Vorlesung: Einführung in die Robotik

Prof. J. Zhang
zhang@informatik.uni-hamburg.de

Universität Hamburg
Fachbereich Informatik
AB Technische Aspekte Multimodaler Systeme

6. Januar 2005

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.

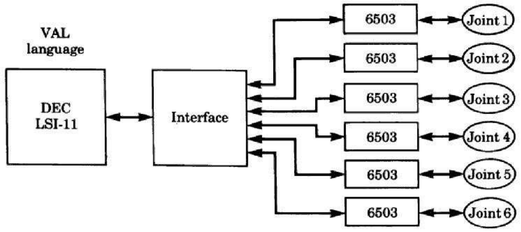
Hybride Regelung von Kraft und Position: (aktuelles Forschungsthema)

AB TAMS
Fachbereich Informatik
Vorlesung: Einführung in die Robotik

Inhaltsverzeichnis

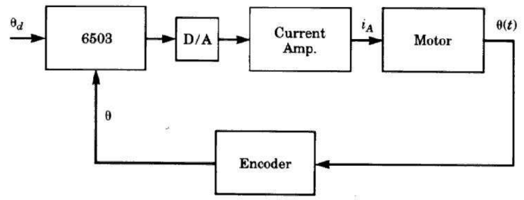
AB TAMS
Fachbereich Informatik
Kapitel: Roboterregelung
Abschnitt: Klassifikation der Regelung von Roboterarmen

Architektur des Regelungssystems von PUMA-Roboter



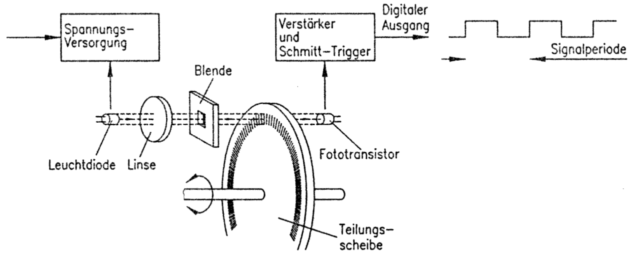
- Das gesamte System ist eine Hierarchie mit zwei Ebenen.
- Der DEC LSI-11 Rechner schickt alle 28ms neue Gelenk-Werte zur Regler-Interface.
- Die zu überwindende Distanz wird in 32 (möglich auch in $2^3 = 8, 2^4 = 16, 2^6 = 64, \ldots$) Inkremente gleichmässig zerlegt und sie werden zum Gelenkregler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

Positionsmesssyteme:

Potentiometer,

Drehimpulsgeber (Encoder),

Winkelcodier,

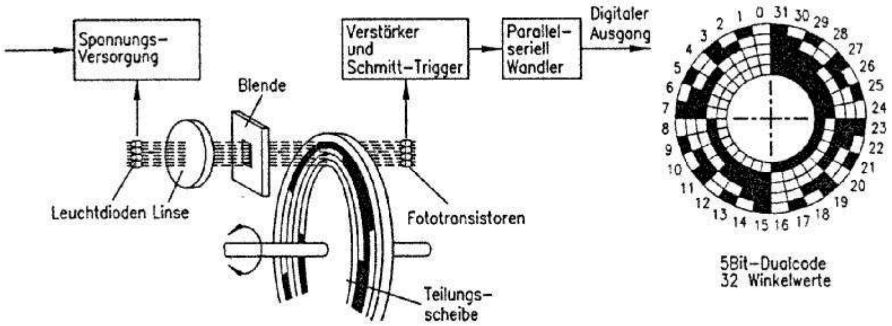
Resolver, ...

Geschwindigkeitsmessung:

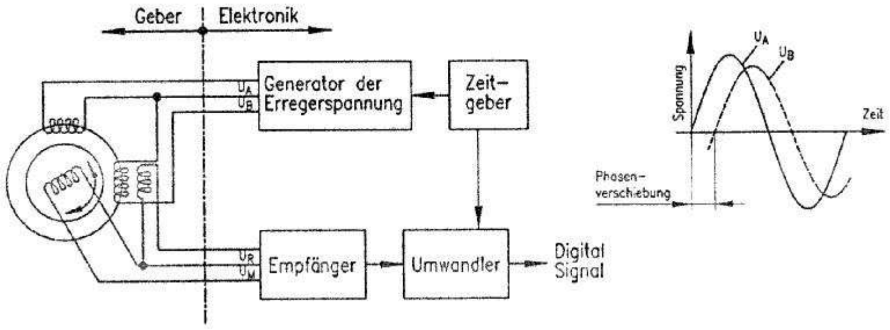
Für die direkte Geschwindigkeitsmessung an rotatorischen Gelenken werden häufig sogenannte Tachometer eingesetzt.

Indirekt lassen sich Geschwindigkeiten auch mit Positionsinformationen bestimmen.

Arbeitsprinzip eines Winkelgebers

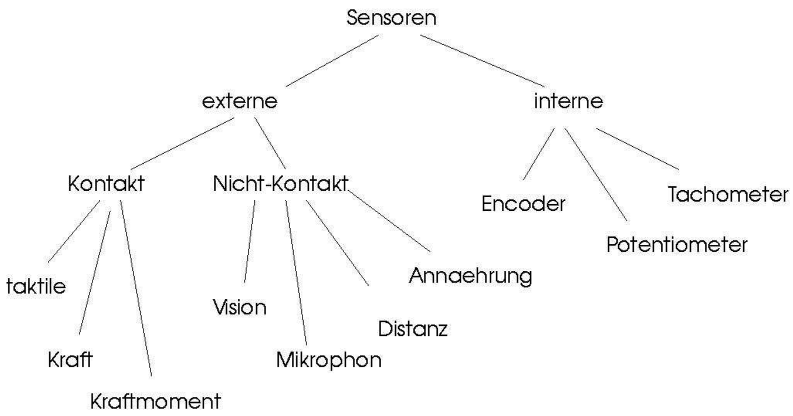


Arbeitsprinzip eines Resolvers (Drehmelders)

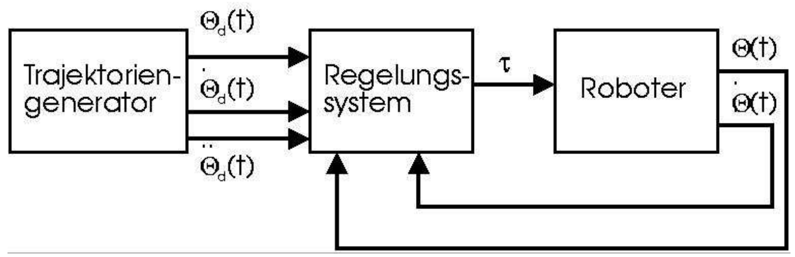


ASM Robotik

Sensoren: Klassifikationshierarchie



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:

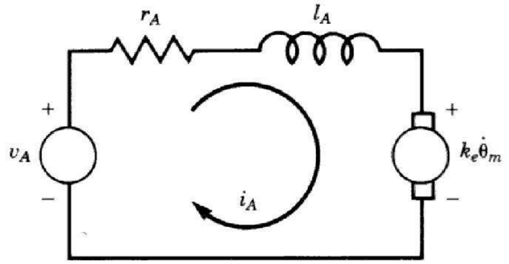
$\Theta(t)$,

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

Stellgröße:

τ.

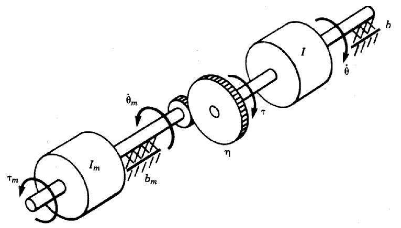
Schaltung eines DC-Motors



Die Schaltung läßt sich mit einer differenziellen 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:

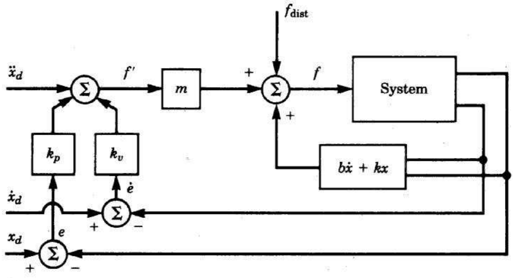
$$\tau_m = (I_m + I/\eta^2)\ddot{\theta}_m + (b_m + b/\eta^2)\dot{\theta}_m$$

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



$$f' = \ddot{x}_d + k_v\dot{e} + k_p e + k_i \int e dt \qquad (1)$$

(1) ist 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.

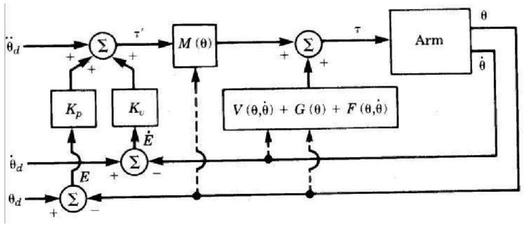
D-Regler (Differentialtor):

$\tau(t) = k_v \cdot \dot{e}(t)$. 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 lageabhägige $n \times n$-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

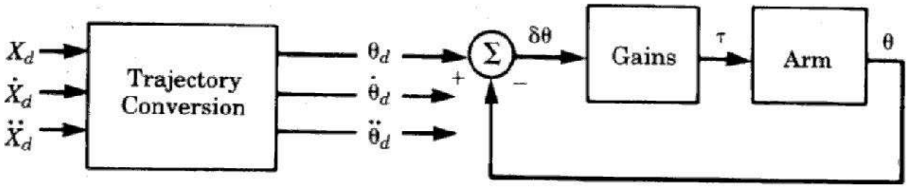
Regelungssysteme der Industrieroboter:

PID-Regelung + Schwerkraft-Kompensation:

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

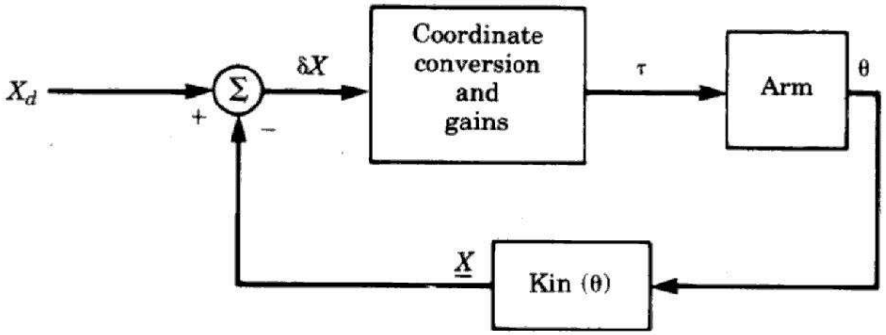
Regelung im Kartesischen Raum - Verfahren 1

Gelenk-basierte Regelung mit Kartesischen Bahneingängen:



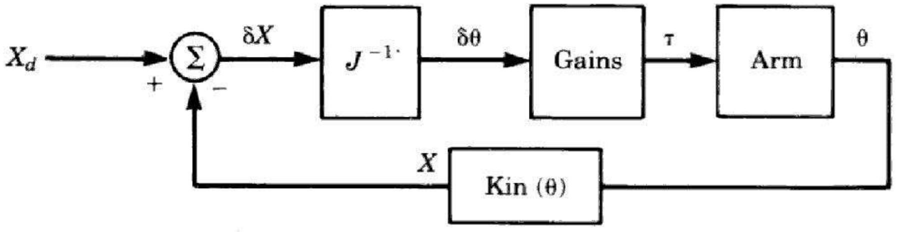
Regelung im Kartesischen Raum - Verfahren 2

Kartesische Regelung über Kinematik-Berechnung:



Regelung im Kartesischen Raum - Verfahren 3

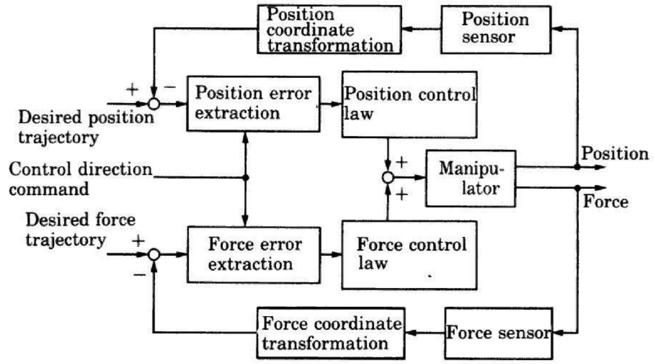
Kartesische Regelung über inverse Jacobi-Berechnung:



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 ...*

Ein Verfahren zur Kraftregelung:



Zwei Rückkopplungsschleife für separate Regelung von Position und Kraft.