

## Moderne Methoden der KI

Prof. Dr. sc. Hans-Dieter Burkhard  
Vorlesung Sommer-Semester 2007

### Agenten

## Rationales Verhalten

Agent soll im Sinne seines Auftrags „gutes Verhalten“ zeigen

- Bewertung vorgeben
- Aktionen anhand der Bewertung messen

### Einfacher Agent:

Programmierer gibt gute Aktionen direkt vor.

### Komplexer Agent:

Programmierer implementiert Verfahren,  
-mit dem Agent selbständig gute Aktionen findet.  
-und evtl. selbständig sein Verhalten verbessert (lernt).

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

2

## Rationales Verhalten

Problem: Was ist „erfolgreich“

- Unterschiedliche Gesichtspunkte/Bewertungen,  
Konflikte zwischen Bewertungen („trade-offs“)
- Unerwartete Ereignisse  
Möglichkeit/Aufwand für voraus-schauende Kalkulation
- Agieren mit begrenzten Kapazitäten  
bzgl. Handeln und bzgl. Planung/Vorausschau

Komplexitätsprobleme.

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

3

## Rationales Verhalten

Entscheidungen treffen, die aktuell vernünftig erscheinen.

Maßstab für das Handeln eines rationalen Agenten:  
Optimaler Erfolg aus Sicht des Agenten mit  
seinen aktuellen Kenntnissen und Fähigkeiten  
seinen beschränkten Ressourcen  
seiner beschränkten Zeit

**Beschränkte Rationalität:**  
Die vorhandenen Ressourcen zweckmäßig nutzen.

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

4

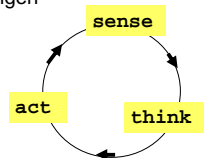
## Sense-think-act-Zyklus

Auch: „Observation –Thought – Action – Zyklus“

Grobe Strukturierung der Arbeit bzgl.

- Wahrnehmung  
Aufbereitung des Inputs/der Sensorsignale
- Auswahlentscheidungen für Handlungen
- Aktionen

Idealisierte Vorstellung:  
Pro Takt ein Zyklus



H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

5

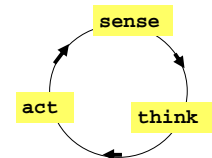
## Sense-think-act-Zyklus

Eingabe-Daten  $x \in \text{sensoryinputs}$   
Wahrnehmung  $w \in \text{perceptions}$   
Interner Zustand  $z \in \text{internalstates}$   
Aktionen  $u \in \text{actions}$

```

repeat
  w := sense(x);
  zneu := thought(zalt, w);
  u := act(zneu);
forever
  
```

sense: sensoryinputs → perceptions  
thought: internalstates × perceptions →  
internalstates  
act: internalstates → actions



H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

6

## Ohne Zustand: Reaktiver Agent

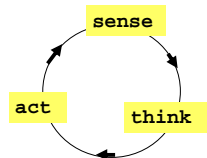
Eingabe-Daten  $x \in \text{sensoryinputs}$   
 Wahrnehmung  $w \in \text{perceptions}$ :

Aktionen  $u \in \text{actions}$

sense:  $\text{sensoryinputs} \rightarrow \text{perceptions}$

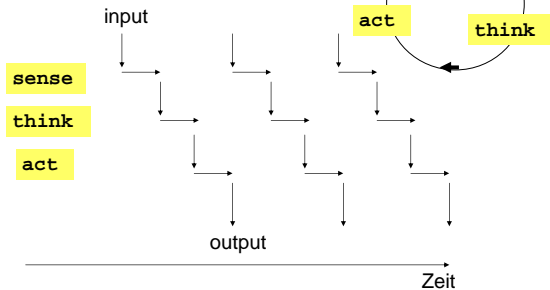
act:  $\text{perceptions} \rightarrow \text{actions}$

```
repeat
  w := sense(s)
  u := act(w);
forever
```



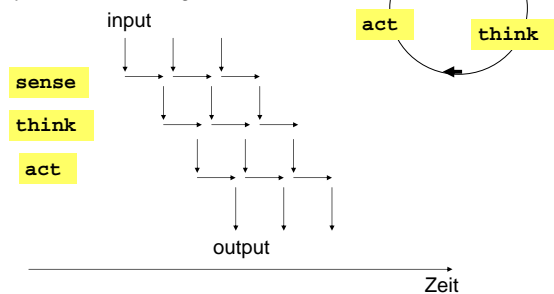
## Sense-think-act-Zyklus

Synchronisationsfragen



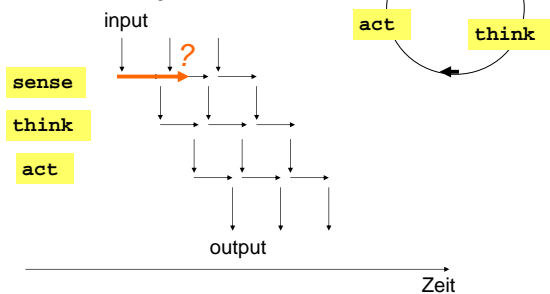
## Sense-think-act-Zyklus

Synchronisationsfragen



## Sense-think-act-Zyklus

Zeitüberschreitung



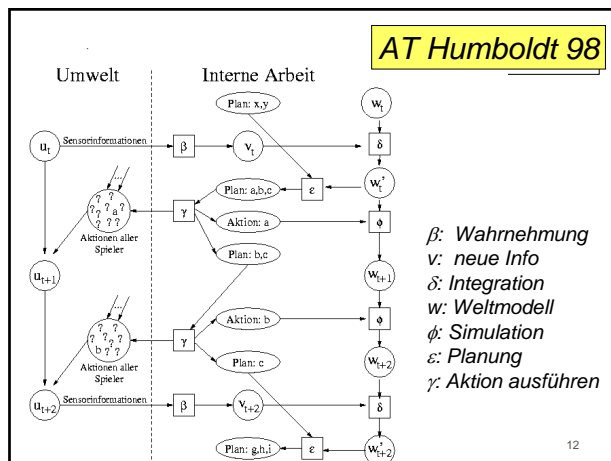
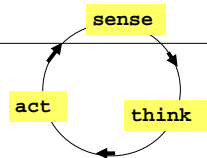
## Sense-think-act-Zyklus

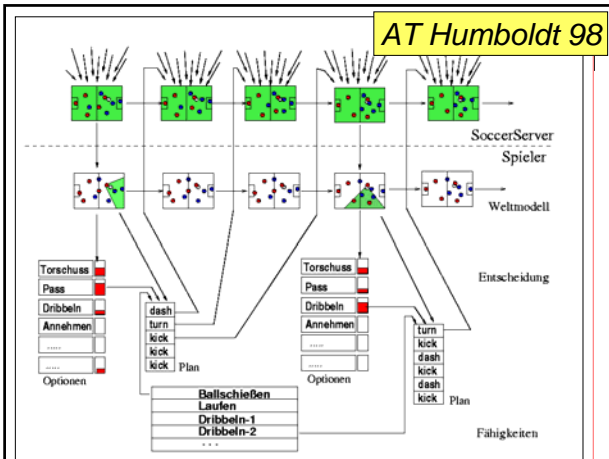
AIBO:

30 Bilder pro Sekunde  
 125 Motorbefehle pro Sekunde

Simulationsliga:

37,5 / 75 / 150 / 300 msec pro Bild  
 100 msec pro Aktion





### Gekoppelte Aktionen

Beispiel: Kick

mit mehreren  $\text{kick}(\text{power}, \text{dir})$  - Aktionen

Aktionen berechnen z.B. mittels

- Funktion (physikal. Modell)
- Neuronales Netz (trainiert)

H.D.Burkhard, HU Berlin Sommer-Semester 2007 Vorlesung MMKI Agenten 14

### Zukunft: Vorausschau (Simulation), Beispiele

Wo kann der (laufende) Ball zuerst erreicht werden?

H.D.Burkhard, HU Berlin Sommer-Semester 2007 Vorlesung MMKI Agenten 15

### Zukunft: Vorausschau (Simulation), Beispiele

Wer ist zuerst am Ball?

H.D.Burkhard, HU Berlin Sommer-Semester 2007 Vorlesung MMKI Agenten 16

### Zukunft: Vorausschau (Simulation), Beispiele

Zu wem passen?

H.D.Burkhard, HU Berlin Sommer-Semester 2007 Vorlesung MMKI Agenten 17

### Folgen von Aktionen

Geeignete Folgen  $u_1 \dots u_n$  von Aktionen

Varianten (sehr grobe Einteilung):

- Blinde Arbeit:  $u_1 \dots u_n$  vorher bestimmen („Plan“) und strikt abarbeiten
- Reaktives Verhalten:  $u_i$  ergibt sich jeweils als Reaktion auf aktuelle Situation (keine vorherige Planung)
- Zielbestimmtes Verhalten: Ziel  $g$  bestimmen und  $u_i$  in Abhängigkeit von  $g$  und aktueller Situation bestimmen

H.D.Burkhard, HU Berlin Sommer-Semester 2007 Vorlesung MMKI Agenten 18

## Folgen von Aktionen

Tatsächlich komplexere Kombinationen der Varianten

z.B.

- Ziel  $g$  führt zu einem vorherbestimmten Plan  $u_1 \dots u_n$ ,  
evtl. Modifikationen des Plans abhängig von Situation

- Schichtenarchitekturen:

Verschiedene reaktive Verhaltensweisen („untere Schicht“)  
gemäß vorheriger Zielbestimmung („höhere Schicht“)  
aktivierbar

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

19

## Reaktiv mit komplexer Vorausschau

Langfristige Vorausschau mit Zielbestimmung/Planung führt  
jeweils nur zur nächsten Aktion.

d.h.

- kein persistenter Plan
- i.a. wird Plan geeignet fortgesetzt (Stabilitätsproblem, s.u.)

Beispiele:

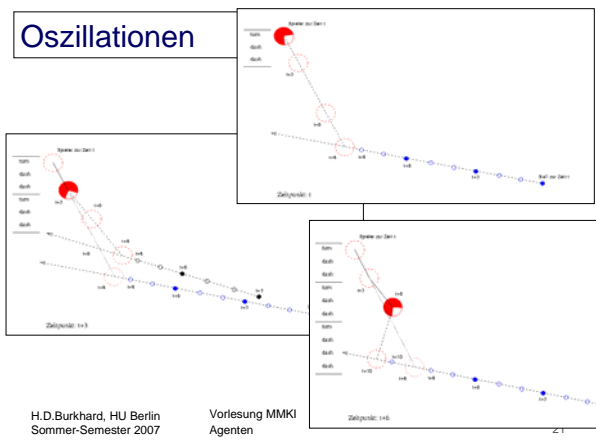
- Schach
- ATH-97
- Brainstormers

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

20

## Oszillationen



H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

21

## Folgen von Aktionen: Probleme

Least Commitment:

In dynamischer Welt möglichst spät Festlegungen treffen

Oszillation: Schwankungen der Entscheidungen

Abhilfe: Trägheit beim Wechseln zu anderen Alternativen  
z.B. Bonus für bisherige Alternative

Fanatismus: Zu langes Verfolgen von Absichten

Abhilfe: Entscheidungen überprüfen hinsichtlich  
Erreichbarkeit von Zielen

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

22

## Folgen von Aktionen: Probleme

Zeiteffizienz:

Zielbestimmung und Planung sind aufwändig

Reaktionen müssen unmittelbar erfolgen

Abhilfe: Schichten-Architekturen

(aber: siehe upwards failure)

„Upwards Failure“:

Problem bei der Arbeit in einer unteren Schicht  
erfordert Behandlung (z.B. Neuplanung) in einer  
oberen Schicht

(Prozedurkeller: software-technisches Problem)

Abhilfe: bei uns entwickelte DPA

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

23

## Folgen von Aktionen: Probleme

Kontext-Problematik

Basis-Verhalten werden für unterschiedliche Kontexte  
eingesetzt (Teile komplexerer Verhalten, Ziele).

Probleme: Kommunikation der Ebenen, insbesondere  
aufwärts (siehe upwards failure).

Woher weiß Basisverhalten, in welchem Kontext es  
arbeitet?

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

24

## Folgen von Aktionen: Probleme

Interaktion von Planung und interner Modellierung  
 Beispiel: Little Nells Problem

## Zustände

„Gedächtnis“ des Agenten:

für **Situation in der Umwelt** (Vergangenheit+Gegenwart)  
 -wenn nicht alles beobachtbar ist  
 -aus Effizienzgründen

**Umweltmodell**

für **Verpflichtungen/Pläne** (Zukunft)  
 (? – theoretisch mittels Umweltprotokoll rekonstruierbar)  
 -wegen Stabilität  
 -wegen Effizienz

## Sense-think-act-Zyklus

Interner Zustand  $z \in \text{internalstates}$  mit 2 Komponenten:

Annahmen über Umwelt  $\mathbf{b} \in \text{beliefs}$  und  
 Verpflichtungen  $\mathbf{c} \in \text{commitments}$

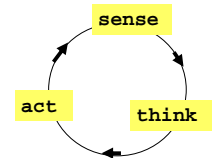
$\text{internalstates} = \text{beliefs} \times \text{commitments}$

## Sense-think-act-Zyklus

update:  $\text{beliefs} \times \text{perceptions} \rightarrow \text{beliefs}$   
 commit:  $\text{beliefs} \times \text{commitments} \rightarrow \text{commitments}$

Stabilität durch Berücksichtigung alter commitments

```
repeat
  w := sense(s);
  bneu := update(balt, w);
  cneu := commit(bneu, calt);
  u := act(cneu);
forever
```

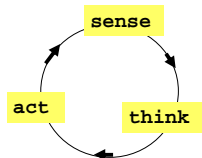


## Stimulus-response (reaktiv) mit Umweltmodell

update:  $\text{beliefs} \times \text{perceptions} \rightarrow \text{beliefs}$   
 commit:  $\text{beliefs} \rightarrow \text{commitments}$

Komplexere Entscheidung ggf. in commit-Funktion  
 aber ohne Gedächtnis

```
repeat
  w := sense(s);
  bneu := update(balt, w);
  c := commit(bneu);
  u := act(c);
forever
```



## Stimulus-response (reaktiv) mit Umweltmodell

Entscheidung für jeweils nächste Aktion:

**Variante 1** (ohne weitere Vorausschau)

Bewertung der aktuell möglichen Aktionen  
 Auswahl der günstigsten Aktion

**Variante 2** (mit weiterer Vorausschau)

Bewertung von Handlungsfolgen  
 Auswahl der günstigsten Handlungsfolge  
 Ausführung der ersten Aktion dieser Folge  
 Danach: gleiche Prozedur anwenden

## Verfahren für einfache Auswahl

Tabelle  
Entscheidungsbaum  
Utility-Theorie  
Neuronale Netze

## Verfahren für Vorausschau

Planungsverfahren  
Suchverfahren in Graphen  
Suche in Und-Oder-Baum:  
    Oder-Verzweigung: Eigene Aktionen  
    Und-Verzweigung: Fremde Aktionen, Umwelt  
Spieltheorie  
Optimierungsverfahren  
Utility-Theorie (Nützlichkeit)

## Zielorientierte Agenten

Zweistufiger Entscheidungsprozess:

- „Deliberation“:  
Festlegen eines (erstrebenswerten, nützlichen ...) Zieles  
(bzw. Übernehmen eines Auftrags)  
(Analog zu Verfahren für Vorausschau)
- „Means-ends-reasoning“:  
Auswahl/Generierung von (nützlichen, anwendbaren ...) Plänen zum Erreichen dieses Zieles.  
(Planungsverfahren)

## Zielorientierte Agenten

$c \in \text{commitments}$  aufspalten in  $c = [g, p]$

**Ziel:** Menge von Optionen:  $\text{opt}$   
    Ziel  $g \in \text{opt}$       (mehrfache Ziele: BDI-Architektur)

**Plan:** Menge der Pläne:  $\text{pla}$   
    Plan  $p \in \text{pla}$

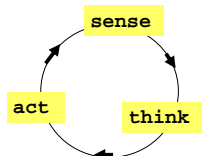
$\text{commitments} = \text{opt} \times \text{pla}$

## Zielorientierte Agenten

update:   beliefs  $\times$  perceptions  $\rightarrow$  beliefs  
evaluate:  beliefs  $\times$  opt  $\rightarrow$  opt  
means-ends: beliefs  $\times$  opt  $\times$  pla  $\rightarrow$  pla

Entscheidungen mit Gedächtnis

```
repeat
  w := sense(s);
  bneu := update(balt, w);
  gneu := evaluate(b, galt);
  pneu := means-ends(b, gneu, palt);
  u := act(pneu);
forever
```



## Realismusforderung

Ziele sollen realisierbar sein

Auswahlprozess:

Grobeinschätzung der Fähigkeiten bei evaluate  
(realistisches Ziel auswählen)

Bei Fehlschlag von means-ends: Revision der  
Zielauswahl notwendig.

## Verfeinerung von Zielen

Verfeinerung als iterierter Entscheidungs-Prozess:

langfristiges Ziel  $\Rightarrow$  Zwischenziele  
...  
 $\Rightarrow$  Zwischenziele  $\Rightarrow$  Aktionen

Analogie: Prozedur-Aufrufe

**Least Commitment:** Präzisierung nur soweit notwendig.

## Nützlichkeitsbetrachtungen

unterschiedliche *Optionen*  $\circ$   
realisierbar durch unterschiedliche Pläne  $\mathcal{p}$   
mit unterschiedlichem Resultat  $r$

**Wert** des Resultats  $r$ :  $v(r)$

**Wahrscheinlichkeit** für  $r$  bei Plan  $\mathcal{p}$ :  $\pi(r | \mathcal{p})$

**Utility** für Plan  $\mathcal{p}$  (Erwartungswert):  $u(\mathcal{p}) = \sum_{r \text{ result of } \mathcal{p}} \pi(r | \mathcal{p}) \cdot v(r)$

**Utility** für Option  $\circ$ :  $u(\circ) = \text{Max}\{u(\mathcal{p}) | \mathcal{p} \text{ plan für } \circ\}$

Entscheidungsprozess (angewendet für ATH98):

Utilities  $\circ$  abschätzen

Beste Option  $\circ$  als Ziel  $\mathcal{g}$

Berechnung eines Plans  $\mathcal{p}$  für  $\mathcal{g}$

## Langfristig verfolgte Ziele

Zwischenzeitliche Überprüfungen

Wurde das Ziel erreicht?

Ist das Ziel prinzipiell noch erreichbar?

Ist das Ziel mit dem aktuellen Plan noch erreichbar?

Muss der aktuelle Plan angepasst werden?

Realisiert in evaluate bzw. means-ends

## BDI-Agenten

BDI = belief – desire – intention

Basiert auf Modellen menschlichen Handelns (speziell bzgl. beschränkter Rationalität)

M.E. Bratman: *Intentions, Plans, and Practical Reason*,  
Harvard University Press, Massachusetts, 1987.

**Belief:** *Annahmen* des Agenten (Umweltmodell).

**Desire:** *Wünsche* (oder Aufträge) des Agenten, die noch nicht zu Absichten geführt haben.

**Intention:** *Absichten* = bestehende Verpflichtungen (auch „gegenüber sich selbst“).

## BDI-Agenten

Wesentliche Gesichtspunkte bei Bratman

Mehrfache (parallele) Ziele,

*Starke Realismus-Forderung:*

Ziele müssen insgesamt realisierbar sein.

Verfeinerung von Zielstellungen in dynamischen Umwelten.

Problematisch: Konflikte neue/alte Ziele

## BDI-Agenten

Wesentliche Gesichtspunkte bei Bratman:

Mehrfache (parallel verfolgte) Ziele

*Starke Realismus-Forderung:*

Ziele müssen insgesamt realisierbar sein.

Verfeinerung von Zielstellungen in dynamischen Umwelten.

## BDI-Agenten

Konflikte zwischen alten/neuen Absichten

Probleme: Oszillation vs. Fanatismus

Anpassung: Jeweils aktuell beste Ziele/Pläne auswählen.

Stabilität: Bestehende Ziele/Pläne verfolgen.

Vorteile:

Zuverlässigkeit (Kooperation)

Aufwand für Abbrechen/Initialisieren beim Wechsel vermeiden

Nachteile:

Zu langes Festhalten an schlechten Varianten

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

43

## BDI: Zulässigkeitsfilter (Screen of admissibility)

Eine Lösung für Konflikte zwischen bestehenden Absichten und möglichen neuen Absichten:

Bestehende Absichten schränken Zulässigkeit neuer Absichten ein.

- für weitere Absichten

- für Verfeinerung/Fortsetzung von Absichten

Effizienz:

Wiederholte Evaluierung bestehender Absichten beschränken.

Planungssicherheit.

Bounded Rationality

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

44

## BDI-Agenten

Auswahl von „desires“ aus Optionen

ohne Realismus-Forderung: Konflikte erlaubt.

Auswahl von „intentions“ aus bisherigen „intentions“ und neuen „desires“

starker Realismus: Absichten insgesamt realisierbar.

Zulässigkeitsfilter: Priorität für bestehende Absichten.

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

45

## BDI-Agenten

$c \in \text{commitments}$  aufspalten in  $C = [d, i, p]$

$\text{commitments} = \text{options} \times \text{options} \times \text{plans}$

Dabei bezeichnen

$d$  und  $i$  jeweils **Mengen** (!) von Optionen

(parallele Wünsche bzw. Absichten)

$\text{options}$  ist jetzt eine Menge von Optionsmengen:

$$\text{options} \subseteq 2^{\text{opt}}$$

$\text{plans}$  ist jetzt eine Menge von Planmengen:

$$\text{plans} \subseteq 2^{\text{pla}}$$

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

46

## BDI-Agenten

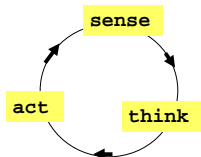
Mit den Funktionen

evaluate:  $\text{beliefs} \times \text{options} \Rightarrow \text{options}$

filter:  $\text{beliefs} \times \text{options} \times \text{options} \Rightarrow \text{options}$

means-ends:  $\text{beliefs} \times \text{options} \times \text{plans} \Rightarrow \text{plans}$

```
repeat
  w := sense(s);
  bneu := update(balt, w);
  dneu := evaluate(b, dalt);
  ineu := filter(b, dneu, ialt);
  pneu := means-ends(b, ineu, palt);
  u := act(pneu);
forever
```



47

## BDI-Agenten

BDI-Architekturen werden vielfach eingesetzt

Realisierungen in unterschiedlichen Varianten

Häufig auch nur im Sinne von zielorientierten Agenten

Desire = Ziel

Intention = Plan

ohne parallele Ziele.

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

48

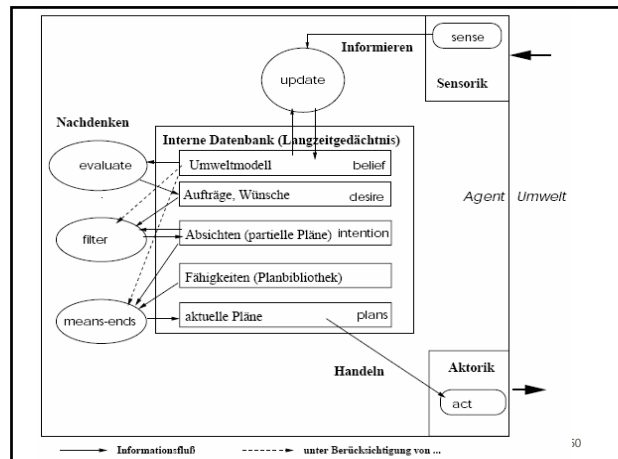


## BDI-Agenten

Wesentlicher Gesichtspunkt bei Bratman sind aber:

- Gleichzeitigkeit mehrerer Absichten
- Verfeinerung von Absichten  
(Gleichzeitigkeit von Absichten  
in unterschiedlicher Präzisierung)

Partielle Pläne  
Least Commitment



## Typen von Agenten

Hatten:

- Reaktive Agenten („Stimulus response“, Reflexe)
- Reaktive Agenten mit Umweltmodell
- Ziel-orientierte Agenten
- BDI-Agenten

Unterscheidung häufig

Einfache Agenten: Reaktive Agenten

Komplexe Agenten: Deliberative Agenten, reflexive Agenten

## Verhalten

**Reaktives Verhalten:**

Stimulus-Response (Behaviorismus)  
„einfache“ Verhaltensmuster

**Deliberatives Verhalten:**

zielgerichtetes/planvolles Verhalten  
„komplexe“ Verhaltensweisen

**Hybrid:**

zielgerichtete Auswahl/Benutzung reaktiver  
Verhaltensmuster („behavior“)

## Klassifikationen

### Modularisierung

- Horizontal (sense-think-act-cycle, BDI)
- Vertikal: Komplexität
- Zustände für Vergangenheit
- Zustände für Zukunft

## Klassifikationen von Steuerungen

	Zustand Vergangenheit	Zustand Zukunft	komplex
Stim. Response (Schach)	-	-	-
	-	-	+
	-	+	-
	-	+	+
Stim.Resp.mit WM	+	-	-
	+	-	+
	+	+	-
deliberativ	+	+	+

## Bestandteile von Zuständen

Beliefs		Commitments	
Fakt $f$	Option $o$	Plan $p$	
facts : Menge von Fakten $beliefs \subseteq 2^{fact}$	opt : Optionenmenge $options \subseteq 2^{opt}$	pla : Planmenge $plans \subseteq 2^{plan}$	

	Belief	Commitment		
Reaktiv				
Reakt. m. Umweltmod.	b <sub>e</sub> beliefs		g <sub>e</sub> opt	p <sub>e</sub> pla
Zielorientiert	b <sub>e</sub> beliefs		i <sub>e</sub> options	p <sub>e</sub> plans
BDI	b <sub>e</sub> beliefs	d <sub>e</sub> options	i <sub>e</sub> options	p <sub>e</sub> plans

Bei BDI: unterschiedliche Notationen in der Literatur

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

55

## Agent: Interner Zustand

Handlungen nicht nur von aktuellen Sensorsignalen abhängig:

Gespeicherte Information über Situation  
(„Weltmodell“, „Umgebungsmodell“, „Situationsmodell“)

**Vergangenheit und Gegenwart der Welt**

Handlungen nicht nur von aktueller Planung abhängig

Gespeicherte Information für zukünftige Handlungen

(„Verpflichtungen“, „Aufträge“, „Ziele“, „Wünsche“, „Pläne“)

**Zukunft der Welt**

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

56

## Agent: Interner Zustand

Trade-offs:

Protokollierung aller Umweltmodelle ermöglicht  
Rekonstruktion früherer Entscheidungen

Perfektes Modell der zukünftigen Entwicklungen ermöglicht  
„blindes Handeln“

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

57

## Strukturierung: Schichten-Architekturen

- Kapselung von Funktionalitäten
- Bereitstellung von Funktionalitäten für darauf aufbauende Schicht(en)
- Steuerung untergeordneter Schichten
- Klare Schnittstellen
- Oft unterschiedliche Taktraten

Beispiel Hybride Architekturen:

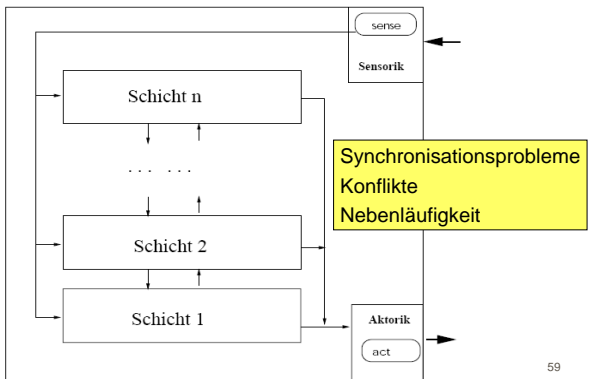
Auswahl reaktiver Verhaltensweisen („skills“) durch  
deliberative Verfahren

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

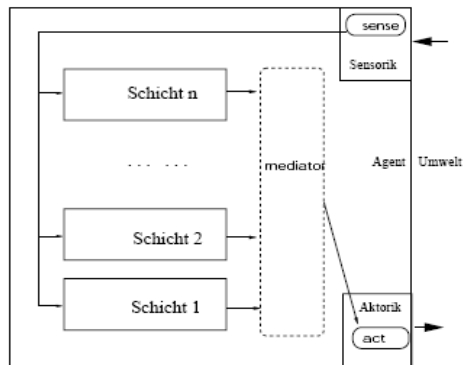
58

## Strukturierung: Schichten-Architekturen

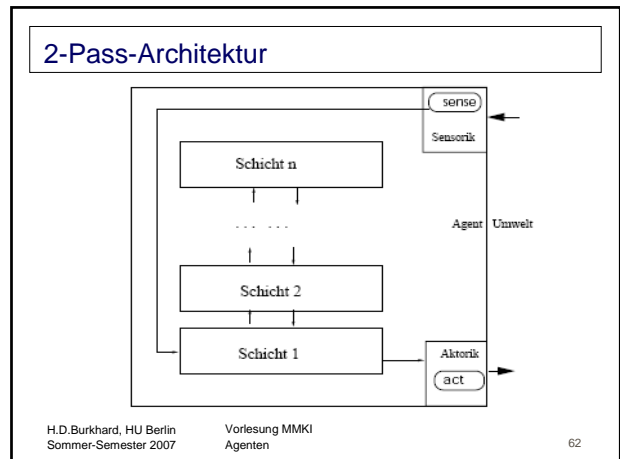
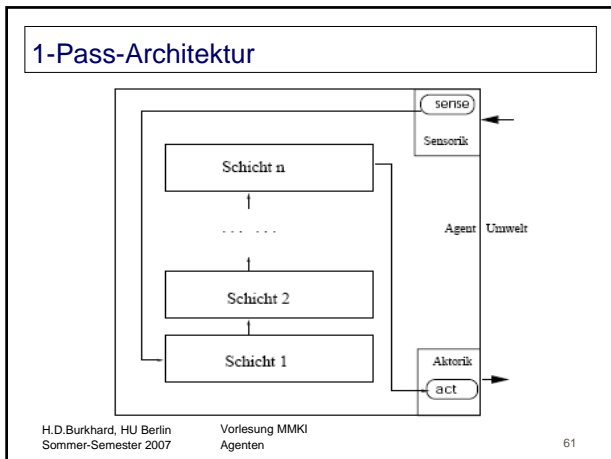


59

## Schichten-Architektur mit Mediator



60



### Beispiel InteRRap (J.P. Müller)

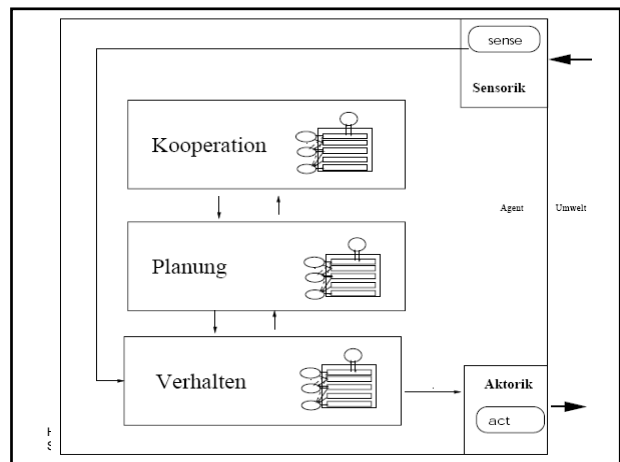
2-Pass-Architektur:

- oberste Schicht: Kooperative Planungsebene (Verhandlungsprotokolle, Verhandlungsstrategien).
- mittlere Schicht: Lokale Planungsebene (Bibliothek von Skelettplänen, die zur Laufzeit instantiiert/expandiert werden).
- unterste Schicht: Verhaltensbasierte, parallel arbeitende Verhaltensmuster; aktiviert durch Umweltbedingungen oder Aufrufe der lokalen Planung.

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

63



### Beispiel InteRRap (J.P. Müller)

Jede Schicht als BDI-Architektur

- Interne Berechnungen von unten nach oben („bottom-up activation“)  
Aufruf, wenn eigene Kompetenz nicht ausreicht
- Aktivierung der Aktionen von oben nach unten („top-down execution“)  
Benutzung unterer Schichten für das Erreichen der Ziele

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

65

### BDI vs. Schichten?

Verfeinerung von Absichten (Plänen):  
grobe Absicht ~ partieller Plan  
detaillierte Absicht ~ vollständiger Plan

Hierarchische Absichten ⇒ Schichten  
Schichten ⇒ hierarchische Absichten

Aufgabe höherer Absichten/Schichten:  
Kooperation erfordert Stabilität.  
Kontexte für die Auswahl aktueller Teilziele.  
Stabilität des Handelns im Blick auf langfristige Ziele.  
Stabilität nimmt in oberen Schichten zu.

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Sommer-Semester 2007

Vorlesung MMKI  
Agenten

66

## Subsumption Architektur (Brooks)

Ausgangsthesen:

- Das beste Modell der Welt ist die Welt selbst.  
(„Umwelt als externes Gedächtnis“).
- Sinnvolles Verhalten entsteht („**emergiert**“) von selbst durch geeignete Interaktion mit der Umwelt (Sensorik und Aktorik geeignet miteinander verknüpft).
- Agent und Umwelt als Gesamtsystem betrachten („**situated agents**“).

Vor allem für Robotik.

H.D.Burkhard, HU Berlin Sommer-Semester 2007 Vorlesung MMKI Agenten

67

## Subsumption Architektur (Brooks)

Als Gegensatz zur „klassischen KI“ (GOFAI = good old fashioned AI)

Klassische KI beruht auf

Physical Symbol System Hypothesis

Gegenhypothese (Brooks, Maes, Kaelbling)

Physical Grounding Hypothesis

H.D.Burkhard, HU Berlin Sommer-Semester 2007 Vorlesung MMKI Agenten

68

## Physical Symbol System Hypothesis

"A physical symbol system has the necessary and sufficient means for intelligent action."

Newell/Simon: "Computer Science as Empirical Inquiry: Symbols and Search"

- Notwendig: GOFAI= „good old fashioned AI“
- Vollständige Beschreibung der Welt
  - Algorithmen für Handlungen  
(Virtuelle Welt mit Verbindung zur realen Welt)

Zahlreiche Kritiker  
(Dreyfus, Searle, Penrose, ..., Brooks, Maes, Pfeiffer...)

H.D.Burkhard, HU Berlin Sommer-Semester 2007 Vorlesung MMKI Agenten

69

## Physical Grounding Hypothesis

This hypothesis states that to build a system that is intelligent it is necessary to have its representations grounded in the physical world. Our experience with this approach is that once this commitment is made, the need for traditional symbolic representations fades entirely. The key observation is that the world is its own best model. It is always exactly up to date. It always contains every detail there is to be known. **The trick is to sense it appropriately and often enough.**

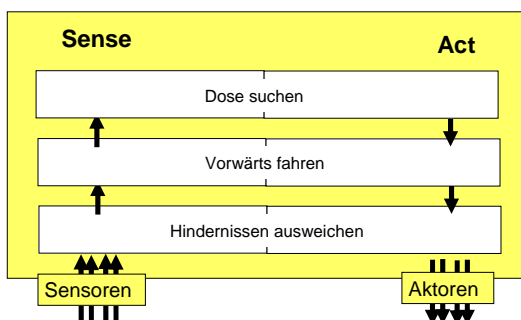
To build a system based on the physical grounding hypothesis it is necessary to connect it to the world via a set of sensors and actuators. Typed input and output are no longer of interest. They are not physically grounded.

R.A. Brooks: *Elephants Don't Play Chess*

H.D.Burkhard, HU Berlin Sommer-Semester 2007 Vorlesung MMKI Agenten

70

## Subsumption Architektur (Brooks)



H.D.Burkhard, HU Berlin Sommer-Semester 2007 Vorlesung MMKI Agenten

71

## Subsumption Architektur (Brooks)

- Behaviors programmiert als AFSM (augmented finite state machines = Automaten)
- Layers: Hierarchische Anordnung der Behaviors
- Parallele Arbeit, im Konfliktfall überschreibt (subsumes) der höhere layer den niedrigeren (oder umgekehrt ...).
- Keine interne Weltrepräsentation

Erste erfolgreiche Roboterkonstruktion für einfache Aufgaben (Dosen sammeln) in realer Umgebung

Komplexere Aufgaben schwierig zu dekomponieren



H.D.Burkhard, HU Berlin Sommer-Semester 2007 Vorlesung MMKI Agenten

72