

DAI-Labor
TU Berlin



Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

Einführung in die KI
20.10.2005

Dr.-Ing. Stefan Fricke
stefan.fricke@dai-labor.de

AIOIT
Agententechnologien in
betrieblichen Anwendungen
und der Telekommunikation

Gliederung

- ⇒ Die Lehrveranstaltung GKI im Überblick
- ⇒ Was ist Künstliche Intelligenz?
- ⇒ Geschichtlicher Überblick
- ⇒ Intelligente Softwareagenten
- ⇒ Zusammenfassung und Ausblick

AIOIT Grundlagen der Künstlichen Intelligenz © Dr.-Ing. Stefan Fricke 2

Inhalte der LV GKI

- ⇒ **Problemlösen (3 Termine)**
 - Suchalgorithmen, Informed Search, Constraintenerfüllung, Spiele, Planen
- ⇒ **Logik & Wissensrepräsentation (3 Termine)**
 - Logisches Schließen, First Order Logic, Wissensbasen, Inferenzen
- ⇒ **Intelligente Agenten (2 Termine)**
 - Agenten und Environment, reaktive Agenten, kooperatives Problemlösen, BDI-Agenten, modale Logiken, nichtmonotone Logiken
- ⇒ **Maschinelles Lernen (7 Termine)**

AIOIT Grundlagen der Künstlichen Intelligenz © Dr.-Ing. Stefan Fricke 3

Lernziele

- ⇒ **Theoretisches Methodenwissen**
 - Methoden der Wissensrepräsentation, Suchalgorithmen und Lernverfahren erlernen
- ⇒ **Praktisches Anwendungswissen**
 - Einsatzmöglichkeiten, Stärken und Schwächen von KI-Methoden kennen
- ⇒ **Einordnung, Überblick und Motivation**
 - Weiterführende Lehrveranstaltungen, Forschungsthemen für Diplomarbeiten, ...

AIOIT Grundlagen der Künstlichen Intelligenz © Dr.-Ing. Stefan Fricke 4

Organisatorisches

- ⇒ **Vorlesung:**
 - Prof. Albayrak und Prof. Obermayer
- ⇒ **Übungen:**
 - 2 Termine zur Auswahl: Mittwoch 10-12 u. 12-14 Uhr im EMH 225
 - 5+x Übungsaufgaben, zu lösen von Arbeitsgruppen
 - Klausur in der letzten Semesterwoche
- ⇒ **Ansprechpartner:**
 - Brijnesh Johannes Jain (brijnesh-johannes.jain@dai-labor.de)

AIOIT Grundlagen der Künstlichen Intelligenz © Dr.-Ing. Stefan Fricke 5

Gliederung

- ⇒ Die Lehrveranstaltung GKI im Überblick
- ⇒ **Was ist Künstliche Intelligenz?**
- ⇒ Geschichtlicher Überblick
- ⇒ Intelligente Softwareagenten
- ⇒ Zusammenfassung und Ausblick

AIOIT Grundlagen der Künstlichen Intelligenz © Dr.-Ing. Stefan Fricke 6

Was ist Künstliche Intelligenz? – Eine Annäherung

- ⇒ Intelligentes Verhalten verstehen vs. intelligente Systeme bauen
- ⇒ Merkmale natürlicher Intelligenz
 - Sehen und erkennen --> Computer Vision, Wissensrepräs.
 - Texte verstehen --> ?
 - Sprachfähigkeit --> Spracherkennung /-synthese
 - Probleme lösen --> Suchalgorithmen, Reasoning
 - Zielgerichtet handeln --> Belief-Desire-Intention
 - Planen --> Planer
 - Lernen --> Maschinelles Lernen

Was ist Künstliche Intelligenz?

- ⇒ Maschinen entwickeln, die sich verhalten, als verfügten sie über Intelligenz (John McCarthy, 1955)
- ⇒ **Starke KI**
 - eine Intelligenz erschaffen, die wie der Mensch nachdenken und Probleme lösen kann
- ⇒ **Schwache KI**
 - Anwendungen bauen, zu deren Lösung nach allgemeinem Verständnis "Intelligenz" notwendig ist

Dreifus' Stufenmodell der Intelligenz



Gliederung

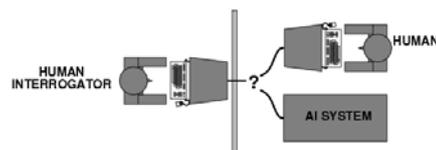
- ⇒ Die Lehrveranstaltung GKI im Überblick
- ⇒ Was ist Künstliche Intelligenz?
- ⇒ **Geschichtlicher Überblick**
- ⇒ Intelligente Softwareagenten
- ⇒ Zusammenfassung und Ausblick

Wurzeln der Künstlichen Intelligenz

- ⇒ Aristoteles (384-322 AC): Intelligenz durch Anwendung von Regeln, bestehend aus Wissen, Zielen und Handlungen
- ⇒ Thomas Hobbes (1588-1679): Denken ist Numerik
- ⇒ John S. Mill (1863): Utilitarismus bestimmt das Handeln
- ⇒ Wittgenstein (1889-1951): Logik
- ⇒ Léon Walras (1834-1910): Nutzentheorie
- ⇒ Cook / Karp (1971): NP-Vollständigkeit
- ⇒ Chomsky, Austin: Linguistik

Turing Test – Imitationsspiel (Turing 1950)

- ⇒ Ein Mensch führt einen Dialog mit einem Computer oder Menschen – per Bildschirm und Tastatur.
 - Kann der Mensch beurteilen, ob sein Dialogpartner ein Mensch und welcher ein Computer ist?



Eine kurze Geschichte der KI Phase 1: Enthusiasmus

- ⇒ Vision: Maschinen die denken, lernen und kreieren
 - KI ist machbar! [Simon 1957]
- ⇒ 1957 General Problem Solver [Simon, Newell]
- ⇒ 1958 LISP [McCarthy]
- ⇒ 1965 Resolutionsprinzip [Robinson]
- ⇒ 1966 ELIZA [Weizenbaum]
- ⇒ 1972 SHRDLU [Winograd]

ELIZA (Weizenbaum 1966)

- ⇒ ELIZA simuliert einen Psychotherapeuten.
- ⇒ Durch den geschickten Einsatz von Phrasen, wie „Erzählen sie mir mehr von X“ oder „Denken sie oft an X“ kann ELIZA Testpersonen längere Zeit täuschen.

```
>> I spend too much time with computers.
Why do you mention computers ?
>> You are one.
Does it please you to believe I am one ?
>> Yes.
You seem to be quite positive.
>> I suppose I am.
How long have you been ?
```

Eine kurze Geschichte der KI Phase 2: Desillusion (1966 - 1972)

- ⇒ Mikrowelten sind trivial. Ergebnisse lassen sich nicht auf reale Probleme übertragen.
- ⇒ Die Komplexität der schwachen Methoden liegt zumeist in NP.
- ⇒ Reine Symbolmanipulation ist offensichtlich nicht genug
 - Genetische Algorithmen, Neuronale Netzwerke arbeiten auf subsymbolischen Strukturen, repräsentieren aber kein Wissen.

Eine kurze Geschichte der KI Phase 3: Konsolidierung (ab 1971)

- ⇒ Expertensysteme
 - Wissensrepräsentation, knowledge engineering, starke Methoden
- ⇒ 1971 STRIPS Planer [Fikes]
- ⇒ 1965-75 DENDRAL: Molekulararchemie-XPS [Feigenbaum]
- ⇒ 1972 Prolog [Colmerauer, Rousset]
- ⇒ 1972-80 MYCIN: Medizinisches Expertensystem
- ⇒ 1977 OPS: Regelinterpretier [Forgy]
- ⇒ 1978-82 R1/XCON: Computerkonfiguration [McDermott, Drew]

Eine kurze Geschichte der KI Phasen 4 & 5: Aufklärung und Produktivität (seit 1982)

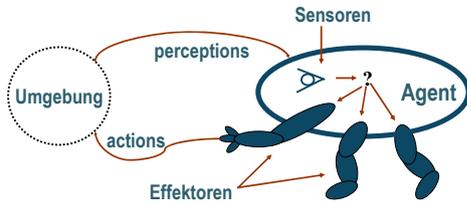
- ⇒ Von Werkzeugen zu industriellen Anwendungen
- ⇒ ab 1985 Expertensystemschalen
- ⇒ seit 1986: Neuronale Netze zur Mustererkennung
- ⇒ 1987: Erste Anwendung von Fuzzy Logic in Japan
- ⇒ Entwicklung heuristischer und effizienter Suchstrategien
- ⇒ fachspezifisches und alltägliches Wissen in Anwendungen
- ⇒ 1995: Intelligente Agenten...

Gliederung

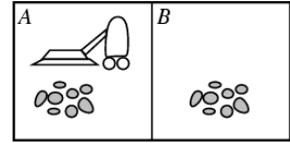
- ⇒ Die Lehrveranstaltung GKI im Überblick
- ⇒ Was ist Künstliche Intelligenz?
- ⇒ Geschichtlicher Überblick
- ⇒ Intelligente Softwareagenten
 - Rationales Handeln
 - Umgebung des Agenten
 - Agentenarchitekturen
- ⇒ Zusammenfassung und Ausblick

Agenten nach Russell & Norvig ...

- ⇒ ... nehmen ihre **Umwelt** durch **Sensoren** wahr (perceptions),
- ⇒ ... manipulieren ihre Umwelt mit Hilfe von **Effektoren** (actions).



Beispiel: Staubsauger-Agent



- ⇒ **Wahrnehmungen:**
 - Ort und Zustand, z.B. [A, schmutzig] oder [B, sauber]
- ⇒ **Aktionen:**
 - {nach_links, nach_rechts, saugen, warten}
- ⇒ **Welche Wahrnehmungen soll der Agent mit welchen Aktionen verknüpfen? ...**

Gliederung

- ⇒ Die Lehrveranstaltung GKI im Überblick
- ⇒ Was ist Künstliche Intelligenz?
- ⇒ Geschichtlicher Überblick
- ⇒ Intelligente Softwareagenten
 - Rationales Handeln
 - Umgebung des Agenten
 - Agentenarchitekturen
- ⇒ Zusammenfassung und Ausblick

Zum Begriff der Rationalität

- ⇒ **Rationalität ist optimales Verhalten [Anderson 91]**
 - "The cognitive system *optimizes* the adaptation of the behavior..."
- ⇒ **Rationalität ist ressourcenbedingt begrenzt [Simon 57]**
 - "property of an agent that behaves in a manner that is nearly optimal with respect to its *goals* as its *resources* will allow".
- ⇒ **Rationalität ist zielgerichtetes Verhalten [Newell 82]**
 - "If an agent has *knowledge* that one of its actions will lead to one of its *goals*, then the agent will select that action"

Rationalität in Agentensystemen

- ⇒ Ein *allwissender* Agent kennt den tatsächlichen Weltzustand und damit die tatsächlichen Effekte seiner Aktionen.
 - Optimales Handeln ist jedoch in offenen Systemen mit unvollständigem Wissen und begrenzten Ressourcen nicht möglich.
- ⇒ Ein *rationaler* Agent handelt dagegen auf Grund seiner Wahrnehmungen und seines (beschränkten) Wissens.

Verständnis der Rationalität in Agentensystemen

- ⇒ **Starke Definition: Maximum Expected Utility (MEU)**
 - MEU drückt aus, dass ein rationaler Agent diejenige Aktion wählen soll, die seinen erwarteten Nutzen maximiert.
 - Der Agent benötigt also eine Nutzenfunktion.
- ⇒ **Schwache Definition: Zielgerichtetes Verhalten**
 - Auswahl einer Aktion, die zur Erfüllung eines Zieles dient.
 - Der Agent benötigt Repräsentationen von Zielen.
 - Noch schwächer: Der Beobachter billigt dem Agenten Ziele zu.

Anwendungsfälle für Rationalität

- ⇒ **Handel auf elektronischen Märkten:**
 - für welches Produkt entscheiden? Wie viel dafür bieten?
- ⇒ **Strategische Spiele:**
 - welches ist der beste Zug (bei begrenzter Bedenkzeit)?
- ⇒ **Verhalten in unbekanntem Situationen:**
 - Erfahrungswissen, Faustregeln, Normen, etc. anwenden
- ⇒ **Entscheidung über Teilnahme an Lotterie:**
 - Wahrscheinlichkeiten, Erwartungswerte, Risikobereitschaft

Zusammenfassung Rationalität: „do the right thing“

- ⇒ **Rational handeln bedeutet, basierend auf Wissen, Wahrnehmungen und Handlungsalternativen die beste Aktion auszuführen.**
- ⇒ **Fragestellungen und Probleme dabei:**
 - Wie lässt sich der Nutzen messen und bewerten?
 - Kurzfristigen oder langfristigen Nutzen optimieren?
 - Problem der unvollständigen und inkorrekten Wahrnehmung...

Gliederung

- ⇒ Die Lehrveranstaltung GKI im Überblick
- ⇒ Was ist Künstliche Intelligenz?
- ⇒ Geschichtlicher Überblick
- ⇒ Intelligente Softwareagenten
 - Rationales Handeln
 - Umgebung des Agenten
 - Agentenarchitekturen
- ⇒ Zusammenfassung und Ausblick

Typen von Umgebungen

- ⇒ **Vollständig vs. partiell beobachtbar**
 - kann Umgebung jederzeit vollständig wahrgenommen werden?
- ⇒ **Deterministisch vs. stochastisch**
 - hängt der Folgezustand ausschließlich von der Aktion ab?
- ⇒ **Episodisch vs. sequentiell**
 - beeinflusst eine Aktion nur eine begrenzte (zeitliche) Episode oder möglicherweise die gesamte Zukunft?

Typen von Umgebungen

- ⇒ **Statisch vs. dynamisch**
 - ändert sich die Umgebung, obwohl der Agent nicht handelt?
- ⇒ **Diskret vs. kontinuierlich**
 - sind Zustände, Wahrnehmungen, Aktionen und Zeit endlich abzählbar?
- ⇒ **Ein Agent vs. viele Agenten**
 - Komplexität entsteht bei mehreren Agenten: Konkurrenz, Kooperation, Kommunikation, Koordination

Umgebungstypen anhand von Beispielen

	Kreuzwort-rätsel	Schach m. Uhr	Taxi fahren	Bild-analyse
Beobachtbar	✓	✓	–	✓
Deterministisch	✓	strategisch	stochastisch	✓
Episodisch	–	–	–	✓
Statisch	✓	semi	–	–
Diskret	✓	✓	–	–
Ein Agent	✓	–	–	✓

Gliederung

- ⇒ Die Lehrveranstaltung GKI im Überblick
- ⇒ Was ist Künstliche Intelligenz?
- ⇒ Geschichtlicher Überblick
- ⇒ Intelligente Softwareagenten
 - Rationales Handeln
 - Umgebung des Agenten
 - Agentenarchitekturen
- ⇒ Zusammenfassung und Ausblick

Vom Agentenverhalten zur Agentenarchitektur

- ⇒ Ein Agent führt Handlungen aufgrund von Wahrnehmungen aus:

$$[f: \mathcal{P}^* \rightarrow \mathcal{A}]$$

- Eigenschaften der Umgebung beeinflussen die Wahrnehmung
- Die Handlungen sollen rational sein.
- ⇒ **Agent = Architektur + Programm**
 - Das Agentenprogramm läuft auf der Architektur und realisiert f
 - Welche Architektur setzt die Anforderungen optimal um? ...

Ein sehr einfaches Agentenprogramm

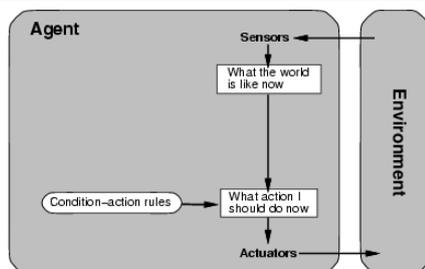
- ⇒ Der Agent besitzt eine Tabelle, in der sämtliche möglichen Wahrnehmungssequenzen auf Aktionen abgebildet werden
 - Beispiel Staubsaugeragent: Position x Zustand → Aktion
 - Beispiel Schach: Jede Stellung kennt einen optimalen Zug
 - Problem: Die Tabelle hätte ca. 10^{150} Einträge
- ⇒ Die Struktur (Architektur) eines Agenten beeinflusst offensichtlich dessen Performance...
 - Strukturen & Algorithmen zur Repräsentation & Verarbeitung großer Zustandsräume werden später (→ Suchprobleme) behandelt.

4 Agententypen im Überblick

- ⇒ Einfache reaktive Agenten
- ⇒ Zustandsbasierte reaktive Agenten
- ⇒ Zielorientierte Agenten
- ⇒ Nutzenorientierte Agenten

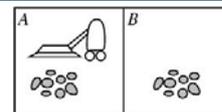
Einfache reaktive Agenten

... wählen eine Aktion aufgrund der aktuellen Wahrnehmung durch Anwendung einer passenden Regel.



... funktionieren nur in beobachtbaren Umgebungen

Einfache reaktive Agenten, Beispiel Staubsauger

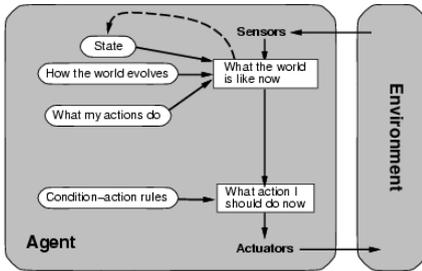


```
function REFLEX-VACUUM-AGENT (location, status)
    if status == Dirty then return Suck
    else if location == A then return Right
    else if location == B then return Left
```

Zustandsbasierte reaktive Agenten

... verwalten einen internen Zustand.

Dieses Weltmodell wird zyklisch aktualisiert auf Basis der Aktionen und Wahrnehmungen.



... funktionieren in partiell beobachtbaren Umgebungen

Zustandsbasierte reaktive Agenten

```
function REFLEX-AGENT-WITH-STATE(percept)
```

```
static: rules, a set of condition-action rules
```

```
state, a description of the current world state
```

```
action, the most recent action.
```

```
state ← UPDATE-STATE(state, action, percept)
```

```
rule ← RULE-MATCH(state, rule)
```

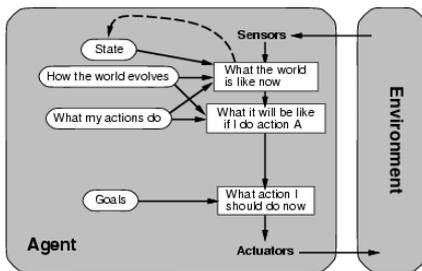
```
action ← RULE-ACTION[rule]
```

```
return action
```

Zielorientierte Agenten

... verwalten Ziele, um *wünschenswerte* Situationen zu erreichen.

... beziehen die Zukunft mit ein.

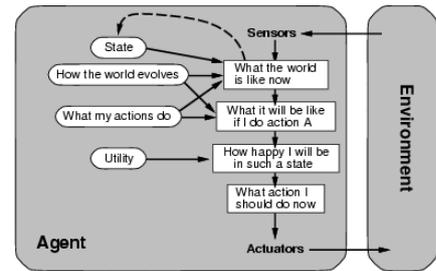


... sind flexibler aufgrund des wissensbasierten Ansatzes

Nutzenorientierte Agenten

... gewichten Zustände mit Werten.

... können Ziele und Aktionen entsprechend priorisieren.

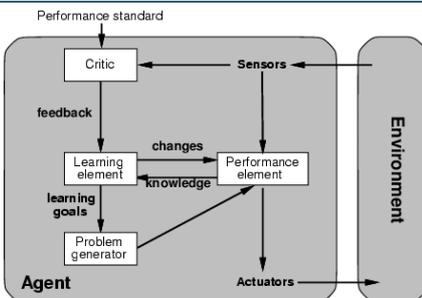


... eignen sich für Konfliktsituationen und Konkurrenz

Lernende Agenten

... erlernen die Auswahl der besten Aktion.

Jede der vorher beschriebenen Architekturen lässt sich um Lernverfahren erweitern.



... stärken die Performance und Robustheit.

Gliederung

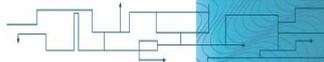
- ⇒ Die Lehrveranstaltung GKI im Überblick
- ⇒ Was ist Künstliche Intelligenz?
- ⇒ Geschichtlicher Überblick
- ⇒ Intelligente Softwareagenten
- ⇒ Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

- ⇒ **Starke KI zielt auf generelles intelligentes Verhalten, schwache KI auf intelligente Anwendungen**
 - Geschichtliche Entwicklung von generischen, *schwachen* Methoden zu spezialisierten, *starken* Methoden
- ⇒ **Ein Agent führt Handlungen aufgrund von Wahrnehmungen aus**
 - Rationale Agenten handeln zielgerichtet / nutzenoptimierend
 - Die Umgebung beeinflusst das Verhalten des Agenten
 - Die Agentenarchitektur definiert die Struktur eines Agenten

Wo stehen wir heute?

- ⇒ **Turing-Test als Benchmark**
 - teilweise auch von nicht intelligenten Systemen bestanden
- ⇒ **Schachcomputer schlagen Großmeister**
- ⇒ **Einsatz von Expertensystemen in bestimmten Bereichen**
- ⇒ **Aber: allgemeine Intelligenz nicht erreicht**
 - Grundschulfertigkeiten im Lesen, Schreiben und Zusammenfassen



Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

20.10.2005: Einführung in die KI
Nächster Termin: Problemlösen 1

Dr.-Ing. Stefan Fricke
stefan.fricke@dai-labor.de

AIOIT
Agententechnologien in
betrieblichen Anwendungen
und der Telekommunikation

Referenzen

- ⇒ **S. Russell, P. Norvig Artificial Intelligence: A Modern Approach
Prentice Hall, 2003, Second Edition**

Anhänge

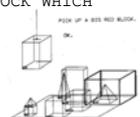
- ⇒ Nicht verwendete Folien

SHRDLU

Winograd (M.I.T., 1968-70)

- ⇒ einfacher Dialog in natürlicher Sprache über Klötzchenwelt

Person: PICK UP A BIG RED BLOCK.
Computer: OK. (does it)
Person: GRASP THE PYRAMID.
Computer: I DON'T UNDERSTAND WHICH PYRAMID YOU MEAN.
Person: FIND A BLOCK WHICH IS TALLER THAN THE ONE YOU ARE HOLDING AND PUT IT INTO THE BOX.
Computer: BY "IT", I ASSUME YOU MEAN THE BLOCK WHICH IS TALLER THAN THE ONE I AM HOLDING.
Computer: OK. (does it)



Natürliche Intelligenz vs. Künstliche Intelligenz

- ⇒ Nicht jedes intelligente Verhalten beruht auf (logischem) Denken
- ⇒ Worin liegt der Nutzen des Denkens? Welche Gedanken sollte man haben?
- ⇒ Symbol grounding problem bei reinen Software-Anwendungen

Entwicklungsphasen

