

# 64-544

## Grundlagen der Signalverarbeitung und Robotik

[http://tams.informatik.uni-hamburg.de/  
lectures/2012ss/vorlesung/GdSR](http://tams.informatik.uni-hamburg.de/lectures/2012ss/vorlesung/GdSR)

Jianwei Zhang



Universität Hamburg  
Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften  
Fachbereich Informatik  
**Technische Aspekte Multimodaler Systeme**

Sommersemester 2012



# Gliederung

1. Einführung
2. Grundlagen der Robotik
3. Elementares der Sensorik
4. Verarbeitung von Scandaten
5. Rekursive Zustandsschätzung
6. Fuzzy-Logik
7. Steuerungsarchitekturen





# Agenda

## 7. Steuerungsarchitekturen

Deliberative Kontrollstruktur

Reaktive Kontrollstruktur

Hybride Kontrollstruktur

Behavior-basierte Kontrollstruktur

Literatur





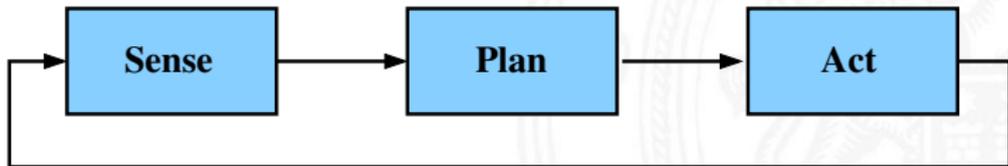
# Architekturübersicht

- ▶ Deliberative Kontrolle: „*think hard, then act*“
- ▶ Reaktive Kontrolle: „*don't think, act*“
- ▶ Hybride Kontrolle: „*think and act independently, in parallel*“
- ▶ Behavior-basierte Kontrolle: „*think the way you act*“



## Deliberativer Ansatz

- ▶ auch planungsbasierte Kontrolle genannt
- ▶ entwickelte sich aus der künstlichen Intelligenz (KI)
- ▶ „Sense-Plan-Act“-Zerlegung
- ▶ quasi horizontale Dekomposition; also die Zerlegung in zeitlich aufeinander folgende Teilaufgaben
- ▶ beinhaltet ein Weltmodell



## Deliberativer Ansatz (cont.)



- ▶ aus Sensordaten wird ein Weltmodell erstellt (erweiterter Ansatz: „Sense-Model-Plan-Act“)
- ▶ Weltmodell liefert Informationen für Planungsschritte
- ▶ Planungskomponente sucht Lösungen für Aufgaben
- ▶ Plan wird über Komponente Ausführen umgesetzt



## Deliberativer Ansatz (cont.)

- ▶ erweiterter Ansatz bietet:
  - ▶ Modell an veränderte Umgebung anzupassen
  - ▶ initiales Weltmodell kann selbst aufgebaut werden, z. B. „Simultaneous Localization And Mapping“ (SLAM)
- ▶ deliberative Kontrolle bedeutet i. d. R. eine hierarchische Struktur
  - ▶ Kontrollfluß u. Kommunikation unterliegt festen Mustern
  - ▶ Austausch von Informationen zwischen den Ebenen, jedoch nicht innerhalb der Module einer Ebene



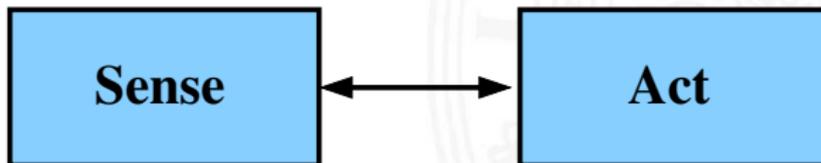
## Deliberativer Ansatz (cont.)

- ▶ Nachteile:
  - ▶ Weltmodell in realen Anwendungen häufig sehr komplex
  - ▶ Suchraum sehr groß
  - ▶ Planung rechenintensiv/zeitaufwendig
  - ▶ bei dynamischen Veränderungen der Umwelt Neuplanung nötig
  - ▶ häufig nicht realzeitfähig
  - ▶ nicht anwendbar in unbekanntem bzw. hochdynamischen Umgebungen
  
- ▶ Beispiel: Shakey; erster Roboter, der Aktionen planen konnte (Stanford Research Institutes, 1966-1972)

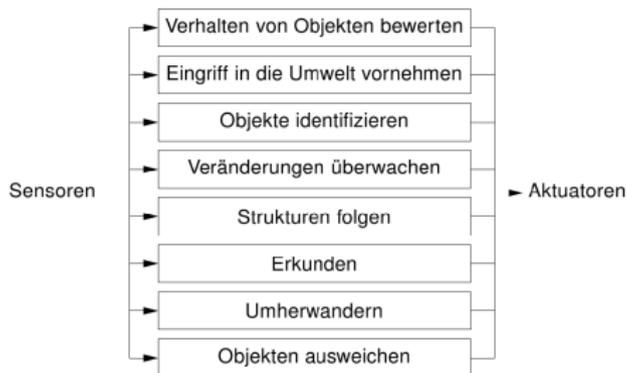


## Reaktiver Ansatz

- ▶ Ende der 80er Jahre eingeführt
- ▶ Wandel von „Sense-Plan-Act“ zu „Sense-Act“
  - ▶ kein Weltmodell
  - ▶ keine Planungskomponente
- ▶ Implementierung zielorientierter Verhaltensweisen
- ▶ Sensorinformationen (Situationen) werden direkt auf Aktionen abgebildet
- ▶ schnelle Reaktion auch auf sich verändernde Umgebungen



## Reaktiver Ansatz (cont.)



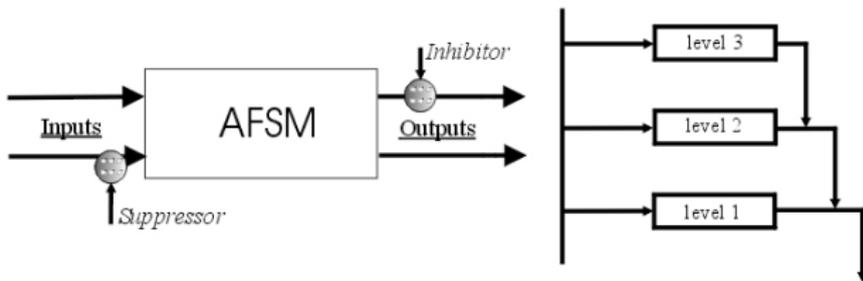
Ausführung

- ▶ parallele
- ▶ Zerlegung vertikal nach der Abstraktionsebene der zu erfüllenden Aufgaben
- ▶ Regeln (Bedingungs-Aktions-Paare) bilden Situationen auf Aktionen ab
- ▶ falls spezifische Situation nicht implementiert, muß sie durch Standardaktion abgedeckt sein

# Reaktiver Ansatz (cont.)

## Die Subsumption-Architektur

- ▶ populäres Beispiel: Subsumption-Architektur
- ▶ zielorientierte Module werden durch endliche Automaten kontrolliert
- ▶ Priorisierung der Module durch „Level of Competence“
- ▶ höheres Modul kann Ausgabe des niederen Moduls unterdrücken, bzw. Eingaben ausblenden





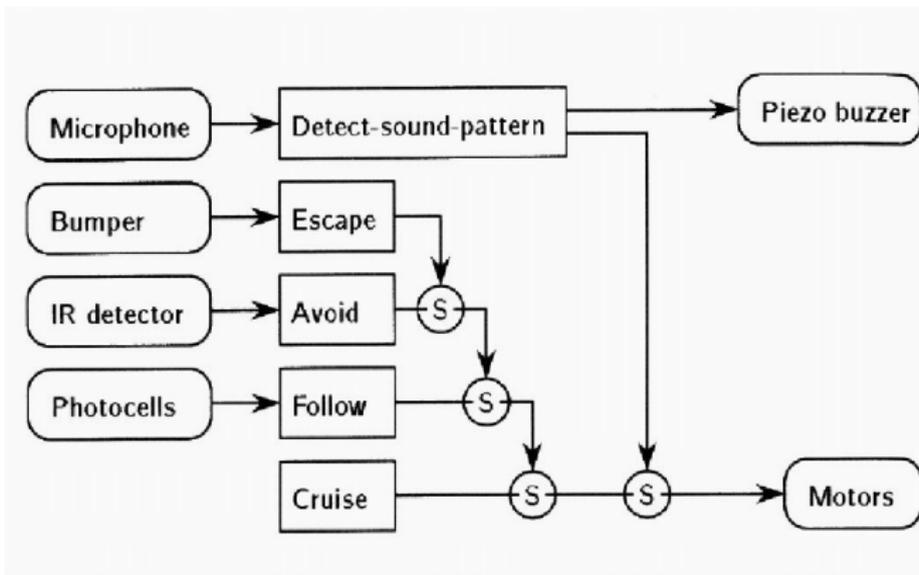
## Reaktiver Ansatz (cont.)

### Die Subsumption-Architektur

Subsumption Architektur des mobilen Roboters „Rug Warrior“  
 (MIT, 1993)

- ▶ Basismodul „Cruise“ (Vorwärtsbewegung).
- ▶ „Follow“ wird ausgelöst durch Photozellen und lässt den Roboter dem Licht folgen
- ▶ „Avoid“ unterdrückt „Follow“ and „Cruise“ für den Fall, dass die Nahbereich-Infrarot-Sensoren eine bevorstehende Kollision melden
- ▶ „Escape“ hilft von Hindernissen frei zu kommen
- ▶ das Modul mit der höchsten Priorität, „Detect-Sound-Pattern“, veranlasst den Roboter eine Melodie zu spielen

# Die Subsumption-Architektur (cont.)





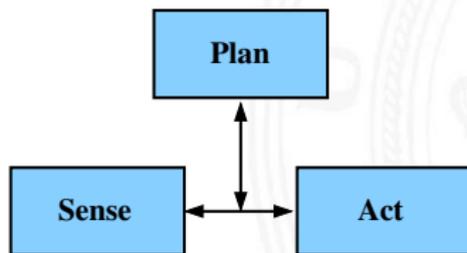
## Reaktiver Ansatz (cont.)

- ▶ nur für sehr einfache Umgebungen lassen sich zum Zeitpunkt des Entwurfes mögliche Ereignisse vorhersagen, für die dann Regeln formuliert werden können
- ▶ reaktive Kontrolle kennt nur aktuellen Systemzustand, keine Annahmen über zukünftige Situationen
- ▶ es können somit keine Ziele oder Sequenzen möglicher Aktionen programmiert werden
- ▶ unflexibel zur Laufzeit, da keine Informationen dynamisch gespeichert werden kann
- ▶ da keine Repräsentation der Umwelt, auch keine Möglichkeit über die Zeit zu lernen



## Hybrider Ansatz

- ▶ ebenfalls Ende der 80er Jahre eingeführt
- ▶ enthält Grundelemente deliberativer und reaktiver Kontrolle
  - ▶ reaktive Komponente für schnelles Reaktionsverhalten
  - ▶ unabhängige Planungskomponente
- ▶ Ansprechverhalten in Realzeit
- ▶ Einsatz in dynamischen Umgebungen möglich
- ▶ deliberative Komponente erlaubt Lösen komplexer Aufgaben



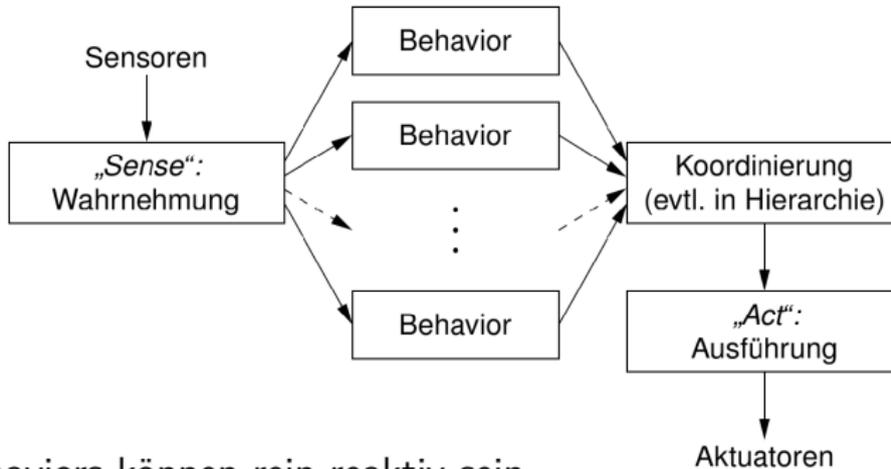


## Hybrider Ansatz (cont.)

- ▶ reaktive und deliberative Komponente laufen unabhängig von einander
- ▶ aber: Abstimmung erforderlich
  - ▶ reaktive Kontrolle muß deliberative Kontrolle aufheben können (z. B. plötzliche Hindernisse)
  - ▶ deliberative Kontrolle muß reaktive Kontrolle überschreiben können (zum Ausführen komplexer Handlungsfolgen)
- ▶ zur Vermittlung zwischen reaktiver und deliberativer Komponente wird häufig eine dritte Ebene (intermediäre Ebene) vorgesehen
- ▶ Beispiel einer hybriden Kontrollstruktur: ATLANTIS, Steuerungskomponente des Marsrovers

# Behavior-basierter Ansatz

- ▶ auch als „Reactive Subsumption-Style Control“ bekannt



- ▶ Behaviors können rein reaktiv sein

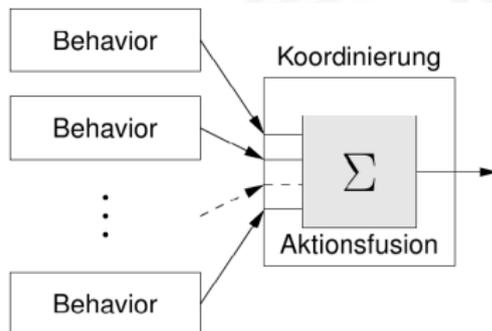
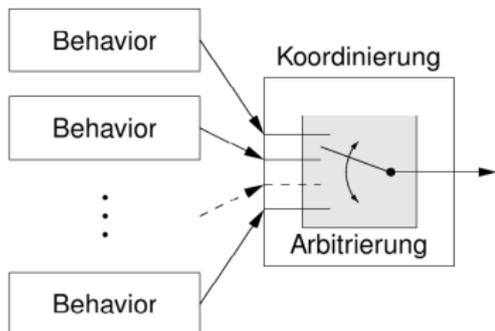


## Behavior-basierter Ansatz (cont.)

- ▶ Behaviors können den sie betreffenden Ausschnitt der Umwelt intern speichern
  - ▶ ergibt eine „natürliche Partitionierung des Weltmodells“
  - ▶ gegenüber globalem Weltmodell reduzierter Zustandsraum der Behaviors
  - ▶ sie können deliberative Prozesse ausführen
  - ▶ sie können über die Zeit lernen
- ▶ verschiedene Behaviors können komplementäre oder sich widersprechende Aktionen parallel erzeugen
- ▶ Koordinierungsmechanismus erforderlich, der angebotene Aktionen zu endgültiger verarbeitet

## Behavior-basierter Ansatz (cont.)

- ▶ grundsätzliche Realisierungsformen der Koordinierungskomponente



es wird eine Aktion gewählt, oder alle Aktionen werden verknüpft



## Behavior-basierter Ansatz (cont.)

- ▶ Methoden der Koordinierung bei Arbitrierung:
  - ▶ Priorisierung  
entsprechend Brooks Subsumption-Architektur; strikte Hierarchie
  - ▶ Selektion  
zusätzliche Informationen wie Sensordaten, Ziele und Intention des System zur Auswahl herangezogen; auch „Activation Spreading“ möglich
  - ▶ Voting  
Behaviors geben Vots für Aktion ab; Behaviors können sich gemeinsam gegen andere durchsetzen



## Behavior-basierter Ansatz (cont.)

- ▶ Methoden der Koordinierung bei Aktionsfusion:
  - ▶ Superposition:
    - Überlagerung aller Aktionen, z. B. Ausgaben der Behaviors in einheitlichem Vektorformat, Summation, Normierung
  - ▶ Fuzzy-Kontrolle:
    - Aktionsfusion mittels Fuzzy-Logic; allerdings Probleme beim Auflösen von Konflikten zwischen Behaviors
- ▶ Modularisierung Behavior-basierter Kontrollsysteme quasi Aufgabenorientiert



## Einsatzgebiete der Systeme

- ▶ rein deliberative Kontrollsysteme:  
innerhalb kontrollierter Arbeitsumgebungen, mit exakter Modellierung der Umwelt, keine Veränderungen der Umwelt, komplexe Handlungssequenzen gewünscht
- ▶ reaktive Kontrollsysteme:  
einfache Aufgaben in dynamischen Umgebungen, Umfang der Fähigkeiten möglichst konstant, Realzeitbedingungen
- ▶ hybride Kontrollsysteme:  
mobile Robotersysteme, die Realzeitanforderungen und anspruchsvollem Aufgabenspektrum genügen, z. B. in der Servicerobotik
- ▶ Behavior-basierte Kontrollsysteme:  
ähnlich wie bei hybriden Kontrollsystemen, häufig auch im Unterhaltungsbereich bei sog. Haustierrobotern



## Rückblick Vorlesungsteil Robotik

- ▶ Vorlesungsteil versucht Überblick über ausgewählte Bereiche der Robotik zu geben
- ▶ Kriterium der Auswahl: Relevanz zur Nanorobotik
- ▶ wegen der knappen Zeit leider nur ein Streiflich
- ▶ viele interessante Fragestellungen wie z. B. Lernverfahren unberücksichtigt
- ▶ Lust auf Makro-/Nanorobotik geweckt?



- [Ark98] R.C. Arkin:  
*Behavior Based Robotics.*  
MIT Press, 1998
- [Bro86] R.A. Brooks:  
A Robust Layered Control System for a Mobile Robot.  
In: *IEEE Journal of Robotics and Automation*  
2 (1986), 3, Nr. 1, S. 14–23
- [Bro91] R.A. Brooks:  
Intelligence without representation.  
In: *Artificial Intelligence*  
(1991), Nr. 47, S. 139–159



[Mat01] M.J. Matari:

Learning in Behavior-Based Multi-Robot Systems:  
Policies, Models, and Other Agents.

In: *Special issue on Multi-disciplinary studies of  
multi-agent learning*

2 (2001), April, S. 81–93

