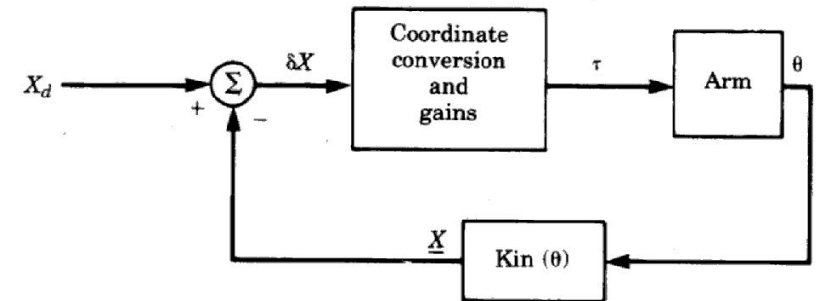
Regelung im Kartesischen Raum - Verfahren I

Gelenk-basierte Regelung mit Kartesischen Bahneingängen:



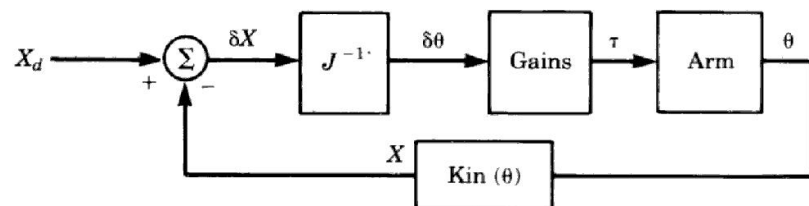
Regelung im Kartesischen Raum - Verfahren II

Kartesische Regelung über Kinematik-Berechnung:



Regelung im Kartesischen Raum - Verfahren III

Kartesische Regelung über inverse Jacobi-Berechnung:

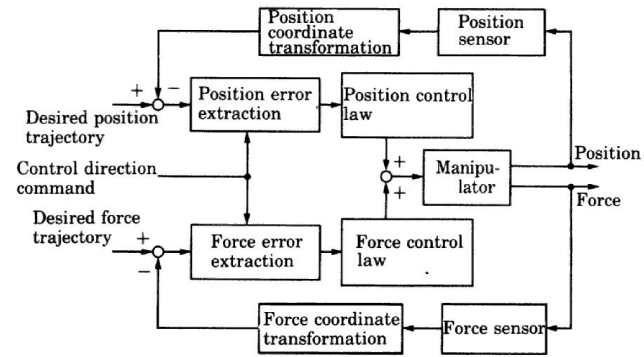


Hybride Regelung der Kraft und Position

Bei manchen Aufgaben müssen sowohl Position als auch Kraft auf dem Endeffektor geregelt werden: *Montage, Abschleifen, Tür-Öffnen und Schließen, Kurbel-Drehung ...*

Hybride Regelung der Kraft und Position

Ein Verfahren zur Kraftregelung:



Zwei Rückkopplungsschleife für separate Regelung von Position und Kraft.