

# Einführung in die KI

Prof. Dr. sc. Hans-Dieter Burkhard  
Vorlesung Winter-Semester 2006/07

## Einführung

### 1. Einführung

- 1.1 Allgemeines
- 1.2 Methoden, Einsatzbereiche
- 1.3 Agenten
- 1.4 Umwelt, Modelle

## 1.1 Allgemeines

Autonome intelligente Systeme  
KI an der HU  
Komplexität am Beispiel Wahrnehmung

(Später: historische und philosophische  
Aspekte)

## 50 Jahre Künstliche Intelligenz

1956: Logik und Probleme lösen

Herausforderungen:

Theoreme beweisen

Texte übersetzen

Schach

1997:

Computer Deep Blue gewinnt gegen  
Schachweltmeister Kasparov

## E.A. Poe über Schachautomaten

Arithmetical or algebraical calculations are, from their very nature, fixed and determinate. ... But the case is widely different with the Chess-Player. With him there is no determinate progression. ...

It is quite certain that the operations of the Automaton are regulated by mind and by nothing else.

*Edgar Allan Poe:  
Maelzel's Chess-  
Playing Machine,  
Southern Literary  
Messenger,  
April 1836.*

## 50 Jahre Künstliche Intelligenz

2006: Wahrnehmung und Handlung

Herausforderungen:

Roboter

Autonome Fahrzeuge

Intelligentes Internet

.....

## Autonome Intelligente Systeme

Wahrnehmung: Was ist die aktuelle Situation?

Wo bin ich?

Was machen die anderen?

Entscheidung: Was sind meine Möglichkeiten?

Was ist schön für mich?

Wie kann ich das erreichen?

Handlung: Was mache ich jetzt?

Was sage ich jetzt?

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Winter-Semester 2006/07

Vorlesung Einführung in die KI  
Einführung

7

## Wahrnehmung

Was sieht der AIBO auf dem Spielfeld?



H.D.Burkhard, HU Berlin  
Winter-Semester 2006/07

Vorlesung Einführung in die KI  
Einführung

8

## Wahrnehmung im freien Gelände

### DARPA Grand Challenge

1. Versuch: 13. 3. 2004  
Preisgeld 1 Million \$

2. Versuch: 8.10.2005 , Preisgeld 2 Millionen \$  
175 Meilen durch die Wüste in 10 Stunden  
Start und Ziel in Primm (Nevada)

## Grand Challenge 8./9. Oktober 2005

132 Meilen (211 km) durch die kalifornische Wüste  
Start und Ziel: Primm  
Zeitvorgabe: 10 Stunden  
Preisgeld 2 Millionen \$  
Ursprünglich 195 Anmeldungen  
Qualifiziert: 23 Teams nach mehrtägiger Qualifikation

## Grand Challenge 2005

Sieger: „Stanley“  
Stanford Team, Leitung Sebastian Thrun  
VW Touareg  
Zeit: 6:53:58. mittl. Geschw.: 30km/h

## Strukturierte Umgebungen

Erfolgreiche Fahrten  
seit den 90er Jahren

z.B.  
Dickmanns (München)  
Nagel (Karlsruhe)

## Sprach-Wahrnehmung

*„Links ist besser.“*

Interpretation im Kontext.

Redundanzen.

Ökonomie der Kommunikation.

## Künstliche Intelligenz an der HU

Verständnis wächst mit aktiver Auseinandersetzung: Etwas zu “machen”, zu beherrschen, bedeutet zugleich besseres Verstehen.

Angewandt auf die Erforschung geistiger Prozesse führt das auf die Nachbildung intelligenten Verhaltens mit Maschinen.

So ist “Künstliche Intelligenz” zunächst unter zwei Aspekten zu sehen: Modellierung von Intelligenz mit dem Ziel, sie besser zu verstehen und Ausnutzung maschineller Leistungsfähigkeit zur Erledigung intelligenter Aufgaben.

Der dritte Aspekt betrifft die kollektive oder soziale Intelligenz: Intelligentes Verhalten entsteht durch Kooperation und Koordination.

## Humboldt-Universität: Künstliche Intelligenz

**Fallbasiertes Schließen**

**Wissensmanagement**

**Agenten-Orientierte Techniken**

**Verteilte KI**

[www.ki.informatik.hu-berlin.de](http://www.ki.informatik.hu-berlin.de)

**Sozionik**

**Anwendungen in der Medizin**

**Kognitive Robotik**

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Winter-Semester 2006/07

Vorlesung Einführung in die KI  
Einführung

15

## Fallbasiertes Schließen, Wissensmanagement

Hintergrund des Fallbasierten Schließens:

Handeln aus Erfahrung. Erinnern und Anpassen.

Probleme: Aktuelle Aufgabe „verstehen“  
Retrieval geeigneter Fälle aus Falldatenbasis  
Anpassung an neue Aufgabe  
Kontinuierliche Aktualisierung der Falldatenbasis  
Entwickelte Technik: Case Retrieval Netze

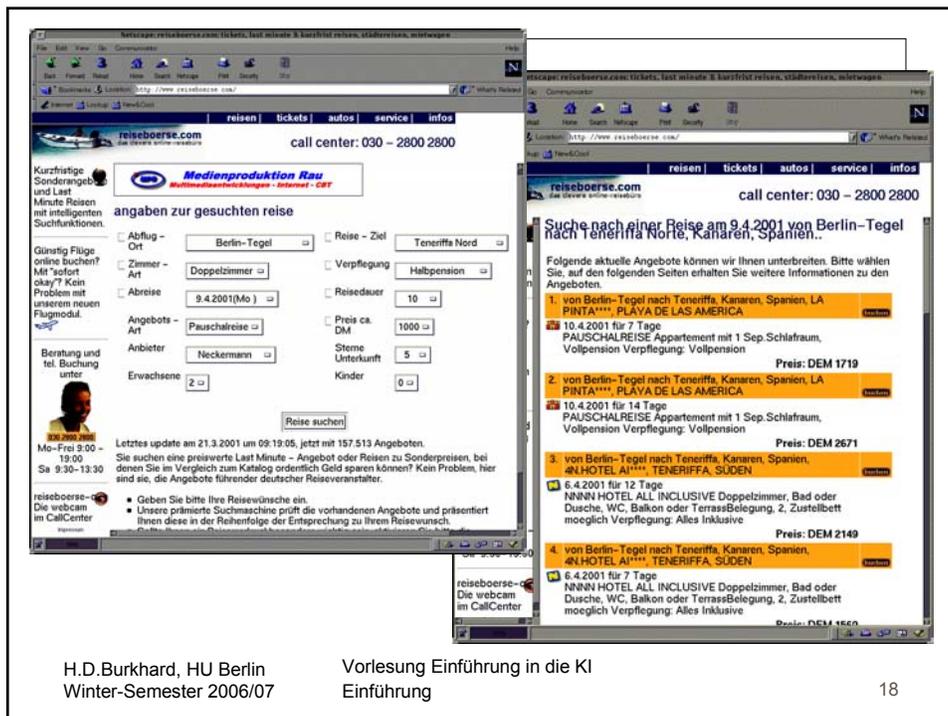
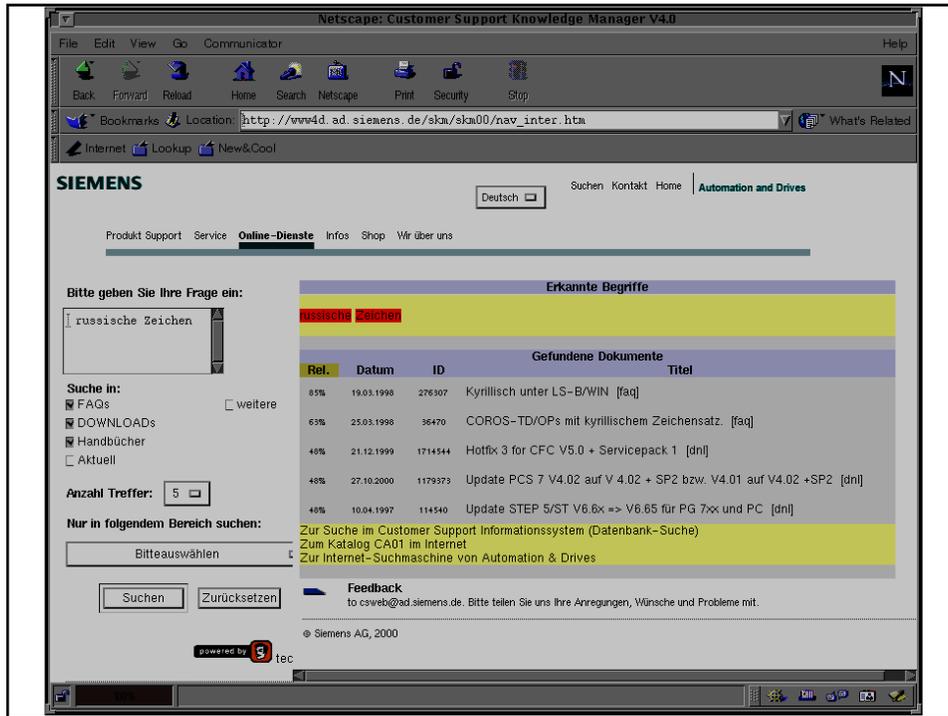
Anwendungen (in Kooperation mit empolis)

- Support Knowledge Manager (Customer Support)  
[www.ad.siemens.de/csi/km](http://www.ad.siemens.de/csi/km)
- Online-Reisebüro (Last Minute Reisen)  
[www.reiseboerse.com](http://www.reiseboerse.com)

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Winter-Semester 2006/07

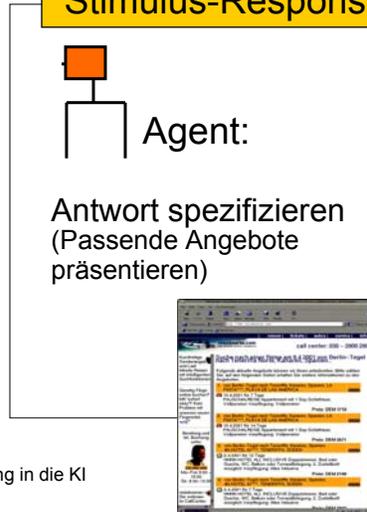
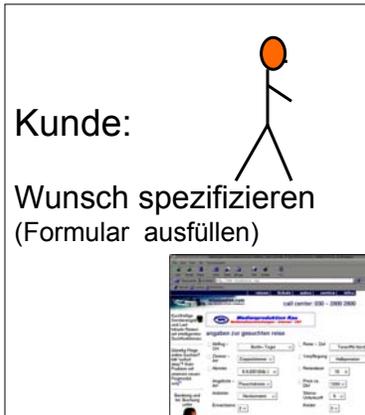
Vorlesung Einführung in die KI  
Einführung

16



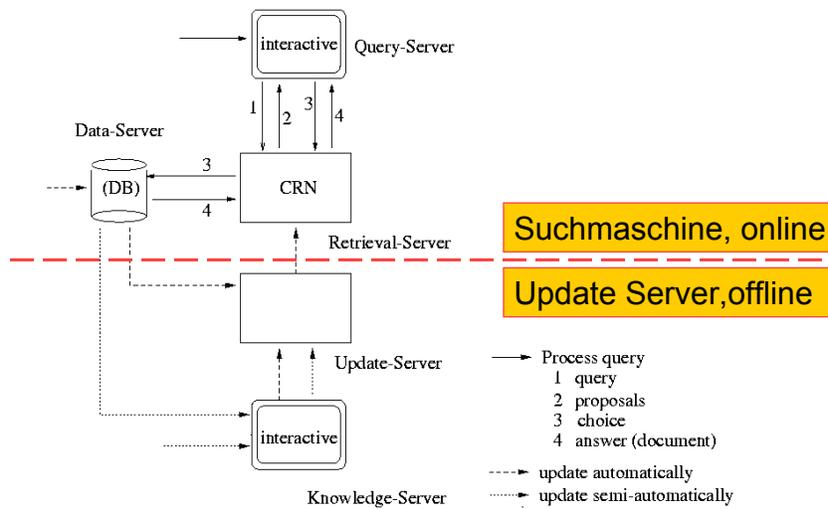
# Reiseberatung: einfache Variante

Suchmaschine  
"Stimulus-Response"



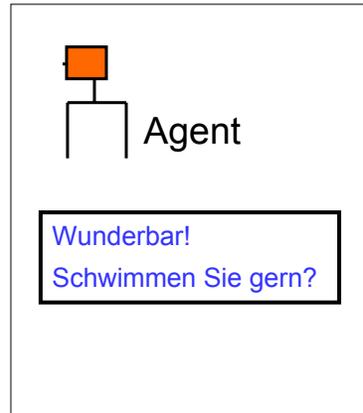
H.D.Burkhard, HU Berlin Winter-Semester 2006/07 Einführung in die KI

# Reiseberatung: einfache Variante

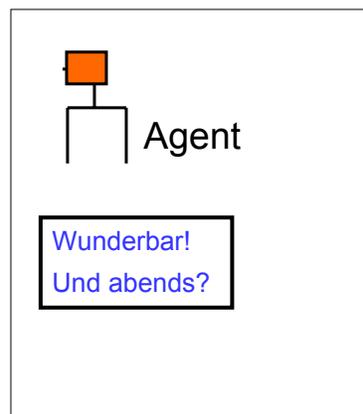


H.D.Burkhard, HU Berlin Winter-Semester 2006/07 Vorlesung Einführung in die KI Einführung

## Reiseberatung: komplexer



## Reiseberatung: komplexer



## Reiseberatung: komplexer

Kunde



Gute Unterhaltung,  
exclusive Bars, etc.



Agent

Klingt phantastisch.  
Ist es das, was Sie  
wünschen?  
*(präsentiert ein Angebot)*

## Reiseberatung: komplexer

Kunde



Wirklich phantastisch.  
Aber über meinen  
Möglichkeiten.  
Lieber etwas weniger  
exklusiv ...



Agent

Mal sehen. Wie wäre es  
damit?  
*(präsentiert ein anderes  
Angebot)*

## Reiseberatung: komplexer

Agent benötigt "dynamisches" Wissen zum Dialog:

- Historie des Dialogs
- (Hypothetisches) Modell des Kunden mit
  - Wünschen, Absichten
  - Fähigkeiten
  - Ansichten
- (Flexibler) Plan für
  - Erkundung der Wünsche, Absichten des Kunden
  - Verkauf profitabler Angebote

*Modellierung von  
Ansichten, Wünschen, Absichten,  
Entscheidung/Plan  
bei **Kunde und Agent***

## Multi-Agenten-Systeme (MAS)

Hintergrund:

- Kooperative Informationsverarbeitung in komplexen Szenarien
- Offene Systeme
- Autonome Systeme

Sozionik

- Kooperation von Menschen und Maschinen unter Beachtung organisatorischer und soziologischer Anforderungen

Anwendungsszenarien: Klinik-Informationssysteme

- Elektronische Patientenakte
- Termin-Management

# Klinik-Informationssysteme

Agentenbasiertes  
Terminmanagementsystem  
Charitime

The screenshot displays a clinical information system interface. On the left, there is a sidebar with navigation options like 'FB Bronchoskopie', 'Kalender', 'Kont. Arbeitsplätze', and 'Konfiguration FB'. The main area shows a calendar for the week of January 15-19, 2001, with a grid of appointments. A table below the calendar lists appointments with columns for 'Anrede', 'Untersuchung', 'Zielfeld', 'Anfänger', 'Dauer', and 'Untersuchungsstatus'. On the right, there are two windows: 'Feste Medizinische Daten: Test, Thomas (01.01.1960)' and 'Labor Details: Test, Thomas (01.01.1960)'. The 'Feste Medizinische Daten' window shows patient information like 'Name', 'Geburtsdatum', and 'Geburtsort'. The 'Labor Details' window shows a table of laboratory results with columns for 'Analyse', 'Ergebnis', 'Normal', 'Referenz', and 'Status'.

Elektronische Patientenakte  
Nierentransplantation  
Tbase-2

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Winter-Semester 2006/07

Vorlesung Einführung in die KI  
Einführung

27

## Sozionik

### Soziologie und Informatik (speziell Verteilte KI)

- Koordination von Agenten nach sozialen Mustern
- Simulation sozialer Systeme
- **Hybride Systeme**
  - Technische Agenten als menschlichen Akteuren vergleichbare Kooperationspartner
  - Verteilte Handlungsträgerschaft
  - Entwicklung und Einführung von Systemen
  - Anpassung von Strukturen und Kooperationsformen

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Winter-Semester 2006/07

Vorlesung Einführung in die KI  
Einführung

28

# Kognitive Robotik

## Mobile Roboter in dynamischen Umgebungen

Probleme: Wahrnehmung, Bewegung, Steuerung  
(Autonome Agenten in realer Umwelt  
Zusammenhang Körper-Intelligenz

# 1.2 Methoden, Einsatzbereiche

Methoden  
Einsatzbereiche  
Intelligente Systeme  
Technische kognitive Systeme

Was ist (künstliche) Intelligenz?

## Teilbereiche der KI: Grundlagen

Repräsentation von

- Umwelt  
(Raum, Zeit, ...)
- Domänenwissen  
(Fakten, Zusammenhänge, Methoden)

### Wissensrepräsentation

als Einheit von

- Information  
(Daten, explizit beschriebenes Wissen)
- Inferenz-Verfahren  
(Interpretation, implizit enthaltenes Wissen) **1+1 = 10**

## Teilbereiche der KI: Methoden

- Logische Theorien  
(Prädikatenlogik, Fuzzy-Logik, Modale Logik, ...)
- Suche und Optimierung  
(Graphen, Constraints, Evolutionäre Algorithmen, ...)
- Neuronale Netze
- Statistische Methoden
- Maschinelles Lernen
- Planen
- Verteilte KI
- ...

## Beispiel: Logische Modellierung

Fakt:

*„Links ist besser.“*

meinung(chef, besser(position1, position2)).

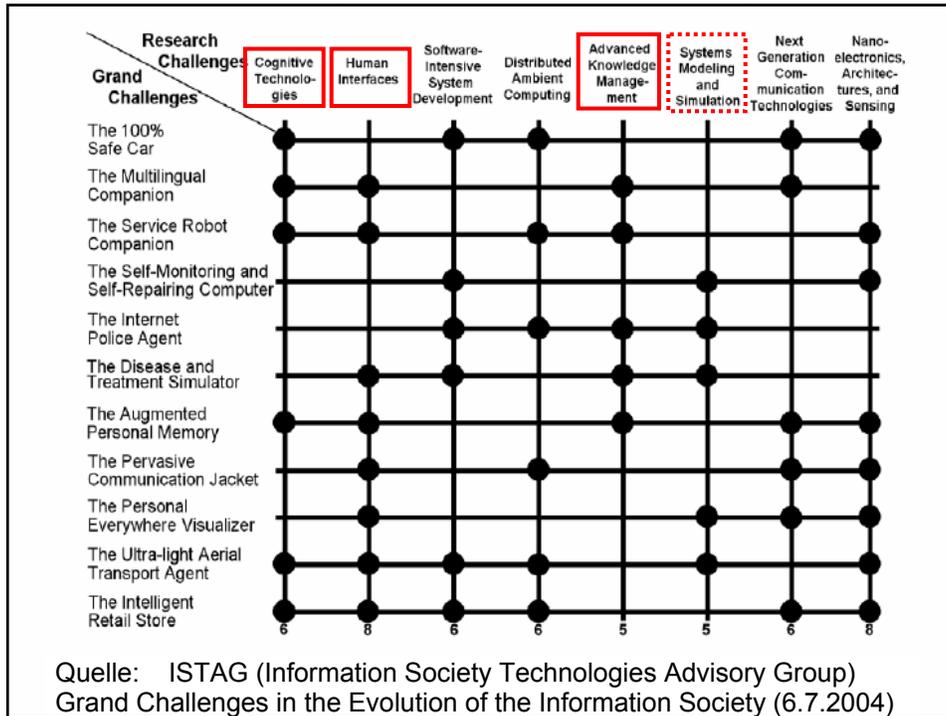
Aktionsregeln:

IF not known(franz, meinung(chef, X))  
THEN do\_ask(franz, sekretärin, meinung(chef, X))

IF known(franz, meinung(chef, besser(X, Y)))  
THEN do\_install(X)

## Teilbereiche der KI: Einsatzgebiete

- Sprachverarbeitung  
Verstehen, Sprechen, Übersetzen, ...
- Wahrnehmung (u.a. „Sehen“)  
Objekterkennung, Szeneninterpretation, ...
- Assistenzsysteme  
(Wissensbasierte Systeme, Expertensysteme ...)
  - Entscheidungsunterstützung,
  - Wissensmanagement,
  - ...
- Robotik
- Kognition
- ...



## „Technische Kognitive Systeme“

In Virtuellen Welten z.B.:

- Such-Maschinen
- Semantic Web
- Assistenzsysteme in Medizin, Technik, Wirtschaft, ...
- Computerspiele
- ...

## „Technische Kognitive Systeme“

In realer Umwelt, z.B.:

Fahrer-Assistenz-Systeme

## Was ist Künstliche Intelligenz?

... wenn **Maschinen** Leistungen vollbringen,  
die in der Natur als “intelligente Leistungen”  
gelten würden.

## Was ist Künstliche Intelligenz?

Unterschiedliche Möglichkeiten  
Für Vergleich Mensch und Maschine:

- Gleiche Funktionalität (Black box)
- Gleiche Methoden
- Gleiche Strukturen
- Gleiches Material :-)

## Was ist intelligent?

Schnell rechnen

Goethes Faust aufsagen

Schachspielen

Konversation

Geld verdienen

Auto fahren

Fußball spielen

Fotografieren

...

## Was ist intelligent?

Schnell rechnen	<i>Können Maschinen besser</i>
Goethes Faust aufsagen	<i>Können Maschinen auch</i>
Schachspielen	<i>Können Maschinen besser</i>
Konversation	
Geld verdienen	<i>Können Maschinen auch</i>
Auto fahren	
Fußball spielen	
Fotografieren	<i>Können Maschinen auch</i>
...	

## Alltagsintelligenz

Mit den verfügbaren Mitteln erfolgreich agieren.

Funktioniert in der Natur oft mit einfachen Mitteln.

## Anwendungen von KI-Methoden

In „anderen“ Anwendungen

z.B. Planen, Regelsysteme, ...

In KI-Systemen:

- Experten-/Assistenzsysteme
- „Agenten“:
  - eigenständiges Handeln
  - stets verfügbar
  - Interaktion mit Umgebung

## „Offene Systeme“

Eigenschaften offener Systeme nach Hewitt:

- kontinuierliche Bereitschaft
- asynchrone Arbeitsweise
- dezentrale Steuerung
- Erweiterbarkeit
- Armlängenreichweite
- inkonsistente Informationen

Weitere mögliche „offene“ Eigenschaften:

- Zuordnung
- Konventionen
- Anwesenheit

Beispiel: Internet

## 1.3 Agenten

Agenten  
Rationalität  
Klassifikation von Agenten

## KI-Programme als „Agenten“

Interaktion mit einer Umgebung  
Autonomie  
Zielgerichtetes Verhalten, ...

Koordiniertes („soziales“) Verhalten:  
Multi-Agenten-Systeme

Ein „Agent“ arbeitet selbständig im Auftrag eines anderen

## Rationale Agenten

Zielsetzung:

Die Mittel für den gewünschten Zweck optimal einsetzen.

„Beschränkte Rationalität“:

Die *verfügbaren* Mittel

in einer *dynamischen, unstrukturierten, unsicheren, nur teilweise erfahrbaren, ...* Umgebung

für den gewünschten Zweck *möglichst effizient* einsetzen

## KI-Programme als „Agenten“

Rationaler Agent: Definition aus Russell/Norvig:

For each possible percept sequence, a rational agent should select an action that is expected to maximize its performance measure, given the evidence provided by the percept sequence and whatever built-in knowledge the agent has.

Rationalität vs. Perfektion

## Beschränkte Rationalität

*Für mobilen Roboter in realer Umwelt  
Für Software-Agenten im Internet*

*In komplexer Umwelt:*

- *Dynamisch*
- *Unstrukturiert*
- *Unsicher*
- *Nur teilweise erfahrbar*

Ursachen für Einschränkungen:

- Grundsätzlich oder
- Komplexität

## Beschränkte Rationalität

*Für mobilen Roboter in realer Umwelt  
Für Software-Agenten im Internet*

*Verfügbare Mittel*

- *Beherrschbarkeit der Umwelt:*  
*Welche Einflussmöglichkeiten bestehen?*
- *Zuverlässigkeit der Handlungen*  
*Wieweit entsprechen Resultate den Erwartungen?*

## Programm-Zyklus eines Agenten

Sense-think-act-cycle (Agent, Roboter)

Information aufnehmen und verarbeiten  
(Sensorik, Wahrnehmung, ...)

Entscheidungen treffen  
(Ziele auswählen, Handlungen Planen, ...)

Aktionen ausführen  
(Kommunikation, Bewegen, ...)

## Einfache Agenten (ohne Zustand)

Einfache Zuordnung zwischen  
Eingabe (Sensorik) und Ausgabe (Aktorik)

Zuordnung z.B. durch

- Tabelle
- Neuronales Netz
- „Einfacher“ Algorithmus

## Agenten mit Zustand

Bei gleicher Wahrnehmung („Eingabe“)  
erfolgen unterschiedliche Aktionen

Mögliche Ursachen:

- Nicht-Determinismus
- Interner Zustand

$$\text{Ausgabe} = f(\text{Zustand}, \text{Eingabe})$$

## Agenten mit „Zustand“

Was wird im Zustand gespeichert:

WELTMODELL

Information über die Umwelt

(basierend auf früheren Informationen)

Vergangenheit: Wie war die Welt  
Gegenwart: Wie ist die Welt  
Auch: Projektionen in mögliche Zukunft

Information über geplante Handlungen

Zukunft: Wie sollte die Welt werden Ziel, Plan, ...

## Agenten mit „Zustand“

Umwelt:

beliefs(agent, 8 Uhr, position(Bild, Wand, links, 16 Uhr))

Ziel:

goal(agent, 8 Uhr, position(Bild, Wand, links, 16 Uhr))

Plan:

..., get(leiter), get(hammer), get(nagel), ...

## Agenten-Steuerung („think“)

Entscheidungsfindung

Einfach (Tabelle, ...)

(„reaktiv“)

Komplex:

(„deliberativ“)

- Auswahl von Zielen
- Planung von Handlungen
- Nutzensabschätzung

## Klassifikationen

	Zustand Umweltmodell	Zustand Ziele,Pläne	komplex
Stim. Response	-	-	-
(Schach)	-	-	+
	-	+	-
	-	+	+
Stim.Resp.mit WM	+	-	-
	+	-	+
	+	+	-
deliberativ	+	+	+

Auch: stimulus response = „reaktiv“

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Winter-Semester 2006/07

Vorlesung Einführung in die KI  
Einführung

57

## Ein schematischer Ablauf im Agenten

Sense-think-act-cycle Zyklus:

```

do forever
begin
  percept [t] := sense( sensordaten [t] );
  belief [t]  := interpret( belief [t-1], percept [t] );
  goal [t]   := deliberate( goal [t-1], belief [t] );
  plan [t]   := means-ends( plan [t-1],goal [t],belief[t] );
  action [t] := act( plan [t]);
end (*forever*)
    
```

einfacher --- komplexer

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Winter-Semester 2006/07

Vorlesung Einführung in die KI  
Einführung

58

## Ein Schematischer Ablauf im Agenten

Belief-Desire-Intention

(Bratman, Rao/Georgeff u.a.)

Belief: Annahmen des Agenten

Desire: Mögliche Ziele des Agenten

Intention: Tatsächlich verfolgte Ziele

Konsistenz-Forderung:

Absichten (Intentions) nicht widersprüchlich

## Weitere Zustands-Strukturen

- Emotionaler Zustand  
Emotionen beschreiben  
z.B. für animierte Agenten
- Körperzustand  
Zustand interner Ressourcen

Allgemein: „Mentale Modellierung“ zur Strukturierung

## Andere Agenten

### Verteiltes Problemlösen:

- Dekomposition komplexer Probleme
- Gemeinsame Arbeit an der Lösung

### Multi-Agentensysteme (MAS)

- Koordination
- Kommunikation
  
- Kooperierende Agenten vs. Konkurrierende Agenten

## AOSE

### Agent Oriented Software Engineering (Agenten = „autonome Objekte“)

#### Technologien

#### Plattformen

#### Standardisierung

- Kommunikation (Sprache, Protokolle)
- Architektur

(FIPA=Foundation for Intelligent Physical Agents )

## Mobile Agenten

- Bewegen sich auf andere Rechner
- Sicherheitsprobleme für Agent und Station

## 1.4 Umwelt, Modelle

Umwelt-Eigenschaften  
Zustand vs. Aktion (Ereignis)  
Beschreibungen  
MDP

## Planung

Agent soll rational handeln.

Problem: Bestimmung der nächsten Aktion(en)

Vorausschau in komplexer Umwelt: Planung.

Credit-Assignment-Problem:

Wert einer Aktion wird erst später erkennbar

## Beispiel: Suchverfahren

Suche nach optimalem Weg zu einem Ziel

Voraussetzung:

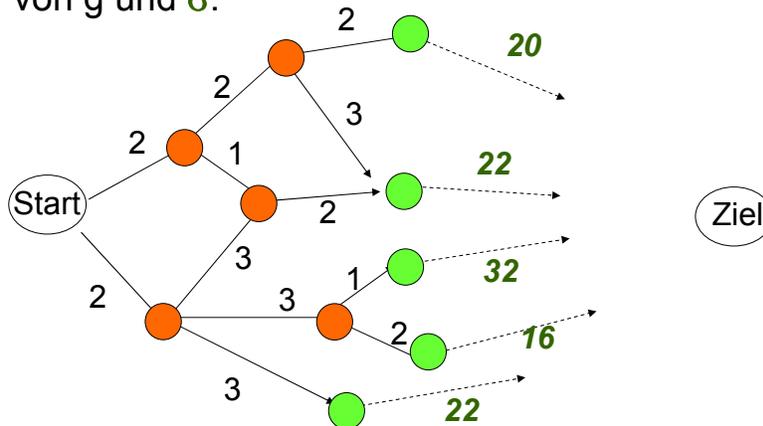
bekanntes Umwelt-Modell als Graph

Suchalgorithmus A\*

- Wegkosten minimieren: Kostenfunktion  $g$  für Wege
- Schätzfunktion  $\sigma$  für zukünftige Kosten (Heuristik)

## Beispiel: Suchverfahren

A\* legt Reihenfolge bei der Suche fest abhängig von  $g$  und  $\sigma$ .



H.D.Burkhard, HU Berlin  
Winter-Semester 2006/07

Vorlesung Einführung in die KI  
Einführung

67

## Bei unbekannter Umwelt

Lernverfahren, z.B. für

Funktionen: Neuronale Netze

Zustandsräume: Verstärkungslernen  
(Reinforcement-Learning)

- Exploration
- Exploitation

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Winter-Semester 2006/07

Vorlesung Einführung in die KI  
Einführung

68

## Zustände, Aktionen

Diskrete Zeitskala.

Zustand zur Zeit  $t$ :  $s_t$

Aktion zur Zeit  $t$ :  $a_t$  (oder Ereignis  $e_t$ )

Übergang  $T(s_t, a_t, s_{t+1})$  als Wahrscheinlichkeit.

oder  $s_{t+1} = \delta(s_t, a_t)$  bei deterministischem Übergang (Graph)

### Markov-Eigenschaft:

Folgestand  $s_{t+1}$  hängt nur ab vom aktuellen Zustand  $s_t$  und der aktuellen Aktion  $a_t$

Dualität:

– Wege als Folge von Zuständen oder Aktionen

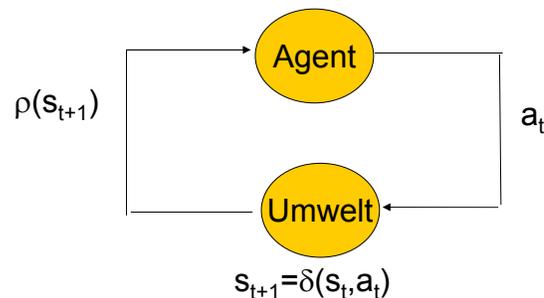
## Gewinn (Kosten)

Gewinn („reward“) eines Übergangs:

Wahrscheinlichkeit  $R(s_t, a_t, s_{t+1})$

Alternativ: Gewinn eines Zustands  $R(s)$

oder deterministisch:  $\rho(s)$



## Gewinn (Kosten)

Gewinn eines Weges (Plans):

$$V(s_0 s_1 s_2 s_3 \dots) := \sum_{i=0 \dots \infty} \gamma^i \rho(s_i)$$

mit Verzögerungsfaktor  $0 < \gamma \leq 1$

Bei endlicher Folge:

„absorbierender Zustand“ mit Bewertung 0

Satz:

Falls  $\rho$  beschränkt und  $\gamma < 1$  ist,

dann ist  $V(s_0 s_1 s_2 s_3 \dots)$  beschränkt und kann mit beliebiger Genauigkeit berechnet werden.

## Taktik (policy)

Deterministisch:  $\pi: S \rightarrow A$

$$a = \pi(s) :$$

Agent führt Aktion  $a$  aus, wenn er im Zustand  $s$  ist

Bei Start in  $s_0$  ergibt sich Zustandsfolge

$$s_0 s_1 s_2 s_3 \dots s_i s_{i+1} \dots \text{ gemäß } s_{t+1} = \delta(s_t, \pi(s_t))$$

Stochastisch:

$$\pi(s, a)$$

= Wahrscheinlichkeit, dass  $a$  in  $s$  ausgeführt wird

# Markov-Entscheidungsprozess (MDP)

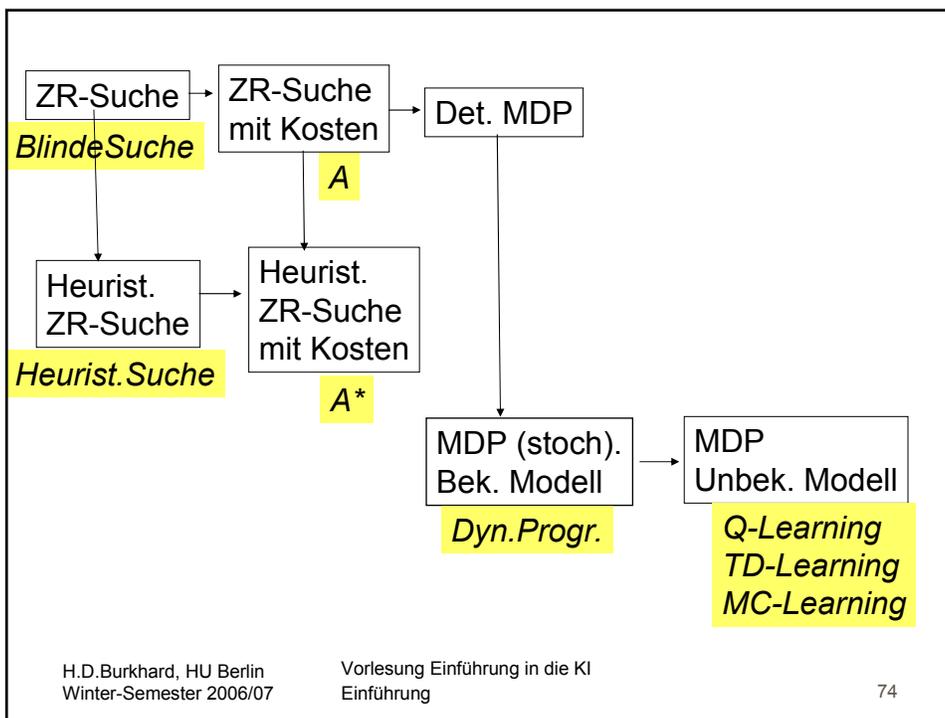
Ausgangszustand  $s_0$

Zustandsübergänge  $T(s_t, a_t, s_{t+1})$  bzw.  $\delta(s_t, a_t)$

Gewinnfunktion  $R(s_t, a_t, s_{t+1})$  bzw.  $\rho(s_t)$

Gesucht wird eine Taktik  $\pi$  mit optimalem Gewinn

$$V^\pi(s_0) = \sum_{t=0 \dots \infty} \gamma^t \rho(s_t) \quad \text{mit } s_{t+1} = \delta(s_t, \pi(s_t))$$



## Umwelteigenschaften

Unterscheiden:  
Betrachtung von außen vs.  
Internes Modell des Agenten

### Beobachtbarkeit

- vollständig vs. partiell
- korrekt vs. unsicher („Rauschen“)

### Bestimmtheit

- determiniert vs. nicht-determ./stochastisch

### Wiederholbarkeit

- episodisch (wiederholbar) vs. fortlaufend verändert

### Dynamik

- Dynamisch (schnell veränderlich) vs. statisch

### Skalierung

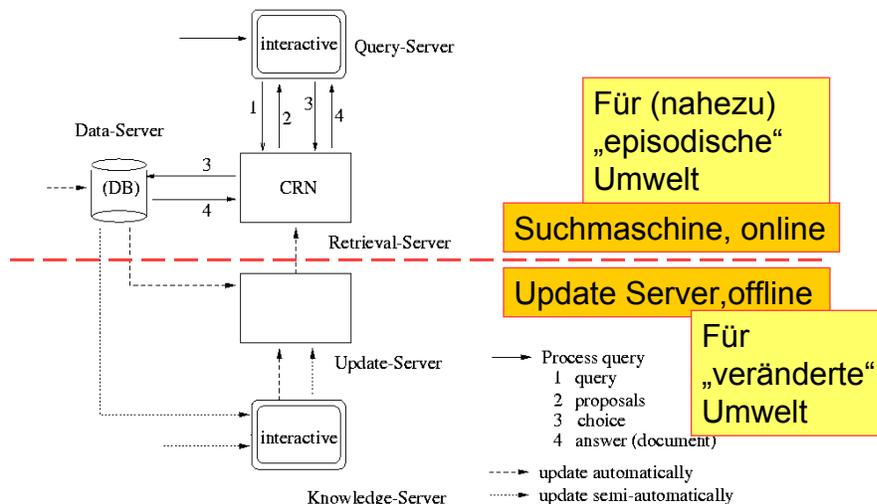
- Diskret vs. kontinuierlich

H.D.Burkhard, HU Berlin  
Winter-Semester 2006/07

Vorlesung Einführung in die KI  
Einführung

75

## Umwelteigenschaften



H.D.Burkhard, HU Berlin  
Winter-Semester 2006/07

Vorlesung Einführung in die KI  
Einführung

76

## Umwelteigenschaften

- Partiell beobachtbar
- Unsichere Information
- Keine determinist. Beschreibung
- nicht episodisch
- dynamisch

## „Intelligente“ Umwelt

Ubiquitous Computing

Ambient Computing