

Einführung in die Robotik

Jianwei Zhang
zhang@informatik.uni-hamburg.de

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

12. Juli 2011

Gliederung

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

Gliederung (cont.)

Roboterregelung

Programmierung auf Aufgabenebene und Bahnplanung

Programmierung auf Aufgabenebene und Bahnplanung

Programmierung auf Aufgabenebene und Bahnplanung

Architekturen sensorbasierter intelligenter Systeme

Architekturen sensorbasierter intelligenter Systeme

Das Perzeption-Aktion-Modell mit Gedächtnis

Das CMAC-Modell

Die Subsumtions-Architektur

Steuerungsarchitektur eines Fisches

Verhaltensfusion

Hierarchie

Eine Architektur für lernende Roboter

Gliederung (cont.)

Das AuRA-Modell - Arkin '86

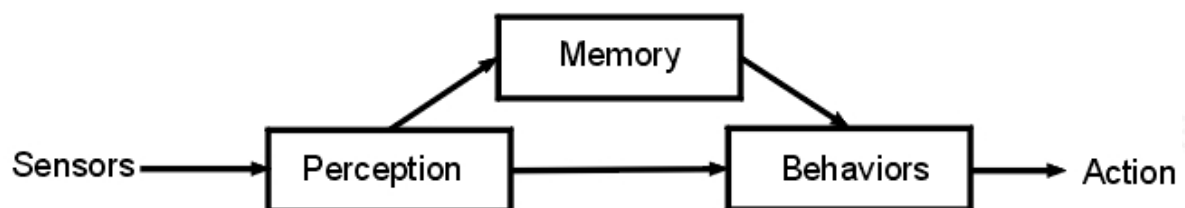
Aus- und Rückblick

Architekturen sensorbasierter intelligenter Systeme

Themenübersicht

- ▶ **Basisverhalten**
- ▶ **Verhaltensfusion**
- ▶ **Subsumtion**
- ▶ **Hierarchische Entwürfe**
- ▶ **Interaktive Architekturen**

Das Perzeption-Aktion-Modell mit Gedächtnis



Das CMAC-Modell - I

(Englisch)

CMAC: "Cerebellar Model Articulation Controller"

The input vector **S** is modelled as sensory firing cell patterns. The combination of the cell patterns produces an association vector **A**. This association cell vector multiplied by the weight matrix **W** produces a response vector **P**.

The CMAC model can be viewed as two mappings:

$$f : \mathbf{S} \rightarrow \mathbf{A}$$

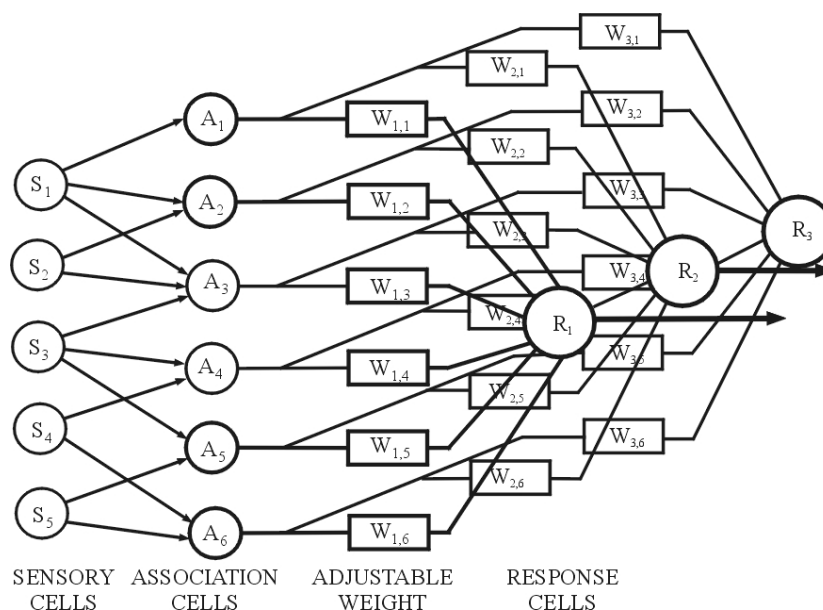
$$g : \mathbf{A} \rightarrow \mathbf{P}$$

S = { sensory input vectors }

A = { association cell vectors }

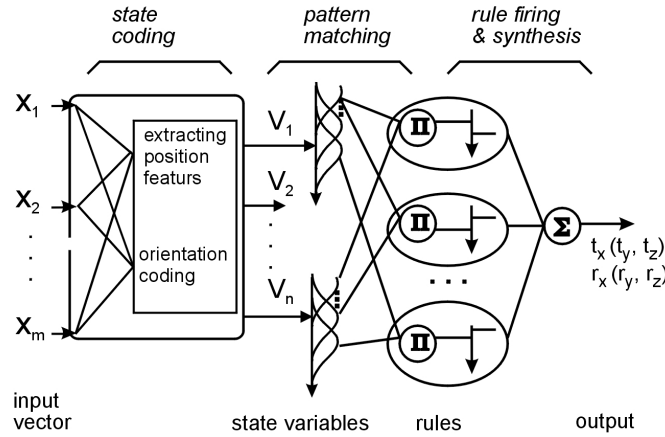
P = { response output vectors }

CMAC - II

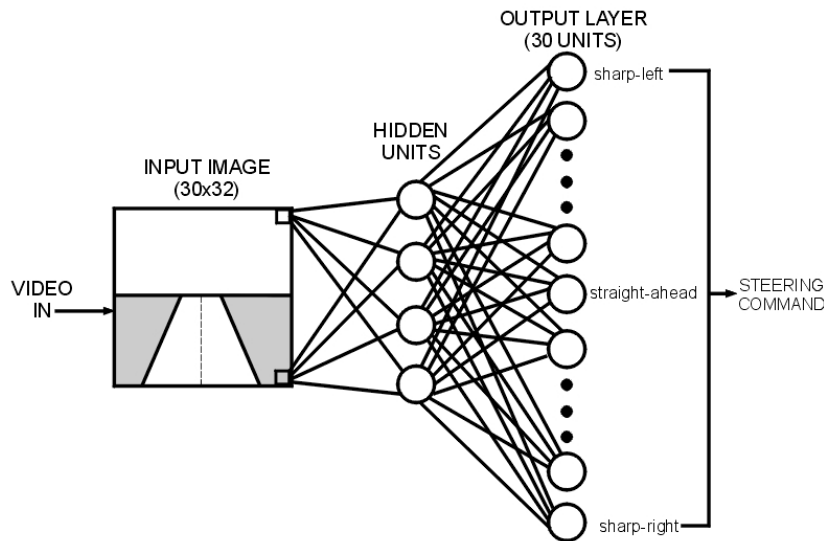


B-Spline-Modell

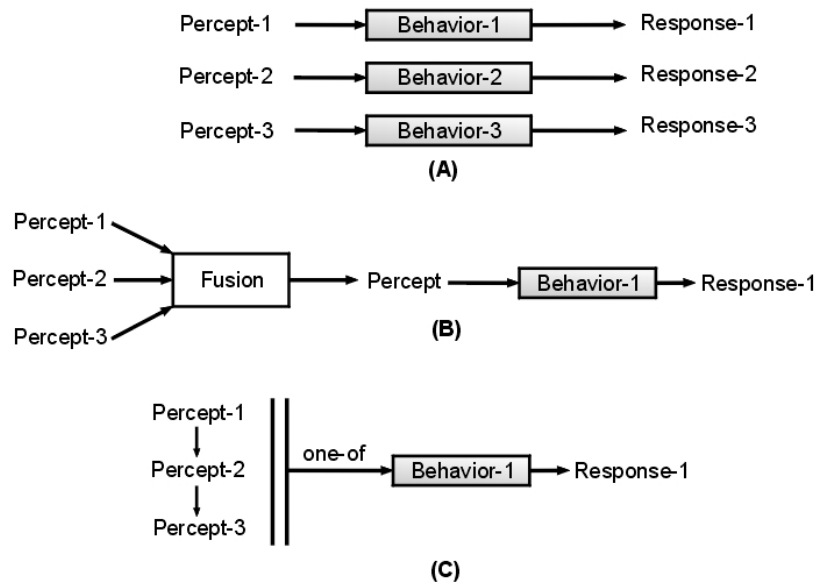
The B-Spline model is an ideal implementation of the CMAC-Model. The CMAC model provides an neurophysiological interpretation of the B-Spline model.



Alvinn - Visuelle Navigation CMU



Handlungsorientierte Perzeption



Die Subsumtions-Architektur

(Englisch, R. Brooks)

A robot program employing the modelling/planning paradigm is composed of a sequence of steps. These functional units transform a snapshot of sensory data into a series of actions intended to achieve a specified goal.

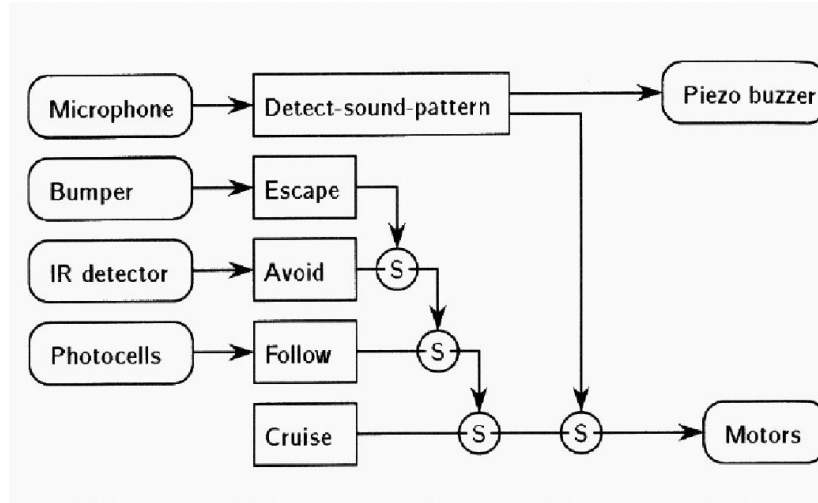
A subsumption architecture for a mobile robot "Rug Warrior" begins with a behaviour called "Cruise" (moving forward).

"Follow" is triggered by photo-cells to move toward right.

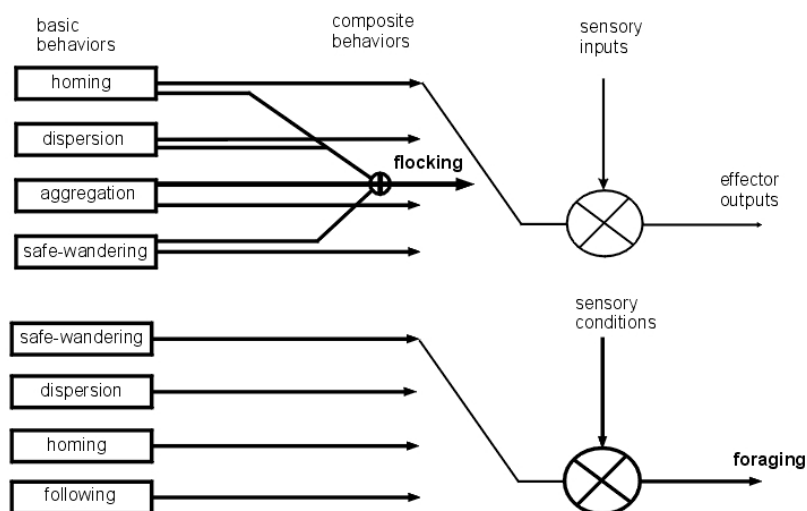
"Avoid" suppresses "Follow" and "Cruise" when the near-infrared sensors detect an imminent collision and "Escape" also helps to avoid obstacles.

The highest-level behaviour, "Detect-Sound-Pattern" caused the robot to play a tune.

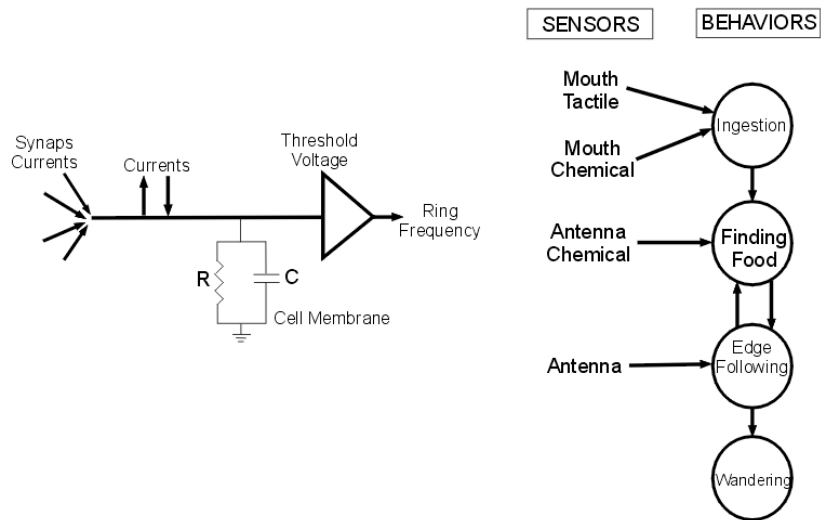
Die Subsumtions-Architektur



Foraging and Flocking



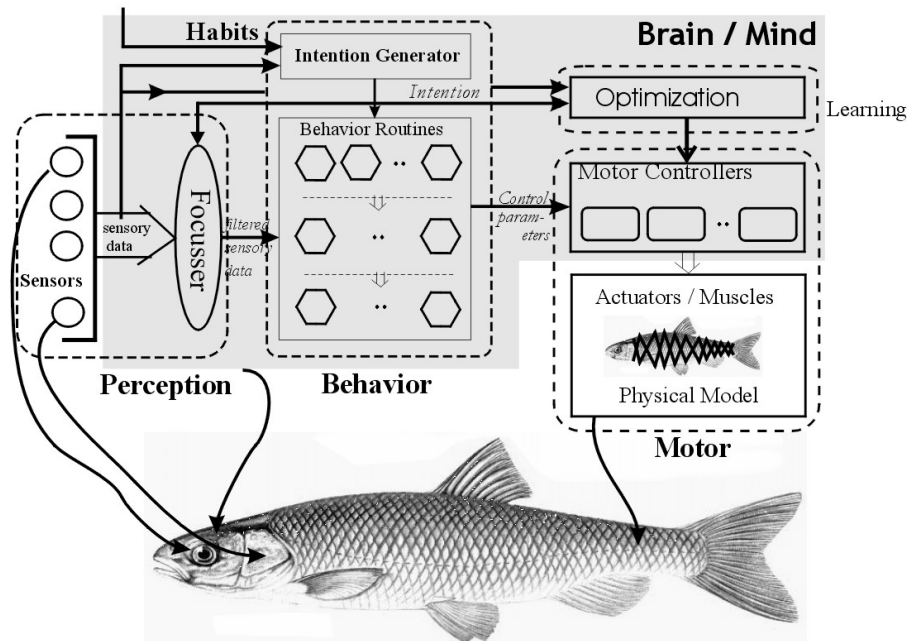
Cockroach Neuron / Behaviors



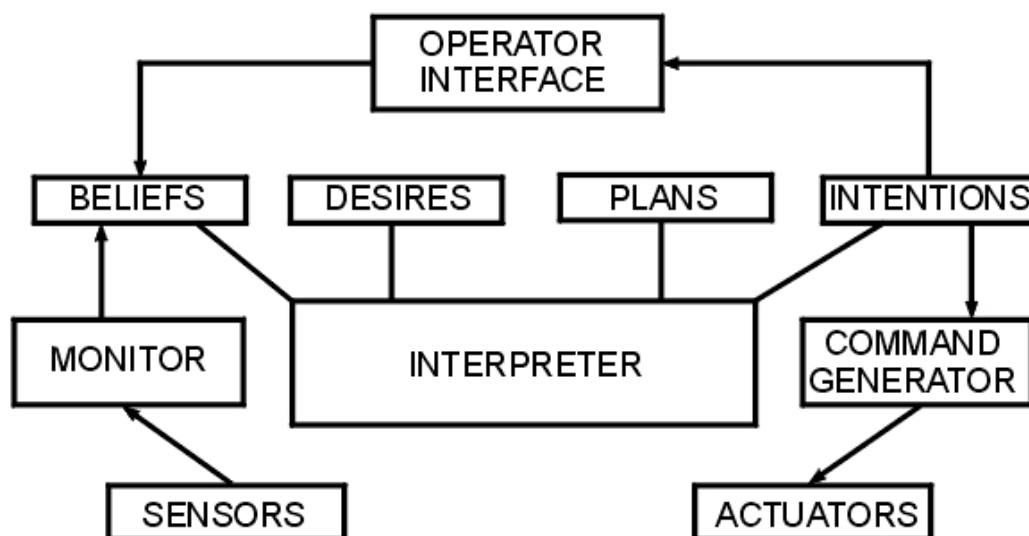
Steuerungsarchitektur eines Fisches

- (E.)
- Control and information flow in artificial fish:
- Perception: sensors, focusser, filter
- Behaviours: behaviour routines
- Brain/mind: habits, intention generator
- Learning: optimization
- Motor: motor controllers, actuators/muscles

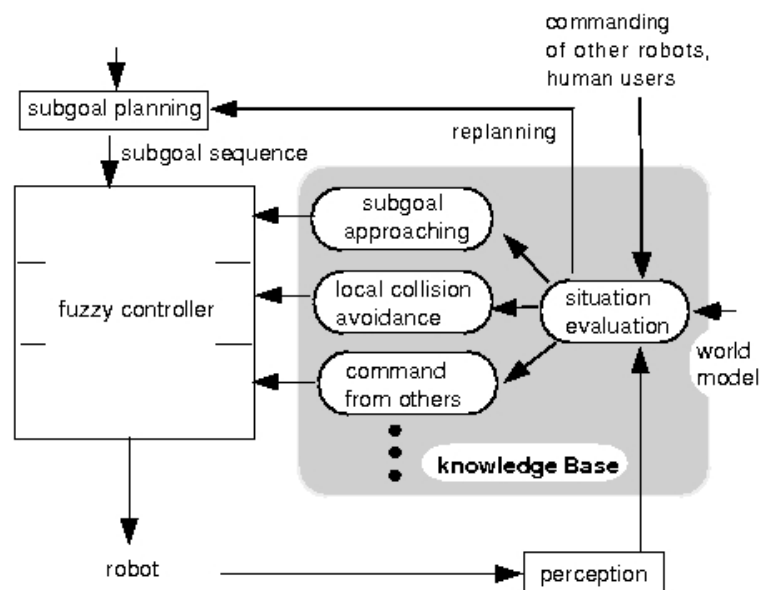
Steuerungsarchitektur eines Fisches



Procedural Reasoning System - SRI 1987



Hierarchische Fuzzy-Regelung eines Roboters



Hierarchische Fuzzy-Regelung eines Roboters

Für die Situationsbewertung werden Fuzzy-Regeln benutzt.

Durch die **Situationsbewertung** werden 3 Fuzzy-Parameter bestimmt:

- ▶ die Priorität K
- ▶ den Replanning-Selector
- ▶ und $NextSubgoal$, ob ein Unterziel vorbei ist.

Eine typische Regel: IF ($SL85$ IS HIGH) AND ($SL45$ IS VL) AND ($SLR0$ IS VL) AND ($SR45$ IS VL) AND ($SR85$ IS VL) THEN K IS HIGH AND $Replan$ IS LOW

Koordinierung von mehreren Regelbasen:

$$Speed = Speed_{LCA} \cdot K + Speed_{SA} \cdot (1 - K)$$

$$Steer = Steer_{LCA} \cdot K + Steer_{SA} \cdot (1 - K)$$

Hierarchie

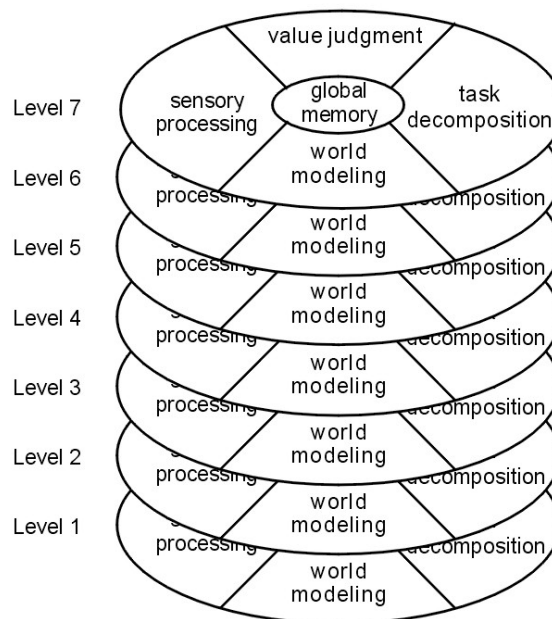
(Englisch, J. Albus)

A RCS (real-time Control System) reference model architecture for intelligent system.

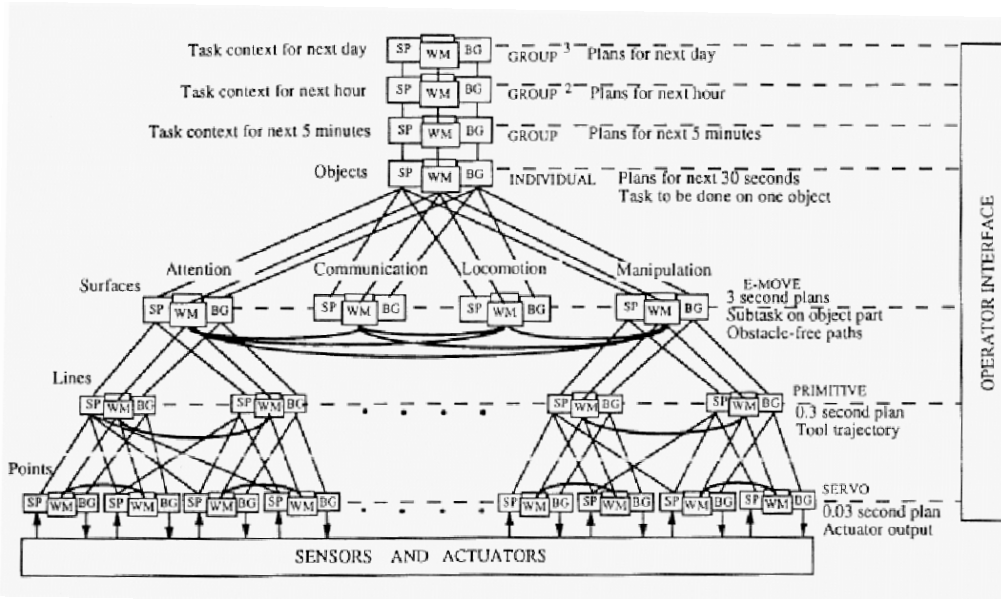
Processing modes are organised such that the BG (Behaviour Generation) modules form a command tree.

Information in the knowledge database is shared between WM (World Model) modules in nodes within the same subtree. On the right, are examples of functional characteristics of the BG modules and stored by the WM in the knowledge database at each level.

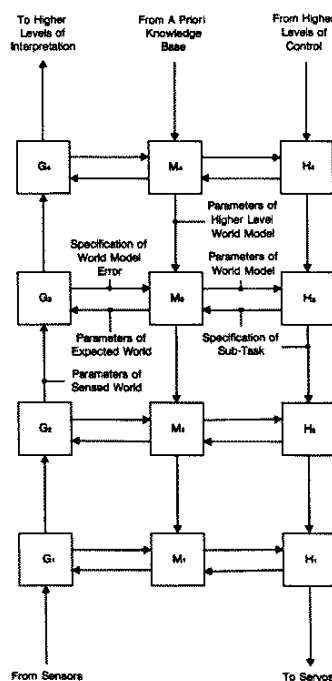
Hierarchie



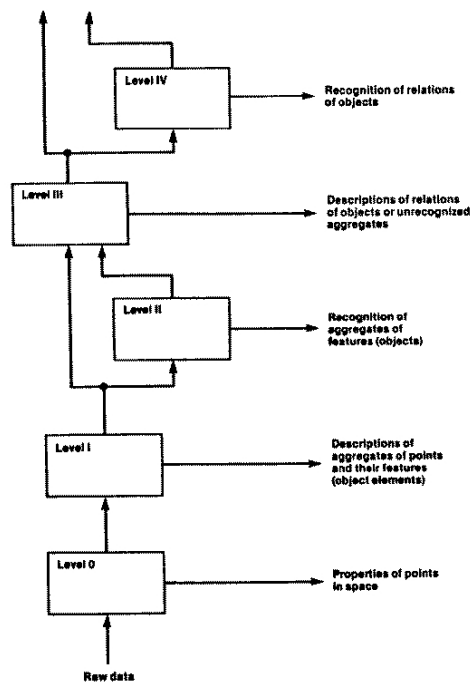
Hierarchie



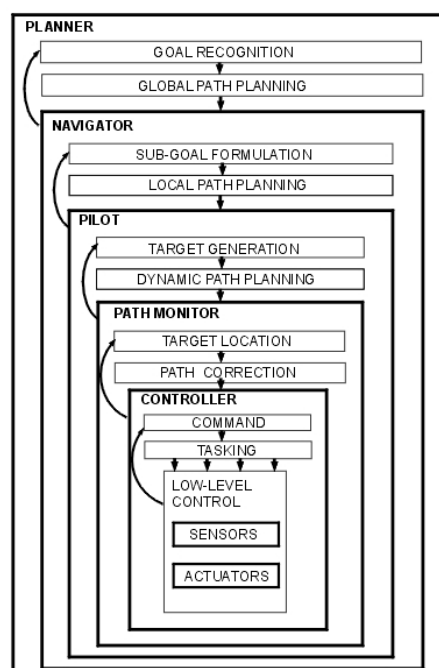
Hierarchie



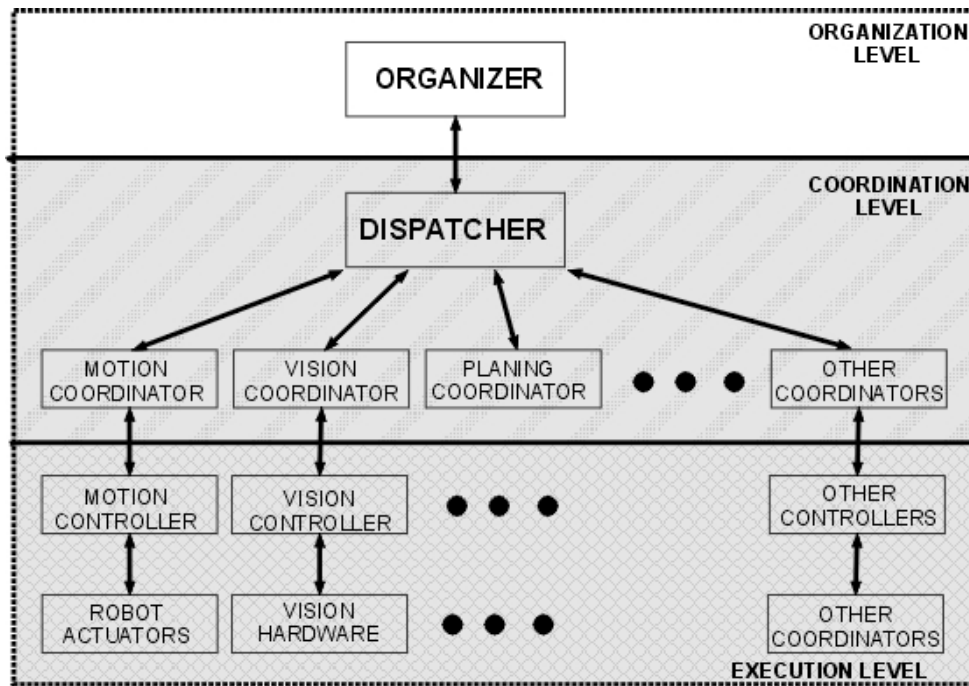
Sensor-Hierarchie



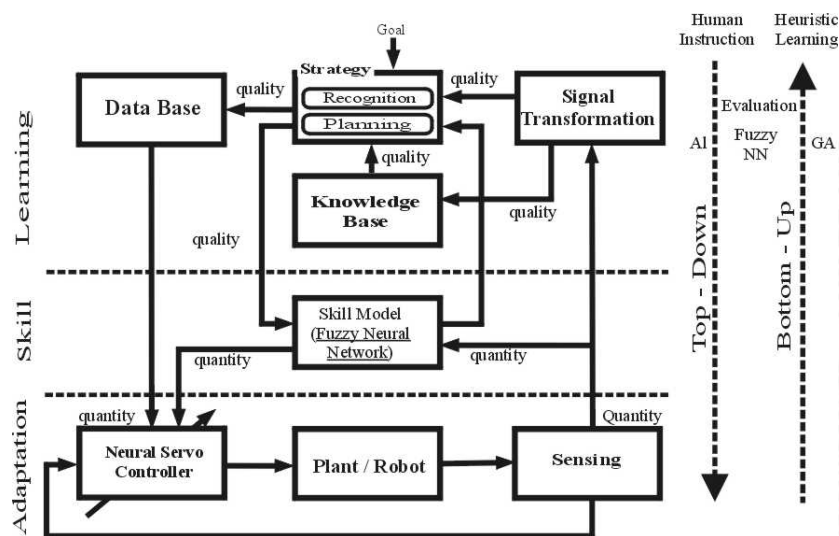
Ein anderes Beispiel - Meystel



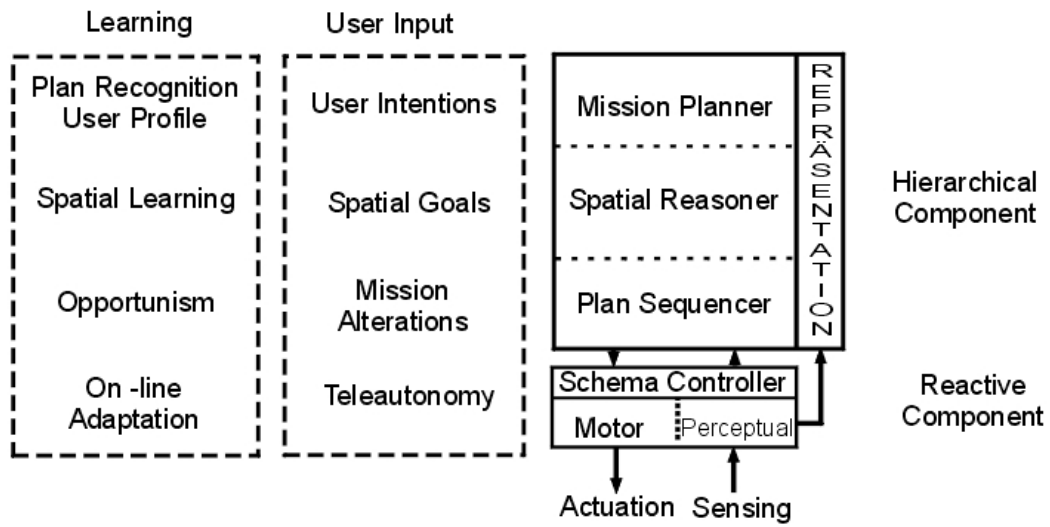
Ein anderes Beispiel - Saridis



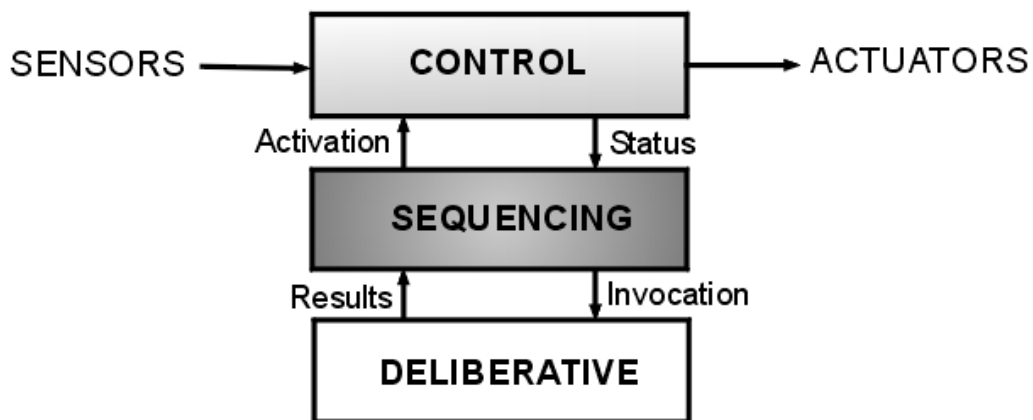
Eine Architektur für lernende Roboter



Das AuRA-Modell - Arkin '86



Atlantis – Nasa Rovers 1991



Gliederung

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

Gliederung (cont.)

Roboterregelung
Programmierung auf Aufgabenebene und Bahnplanung
Programmierung auf Aufgabenebene und Bahnplanung
Programmierung auf Aufgabenebene und Bahnplanung
Architekturen sensorbasierter intelligenter Systeme
Aus- und Rückblick

Thematische Zusammenfassung – Regelung

- ▶ Industrieroboter:
 - ▶ Positionregler mit PID-Reglern;
 - ▶ mit Schwerkraftkompensation
- ▶ Forschung:
 - ▶ modellbasierte Regelung
 - ▶ hybride Position-Kraft-Regelung
 - ▶ “under-actuated control”
 - ▶ “backwards controllable” (“direct drive”, “artificial muscle”) structure
 - ▶ Externesensorbasierte Regelung

Thematische Zusammenfassung – Regelung

Adept-Roboter: direct drive



Thematische Zusammenfassung – Mechanische Strukturen von Roboter

behandelt:

- ▶ Offene Kette mit rotatorischen Gelenken
- ▶ Hybride von rotatorischen und translatorischen Gelenken (SCARA, Stanford)

weitere:

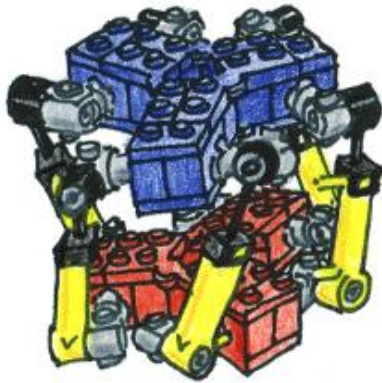
- ▶ mobile Roboter, Laufmaschine
- ▶ Geschlossene Kette u.a. Steward Mechanismus (Craig 279)
- ▶ Antrieb ohne Motoren

Die Stewart-Plattform

eine Plattform, die auf dem Boden steht, und eine, die mit insgesamt 6 variablen Beinen (in der Regel Hydrauliken) mit der unteren verbunden ist.

Die Befestigungen der Beine an beiden Plattformen geschieht mittels Kardangelenken. Mathematisch entspricht das einem sechs-dimensionalen Konfigurationsraum ohne Singularitäten. Der Vorteil einer parallelen Mechanik ist die große Nutzlast, die diese Systeme tragen können. Ein sequentieller Greifarm kann die auftretenden Drehmomente nicht bewältigen.

Die Stewart-Plattform



Thematische Zusammenfassung – Algorithmen

- ▶ Transformation
- ▶ Trajektoriengenerierung (z.B. Gerade Kartesische Bahn)
- ▶ Approximierte Darstellung von Roboterglidern und Objekten
- ▶ Graph-Bildung (V-Graph, T-Graph, ...)
- ▶ Suche-Algorithmen
- ▶ Andere Bahnplanungsalgorithmen
- ▶ Sensorfusion
- ▶ Vision: Erkennung (statisch, dynamisch), Rekonstruierung von Position und Lage
- ▶ Aktionsplanung
- ▶ Sensorgeführte Bewegung



Gesamt-Rückblick - I

- ▶ **Einleitung:**
 Definition, Klassifikation, Grundkomponenten, DOF
- ▶ **Koordinaten-Transformation:**
 Manipulator-Koordinaten, homogene Transformationen, Drehmatrizen, ihre Inverse und ihre Verknüpfung, Transformations-Gleichungen (s. Paul81, Craig89, FGL87)
- ▶ **Kinematik:**
 Problematik der Kinematik und der inversen Kinematik, DH-Konvention und ihre Anwendungen, die algebraische und geometrische Lösung der inversen Kinematik, differentielle homogene Transformationen, Jacobi-Matrizen, Singularitäten (s. Paul81, Craig89, FGL87)



Gesamt-Rückblick - I

- ▶ **Trajektoriegenerierung:**
 Aufgabe und Randbedingungen, Polynom-Lösungen zwischen zwei Punkten sowie vier Punkten, Faktoren der optimalen Bewegung, Gerade Bewegungen im Kartesischen Raum: Realisierung und Probleme, Konzept der B-Spline-Interpolation, B-Spline Basisfunktionen. (s. Craig89, FGL87, Literatur über B-Splines)
- ▶ **Programmierung:**
 Aufgabenbeschreibung: Schritte von der Frame-Definition zur Erstellung von Bewegungsprogrammen, Vorteile und Konzepte von RCCL (s. Paul81, RCCL-Guide), Typen der Roboterprogrammierung, Off-line Programmierung (IRIP-Unterlagen, Craig89)
- ▶ **Regelung:**
 Regelungssysteme des PUMA-Roboters, lineare und Modell-basierte Regelung, PID-Regler, Regelungskonzepte im Kartesischen Raum (s. Craig89, FGL87).



Gesamt-Rückblick - I

- ▶ **Sensoren:**
 Klassifikation, Interne Sensoren: Prinzip und Anwendung in der Regelung (s. Craig87, FGL87)
- ▶ **Dynamik:**
 Probleme, Newton-Euler'sche Gleichungen und Lagrange'sche Gleichungen (Lösung für Arme mit 1-2 Gelenken) Struktur einer dynamischen Gleichung (s. Paul81, FGL87)
- ▶ **Kollisionsvermeidung:**
 Begriffe um Konfigurationsraum, Konzepte der Transformation zum Konfigurationsraum, Objekt-Repräsentationen, Potentialfeld-Methoden, Probabilistische Ansätze
- ▶ **Steuerungsarchitektur:**
 Subsumtion, CMAC, Hierarchische,



Ergänzte Literatur

SiBo96 H.-J. Siegert und S. Bocionek. *Robotik: Programmierung intelligenter Roboter*, Springer-Verlag, 1996.

Schilling90 R. J. Schilling. *Fundamentals of Robotics: Analysis and Control*, Printice Hall, 1990.

Yoshikawa90 T. Yoshikawa. *Foundations of Robotics*, The MIT Press, 1990.

SpVi89 M. W. Spong and M. Vidyasagar. *Robot Dynamics and Control*, Wiley, 1989.

Intelligente Robotersysteme

Zugrundliegende Roboter-Technik (wie oben) plus:

- ▶ **Externe Wahrnehmung:**
zuverlässige Umweltmessungen, Szenen-Verstehen
- ▶ **Wissensbasis:**
über Umwelt, eigene Zustände, alltägliche Wissen wie von einem Mensch
- ▶ **Automatische Planung:**
Aktion, Grobbewegung, Greifen und Sensordatenerfassung

Intelligente Robotersysteme

- ▶ **Menschfreundliche Schnittstelle:**
Verstehen der natürlichsprachlichen Anweisungen, Umsetzung zu Roboteraktionen, Disambiguität in Kontext-abhängigen Situationen
- ▶ **Adaptive Steuerung:**
Evolution anstatt Programmierung, Lernfähigkeiten

Interessierte → Veranstaltungen im kommenden Semester:

Projekt – Service Roboter

Vorlesung – Angewandte Sensorik

Vorlesung – Machinelles Lernen

Automatische Planungssysteme

- ▶ **Aktionsplanung:**
Aufgaben-Spezifikation, Zustandsdarstellung,
Aufgaben-Zerlegung, Aktions-Reihenfolge-Generierung
- ▶ **Bewegungsplanung:**
Roboter- und Umwelt-Repräsentation,
Konfigurationsraum-Berechnung und -Darstellung,
Suche-Verfahren
- ▶ **Sensorplanung:**
Welche Sensoren, welche Zeitmomente, wo zu messen; interne
sowie externe Parameter des Sensors

Sensorgeführte Bewegung

- ▶ **Ziel:** Intelligente Regelung mit Fähigkeiten, an variierende
Situationen anzupassen und auf Unsicherheiten zu reagieren
- ▶ **Steuerungsarchitektur:** Integration von Wahrnehmung,
Planung und Aktion
- ▶ **Aufgaben der Sensordatenverarbeitung:**
Lagebestimmung, Größe-Bestätigung, Annäherung-Detektion,
Rutsche-Entdeckung, Erfolgs-Bestätigung, Fehler-Detektion,
Inspektion

Sensorgeführte Bewegung

- ▶ **Eingesetzte Sensoren:**
Taktile Bilder, Sichtsysteme, Kraft-Moment-Meßsysteme, Distanz-Sensoren
- ▶ **Strategien:** *kalibrierte:* anhand von absoluten Informationen; *unkalibriert:* anhand von relativen Informationen
- ▶ **Arten der Wahrnehmung:** *passiv:* basiert auf bestimmter Sensor-Aktor-Konfigurierung; *aktiv:* abhängig von der Sensorplanung

Kommerzielle Roboter in der Zukunft

werden:

- ▶ geschickter,
- ▶ kleiner,
- ▶ schneller,
- ▶ leichter,
- ▶ kräftiger,
- ▶ intelligenter,
- ▶ leichter zu bedienen,
- ▶ und billiger

sein.

Große Herausforderungen an Robotik

Verfahren:

- ▶ Symbolisches Verstehen der Umwelt
- ▶ Integrierte sensomotorische Koppelung
- ▶ Selbst-Lernen

Systeme:

- ▶ Synergetische Multisensorik
- ▶ Agile Mobilität
- ▶ Geschickte Handhabungsfähigkeit

Große Herausforderungen an Robotik

Technik:

- ▶ Sensorik ähnlicher Komplexität wie die menschliche
- ▶ Neue Antriebsarten
- ▶ Nano-Roboter
- ▶ Multifinger-Hand
- ▶ Anthropomorphischer Roboter
- ▶ Fliegender Roboter