Vorlesung: Einführung in die Robotik

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

Universität Hamburg
Fachbereich Informatik
AB Technische Aspekte Multimodaler Systeme

21. Oktober 2004

Allgemeine Informationen (1)

Vorlesung:	Donnerstag 10:15 s.t - 11:45 s.t.
Raum:	F334
Web:	http://tams-www.informatik.uni-hamburg.de/lehre/
Name:	Prof. Dr. Jianwei Zhang
Büro:	F308
E-mail:	zhang@informatik.uni-hamburg.de
Sprechstunde:	Donnerstag 15:00 - 16:00
Sekretariat:	Tatjana Tetsis
Büro:	F311
Tel.:	2430
E-mail:	tetsis@informatik.uni-hamburg.de

Inhaltsverzeichnis

Allgemeine Informationen (2)

Übungen:	Donnerstag 08:30 s.t - 10:00 s.t.
Raum:	F334
Web:	http://tams-www.informatik.uni-hamburg.de/lehre/
Name:	Tim Baier
Büro:	F316
Tel.:	2501
E-mail:	baier@informatik.uni-hamburg.de
Sprechstunde:	nach Vereinbarung

Vorkenntnisse

- Grundlagen der Physik
- (Grundlagen der Elektrotechnik)
- lineare Algebra
- elementare Matrizenalgebra
- Programmierkenntnisse

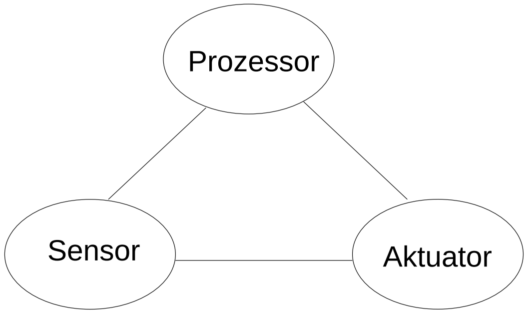
Inhalt

- mathematische Konzepte (Raumbeschreibung und Koordinaten-Transformationen, Kinematik, Dynamik)
- Regelungskonzepte (Bewegungsausführung)
- programmiertechnische Aspekte (RCCL, IGRIP)
- aufgabenorientierte Bewegungen

Einführung

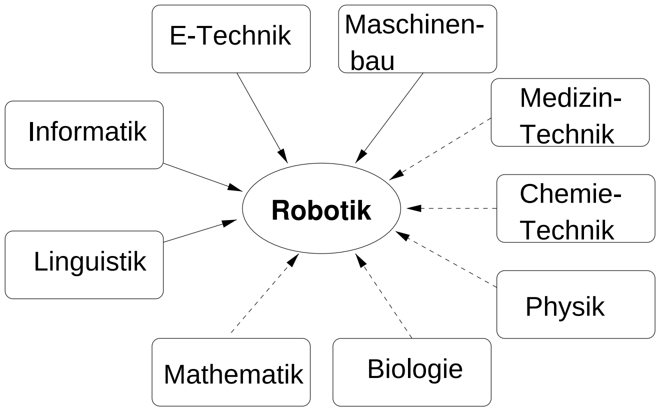
Grundbegriffe

Komponenten eines Roboters



Robotik: intelligente Verbindung von Rechnern, Sensorik und Aktuatoren.

Ein interdisziplinäres Gebiet



Definition von Industrierobotern

Ein Roboter ist laut RIA (*Robot Institute of America*):

> ...a reprogrammable and multifunctional manipulator, devised for the transport of materials, parts, tools or specialized systems, with varied and programmed movements, with the aim of carrying out varied tasks.

Hintergrund einiger Terminie

"Robot" wurde populär mit einem Theaterstück von Karel Capek 1923, war ein tüchtiger Diener.

"Robotics" wurde erfunden von Isaac Asimov 1942.

"Autonomous": (wörtlich) (gr.) "nach eigenen Gesetzen lebend" (*Auto:* Selbst; *nomos*: Gesetz)

"Personal Robot": ein kleines mobiles Robotersystem mit einfachen Fähigkeiten vom Sichtsystem, Sprechen, Bewegung, usw. (ab 1980).

"Service Robot": ein mobiles Handhabungssystem mit Sensoren für anspruchsvolle Operationen in Service-Bereichen (ab 1989).

Freiheitsgrade eines Roboters

Degrees of Freedom (DOF):

Die Anzahl der unabhängigen Koordinaten-Ebenen oder Orientierungen auf die sich ein Gelenk oder End-Punkt eines Roboters bewegen kann.

Der DOF wird von der Anzahl der unabhängigen Variablen des Steuerungssystems bestimmt.

- Auf einer Ebene: translatorische / rotatorsiche Bewegungen
- In einem Raum: translatorische / rotatorsiche Bewegungen
  - Standort + Orientierung
  (die maximale Anzahl des DOF eines Festkörpers?)
- Der DOF eines Manipulators: Anzahl der Gelenke, die unabhängig gesteuert werden.
  Ein "Roboter" sollte mindestens zwei Freiheitsgrade besitzen.

Roboterklassifikation

nach Antriebsprinzip

- elektrisch
- hydraulisch
- pneumatisch

Roboterklassifikation nach Arbeitsbereich

- stationär
  - Arme mit 2 DOF
  - Arme mit 3 DOF
  - ...
  - Arme mit 6 DOF
  - Redundante Arme (> 6 DOF)
  - Multifinger-Hand
- mobil
  - *Automated Guided Vehicles*
  - Portalroboter
  - mobile Platform
  - Laufmaschinen und fliegende Roboter
  - Anthropomorphische Roboter (Humanoids)

Roboterklassifikation nach Art der Gelenke

- translatorisch (“linear joint”, “translational”, “Cartesian”, “prismatic”)
- rotatorisch
- Kombinationen

Roboterklassifikation nach Roboterkoordinaten-Systemen

- Kartesische
- Zylindrische
- Kugelförmige

Roboterklassifikation

nach Anwendung

- Objekt-Manipulation
- Objekt-Modifikation
- Objekt-Bearbeitung
- Transport
- Montage
- Qualitätsprüfung
- Einsätze in nicht zugänglichen Bereichen
- Land- und Forstwirtschaft
- Unterwasser
- Bauwesen
- Service-Roboter in Medizin, Hausarbeit, ...

Roboterklassifikation nach Intelligenz

- manuelle Steuerung
- programmierbar für wiederholte Bewegungen
- mit Wahrnehmungs- und Reaktionsfähigkeit
- lernfähig auf Aufgabenebene

Robotik macht Spass!

- Roboter bewegen sich - Rechner nicht
- Interdisziplinarität:
  Soft- und Hardwaretechnik,
  Sensortechnik,
  Mechatronik,
  Regelungstechnik,
  Multimedia, ...
- Ein Traum der Menschheit:
  „Computer sind das bis heute genialste Produkt menschlicher Faulheit.“
  Computer ⇔ Roboter

Literatur

Die offiziellen Folien (mit mehr Literaturhinweisen) liegen im TAMS unter “Lehrveranstaltungen”

Wichtige Sekundärliteratur:

- **K. S. Fu, R. C. Gonzales and C. S. G. Lee**, *Robotics: Control, Sensing, Vision and Intelligence*, McGraw-Hill, 1987
- **R. P. Paul**, *Robot Manipulators: Mathematics, Programming and Control*, MIT Press, 1981
- **J. J. Craig.** *Introduction to Robotics*, Addison-Wesley, 1989.

Koordinatensysteme

Die Lage von Gegenständen, also ihre **Position** und **Orientierung** im euklidischen Raum lässt sich beschreiben durch Angabe eines kartesischen Koordinatensystems (KS).

Beschreibung von Position und Orientierung

Position:

- gegeben durch $\vec{p} \in \mathcal{R}^3$

Orientierung:

- gegeben durch Projektion $\vec{n}, \vec{o}, \vec{a} \in \mathcal{R}^3$ der Achsen des KS ins Ursprungsystem
- zusammengefasst zu Rotationsmatrix $R = \begin{bmatrix} \vec{n} & \vec{o} & \vec{a} \end{bmatrix} \in \mathcal{R}^{3\times 3}$
- redundant, da 9 Parameter für 3 Freiheitsgrade
- andere Darstellungsformen möglich, z.B. *roll*, *pitch*, *yaw* Winkel

Homogene Transformation

- Kombination von $\vec{p}$ und R zu $T = \begin{bmatrix} & R & & \vec{p} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \in \mathcal{R}^{4\times 4}$
- Verkettung mehrerer T über Matrixmultiplikation
- nicht kommutativ, d.h. $A \cdot B \neq B \cdot A$

Positionsgleichungen

- Beschreibung komplexer Situationen über Verkettung mehrerer T zu einer Positionsgleichung
- z.B. $BASE \cdot T6 \cdot TOOL = OBJ \cdot GRASP$
- auflösen nach $T6 = BASE^{-1} \cdot OBJ \cdot GRASP \cdot TOOL^{-1}$
- beschreibt Ziel**position**, nicht **Weg** dahin!

Roboterkinematik

Vielfach besteht nur Interesse an Position und Orientierung des Roboter**greifers**. Ein Roboter ist dann nur ein Objekt wie jedes andere, beschrieben über eine Transformation wie alle anderen.

Denavit Hartenberg Konvention

- Definition eines Koordinatensystems pro Segment $i = 1..n$
- Definition von 4 Parametern pro Segment $i = 1..n$
- Definition einer Transformation A_i pro Segment $i = 1..n$
- $T6 = \prod_{i=1}^{n} A_i$

Position

$T6$ definiert, wie die n Gelenkwinkel zu 12 nichtlinearen Formeln zusammenzufassen sind um 6 kartesische Freiheitsgrade zu beschreiben.

Vorwärtskinematik K definiert als:

- $K : \vec{\theta} \in \mathcal{R}^n \rightarrow \vec{x} \in \mathcal{R}^6$
- Gelenkwinkel $\rightarrow$ Position $+$ Orientierung

Inverse Kinematik K^{-1} definiert als:

- $K^{-1} : \vec{x} \in \mathcal{R}^6 \rightarrow \vec{\theta} \in \mathcal{R}^n$
- Position $+$ Orientierung $\rightarrow$ Gelenkwinkel
- nichttrivial, weil K i.A. nicht eindeutig invertierbar

Differentielle Bewegung

Die nichtlineare Kinematik K kann linearisiert werden über die *Taylorreihe* $f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(x_0)}{n!}(x - x_0)^n$.

Die Jacobimatrix J als Faktor für $n = 1$ der mehrdimensionalen Taylorreihe ist definiert als:

- $J(\vec{\theta}) : \dot{\vec{\theta}} \in \mathcal{R}^n \rightarrow \dot{\vec{x}} \in \mathcal{R}^6$
- Gelenkgeschwindigkeit $\rightarrow$ kartesische Geschwindigkeit

Inverse Jacobimatrix J^{-1} definiert als:

- $J^{-1}(\vec{\theta}) : \dot{\vec{x}} \in \mathcal{R}^6 \rightarrow \dot{\vec{\theta}} \in \mathcal{R}^n$
- kartesische Geschwindigkeit $\rightarrow$ Gelenkgeschwindigkeit
- nichttrivial, weil J nicht zwangsweise invertierbar (z.B. nicht quadratisch)

Bahnplanung

Da $T6$ nur die Ziel**position** beschreibt, ist explizite Generierung einer Trajektorie nötig, je nach *constraints* unterschiedlich für:

- Gelenkwinkelraum
- kartesischen Raum

Interpolation durch:

- stückweise Geraden
- stückweise Polynome
- B-Splines
- ...

Aufgaben

1.1 Lesen:
J. F. Engelberger. *Robotics in Service*, The MIT Press, 1989.
(vorhanden im Semesterapparat)

1.2 Machen Sie sich vertraut mit C-Programmierung.

1.3 Wiederholen Sie Ihre Kenntnisse in der linearen Algebra, insbesondere in der elementaren Matrizenalgebra.