

Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

2. Agenten, Umgebungen und Lösungsverfahren

Malte Helmert

Universität Basel

4. März 2013

Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

4. März 2013 — 2. Agenten, Umgebungen und Lösungsverfahren

2.1 Rationale Agenten

2.2 Umgebungen für rationale Agenten

2.3 Problemlösungsverfahren

2.4 Einordnung von KI-Themen

2.1 Rationale Agenten

Heterogene Einsatzgebiete

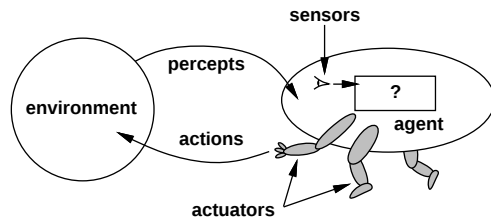
KI-Systeme erfüllen sehr **unterschiedliche** Aufgaben:

- ▶ Steuerung von Fertigungsanlagen
- ▶ Erkennen von Spam-Nachrichten
- ▶ Intralogistiksysteme in Lagerhäusern
- ▶ Einkaufsberatung im Internet
- ▶ Finden von Fehlern in Logik-Schaltkreisen
- ▶ ...

Wie fassen wir diese Vielfalt in einen **systematischen Rahmen**, der **Gemeinsamkeiten** und **Unterschiede** verdeutlicht?

Verbindende Metapher: **rationale Agenten** und ihre **Umgebungen**

Agenten



Agenten

- **Agentenfunktion** bildet Folgen von Wahrnehmungen (Perzepten) auf Aktionen ab:

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

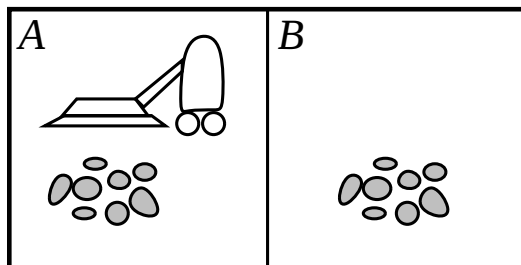
- **Agentenprogramm** läuft auf der physischen **Architektur** ab und berechnet f

Beispiele: Mensch, Roboter, Web-Crawler, Thermostat, OS-Scheduler, ...

Gestatten: ein Agent



Staubsaugerwelt



- **Wahrnehmungen:** Ort und Sauberkeit, z. B. $\langle a, \text{dirty} \rangle$
- **Aktionen:** left, right, suck, wait

Staubsauger-Agent

Wahrnehmungsfolge	Aktion
$\langle a, \text{clean} \rangle$	<i>right</i>
$\langle a, \text{dirty} \rangle$	<i>suck</i>
$\langle b, \text{clean} \rangle$	<i>left</i>
$\langle b, \text{dirty} \rangle$	<i>suck</i>
$\langle a, \text{clean} \rangle, \langle b, \text{clean} \rangle$	<i>left</i>
$\langle a, \text{clean} \rangle, \langle b, \text{dirty} \rangle$	<i>suck</i>
...	...

Reflexiver Staubsauger-Agent

```
def reflex-vacuum-agent(location, status):
    if status == dirty: return suck
    else if location == a: return right
    else if location == b: return left
```

Was ist die **richtige** Agentenfunktion?

Rationalität

Rationales Verhalten

Verhalten von Agenten wird durch **Performance-Mass** bewertet (verwandte Begriffe: **Nutzen**, **Kosten**).

Perfekte Rationalität: wähle immer eine Aktion, die

- ▶ gegeben **verfügbare Informationen** (bisherige Perzepte)
- ▶ den **Erwartungswert** für **zukünftige Performance** maximiert

Frage: Ist der reflexive Staubsauger-Agent perfekt rational?

Hängt von Performance-Mass und Umgebung des Agenten ab!

- ▶ Haben Aktionen zuverlässig gewünschten Effekt?
- ▶ Kennen wir die Anfangssituation?
- ▶ Kann neuer Schmutz entstehen, während der Agent handelt?

Rationaler Staubsauger

Beispiel: Staubsauger-Agent

Performance-Mass:

- ▶ +100 Punkte pro gereinigtes Feld
- ▶ -10 Punkte pro *suck*-Aktion
- ▶ -1 Punkt pro *left/right*-Aktion

Umgebung:

- ▶ Aktionen und Wahrnehmungen zuverlässig
- ▶ Welt ändert sich nur durch Aktionen des Agenten
- ▶ alle Anfangssituationen gleich wahrscheinlich

Wie verhält sich ein perfekt rationaler Agent?

Rationalität: Diskussion

- ▶ **Perfekte Rationalität** $\neq$ **Allwissen**
 - ▶ unvollständige Informationen (durch Perzepte) reduzieren erzielbaren Nutzen
- ▶ **Perfekte Rationalität** $\neq$ **perfekte Vorhersage**
 - ▶ unsicheres Verhalten der Umgebung (z. B. stochastische Effekte von Aktionen) reduziert erzielbaren Nutzen
- ▶ **Perfekte Rationalität ist selten erreichbar**
 - ▶ beschränkte Rechenkapazität $\rightsquigarrow$ **begrenzte Rationalität** (*bounded rationality*)

2.2 Umgebungen für rationale Agenten

KI-Probleme

KI-Probleme

KI-Problem: **Performance-Mass** + **Agentenmodell** + **Umgebung**

▶ Agentenmodell:

- ▶ Welche Aktionen hat der Agent zur Verfügung?
- ▶ Welche Wahrnehmungen hat der Agent?

▶ Umgebung:

- ▶ Welche Aspekte der Welt sind für den Agenten relevant?
- ▶ Wie reagiert die Welt auf die Aktionen des Agenten?
- ▶ Welche Wahrnehmungen sendet sie ihm?

↪ mehr dazu gleich

Beispielproblem: autonomes Taxi

Beispiel: autonomes Taxi

Umgebung:

- ▶ Strassen, Fahrzeuge, Fussgänger, Wetter, ...

Performance-Mass:

- ▶ Pünktlichkeit, Sicherheit, Profit, Legalität, Komfort, ...

Agentenmodell:

- ▶ **Aktionen:** lenken, Gas geben, bremsen, schalten, hupen, ...
- ▶ **Wahrnehmungen:** Kameras, Beschleunigungssensoren, GPS, Touch-Pad, ...

Beispielproblem: Web-Shopping-Bot

Beispiel: Web-Shopping-Bot

Umgebung:

- ▶ Webseiten, Produkte, Händler, ...

Performance-Mass:

- ▶ Kosten, Qualität erworbener Produkte, Lieferzeit, ...

Agentenmodell:

- ▶ **Aktionen:** Fragen an Benutzer, Links verfolgen, Formulare ausfüllen, ...
- ▶ **Wahrnehmungen:** HTML-Seiten (Text, Bilder, Skripte, Metadaten), Benutzer-Eingaben, ...

Klassifikation von Umgebungen

- ▶ **Eigenschaften der Umgebung** bestimmen

Charakter des KI-Problems

- ▶ Klassifikation nach Kriterien wie:

- ▶ **statisch** vs. **dynamisch**
- ▶ **deterministisch** vs. **nicht-deterministisch** vs. **stochastisch**
- ▶ **vollständig** vs. **partiell** vs. **nicht** beobachtbar
- ▶ **diskret** vs. **stetig**
- ▶ **ein Agent** vs. **mehrere Agenten**

Eigenschaften von Umgebungen

Beispiele für Eigenschaften von Umgebungen

	Zauberwürfel	Backgammon	Shopping-Bot	Taxi
Statisch	Ja	(Ja)	(Ja)	Nein
Deterministisch	Ja	stochastisch	(Ja)	Nein
Beobachtbarkeit	vollständig	vollständig	partiell	partiell
Diskret	Ja	Ja	Ja	Nein
Anzahl Agenten	1	2 (Gegner)	(1)	viele

Statisch vs. dynamisch

Ändert sich der Zustand der Umgebung,
während der Agent seine nächste Aktion berechnet?

Eigenschaften von Umgebungen

Beispiele für Eigenschaften von Umgebungen

	Zauberwürfel	Backgammon	Shopping-Bot	Taxi
Statisch	Ja	(Ja)	(Ja)	Nein
Deterministisch	Ja	stochastisch	(Ja)	Nein
Beobachtbarkeit	vollständig	vollständig	partiell	partiell
Diskret	Ja	Ja	Ja	Nein
Anzahl Agenten	1	2 (Gegner)	(1)	viele

Statisch vs. dynamisch

Ändert sich der Zustand der Umgebung,
während der Agent seine nächste Aktion berechnet?

Eigenschaften von Umgebungen

Beispiele für Eigenschaften von Umgebungen

	Zauberwürfel	Backgammon	Shopping-Bot	Taxi
Statisch	Ja	(Ja)	(Ja)	Nein
Deterministisch	Ja	stochastisch	(Ja)	Nein
Beobachtbarkeit	vollständig	vollständig	partiell	partiell
Diskret	Ja	Ja	Ja	Nein
Anzahl Agenten	1	2 (Gegner)	(1)	viele

Deterministisch vs. nicht-deterministisch vs. stochastisch

Ist der nächste Zustand der Umgebung komplett durch den
aktuellen Zustand und die Aktionen des/der Agenten bestimmt?

Falls nein: spielt der Zufall bei der Bestimmung
des nächsten Zustands eine Rolle?

Eigenschaften von Umgebungen

Beispiele für Eigenschaften von Umgebungen

	Zauberwürfel	Backgammon	Shopping-Bot	Taxi
Statisch	Ja	(Ja)	(Ja)	Nein
Deterministisch	Ja	stochastisch	(Ja)	Nein
Beobachtbarkeit	vollständig	vollständig	partiell	partiell
Diskret	Ja	Ja	Ja	Nein
Anzahl Agenten	1	2 (Gegner)	(1)	viele

Deterministisch vs. nicht-deterministisch vs. stochastisch

Ist der nächste Zustand der Umgebung komplett durch den
aktuellen Zustand und die Aktionen des/der Agenten bestimmt?

Falls nein: spielt der Zufall bei der Bestimmung
des nächsten Zustands eine Rolle?

Eigenschaften von Umgebungen

Beispiele für Eigenschaften von Umgebungen

	Zauberwürfel	Backgammon	Shopping-Bot	Taxi
Statisch	Ja	(Ja)	(Ja)	Nein
Deterministisch	Ja	stochastisch	(Ja)	Nein
Beobachtbarkeit	vollständig	vollständig	partiell	partiell
Diskret	Ja	Ja	Ja	Nein
Anzahl Agenten	1	2 (Gegner)	(1)	viele

vollständig vs. partiell vs. nicht beobachtbar

Reichen die Wahrnehmungen des Agenten aus,
um den Zustand der Umgebung komplett zu bestimmen?

Falls nein: kann der Agent wenigstens Teilaspekte
des Zustands der Umgebung wahrnehmen?

Eigenschaften von Umgebungen

Beispiele für Eigenschaften von Umgebungen

	Zauberwürfel	Backgammon	Shopping-Bot	Taxi
Statisch	Ja	(Ja)	(Ja)	Nein
Deterministisch	Ja	stochastisch	(Ja)	Nein
Beobachtbarkeit	vollständig	vollständig	partiell	partiell
Diskret	Ja	Ja	Ja	Nein
Anzahl Agenten	1	2 (Gegner)	(1)	viele

vollständig vs. partiell vs. nicht beobachtbar

Reichen die Wahrnehmungen des Agenten aus,
um den Zustand der Umgebung komplett zu bestimmen?

Falls nein: kann der Agent wenigstens Teilaspekte
des Zustands der Umgebung wahrnehmen?

Eigenschaften von Umgebungen

Beispiele für Eigenschaften von Umgebungen

	Zauberwürfel	Backgammon	Shopping-Bot	Taxi
Statisch	Ja	(Ja)	(Ja)	Nein
Deterministisch	Ja	stochastisch	(Ja)	Nein
Beobachtbarkeit	vollständig	vollständig	partiell	partiell
Diskret	Ja	Ja	Ja	Nein
Anzahl Agenten	1	2 (Gegner)	(1)	viele

diskret vs. stetig

Ist der Zustand der Umgebung durch diskrete
oder durch stetige Parameter beschrieben?

Auch anwendbar auf: Aktionen des Agenten,
Wahrnehmungen des Agenten, verstreichende Zeit

Eigenschaften von Umgebungen

Beispiele für Eigenschaften von Umgebungen

	Zauberwürfel	Backgammon	Shopping-Bot	Taxi
Statisch	Ja	(Ja)	(Ja)	Nein
Deterministisch	Ja	stochastisch	(Ja)	Nein
Beobachtbarkeit	vollständig	vollständig	partiell	partiell
Diskret	Ja	Ja	Ja	Nein
Anzahl Agenten	1	2 (Gegner)	(1)	viele

diskret vs. stetig

Ist der Zustand der Umgebung durch diskrete
oder durch stetige Parameter beschrieben?

Auch anwendbar auf: Aktionen des Agenten,
Wahrnehmungen des Agenten, verstreichende Zeit

Eigenschaften von Umgebungen

Beispiele für Eigenschaften von Umgebungen

	Zauberwürfel	Backgammon	Shopping-Bot	Taxi
Statisch	Ja	(Ja)	(Ja)	Nein
Deterministisch	Ja	stochastisch	(Ja)	Nein
Beobachtbarkeit	vollständig	vollständig	partiell	partiell
Diskret	Ja	Ja	Ja	Nein
Anzahl Agenten	1	2 (Gegner)	(1)	viele

ein Agent vs. mehrere Agenten

Müssen ausser dem handelnden Agenten andere Agenten berücksichtigt werden?

Falls ja: handeln diese kooperativ, verfolgen sie Eigeninteressen, oder sind sie Gegenspieler?

Eigenschaften von Umgebungen

Beispiele für Eigenschaften von Umgebungen

	Zauberwürfel	Backgammon	Shopping-Bot	Taxi
Statisch	Ja	(Ja)	(Ja)	Nein
Deterministisch	Ja	stochastisch	(Ja)	Nein
Beobachtbarkeit	vollständig	vollständig	partiell	partiell
Diskret	Ja	Ja	Ja	Nein
Anzahl Agenten	1	2 (Gegner)	(1)	viele

ein Agent vs. mehrere Agenten

Müssen ausser dem handelnden Agenten andere Agenten berücksichtigt werden?

Falls ja: handeln diese kooperativ, verfolgen sie Eigeninteressen, oder sind sie Gegenspieler?

Eigenschaften von Umgebungen

Beispiele für Eigenschaften von Umgebungen

	Zauberwürfel	Backgammon	Shopping-Bot	Taxi
Statisch	Ja	(Ja)	(Ja)	Nein
Deterministisch	Ja	stochastisch	(Ja)	Nein
Beobachtbarkeit	vollständig	vollständig	partiell	partiell
Diskret	Ja	Ja	Ja	Nein
Anzahl Agenten	1	2 (Gegner)	(1)	viele

Geeignete Problemlösungsalgorithmen

Verschiedenartige Umgebungen (anhand der obigen Kriterien) erfordern in der Regel verschiedenartige Algorithmen.

Die „echte Welt“ vereint alle unangenehmen (im Sinne von: schwer handhabbaren) Eigenschaften.

2.3 Problemlösungsverfahren

Drei Ansätze zur Problemlösung

Um ein **konkretes KI-Problem** (z. B.: Backgammon) zu lösen, können wir auf verschiedene Arten vorgehen:

Drei Problemlösungsansätze

- ① **problemspezifisch**: Verfahren „von Hand“ implementieren
 - ② **allgemein**: Problembeschreibung erstellen
+ allgemeines Verfahren (**Solver**) verwenden
 - ③ **lernend**: Verfahren aus Erfahrung **lernen**
- ▶ alle drei Ansätze haben Stärken und Schwächen (**Welche?**)
 - ▶ Mischformen sind möglich
 - ▶ wir werden alle drei Ansätze behandeln;
Schwerpunkt: allgemeine Verfahren

Allgemeine Problemlösungsverfahren

„General problem solving“:

Problem Instanz $\Rightarrow$ Sprache $\Rightarrow$ **Solver** $\Rightarrow$ Lösung

- ① **Modelle**, um Probleme zu klassifizieren, zu definieren und zu verstehen
 - ▶ Was ist eine **Instanz** des Problems?
 - ▶ Was ist eine **Lösung**?
 - ▶ Was ist eine **gute/optimale** Lösung?
- ② **Sprachen** zur Repräsentation der Problem Instanzen
- ③ **Algorithmen** zum Finden der Lösung

Sprachen sind eine Schlüsselkomponente!

Der Schlüssel für allgemeine Problemlöser

Komplexe Modelle **implizit** in **deklarativen Sprachen** repräsentieren!

Zwei Rollen für deklarative Sprachen:

- ▶ **Spezifikation**: kompakte Beschreibung des Modells
- ▶ **Berechnung**: algorithmische Ausnutzung von **Problemstruktur**

2.4 Einordnung von KI-Themen

Einordnung von KI-Themen

Viele KI-Teilgebiete sind im Wesentlichen dadurch charakterisiert,

- ▶ welche **Eigenschaften von Umgebungen** sie voraussetzen und
- ▶ welcher der drei **Problemlösungsansätze** verfolgt wird.

Zum Abschluss der Einführung geben wir einige Beispiele

- ▶ aus dieser Vorlesung und
- ▶ darüber hinaus.

Beispiele: Klassifikation von KI-Themen

Vorlesungsthema: informierte Suchverfahren

Umgebung:

- ▶ **statisch** vs. dynamisch
- ▶ **deterministisch** vs. nicht-deterministisch vs. stochastisch
- ▶ **vollständig** vs. partiell vs. nicht **beobachtbar**
- ▶ **diskret** vs. stetig
- ▶ **ein Agent** vs. mehrere Agenten

Lösungsansatz:

- ▶ **problemspezifisch** vs. allgemein vs. lernend

Beispiele: Klassifikation von KI-Themen

Vorlesungsthema: Constraint-Satisfaction-Probleme

Umgebung:

- ▶ **statisch** vs. dynamisch
- ▶ **deterministisch** vs. nicht-deterministisch vs. stochastisch
- ▶ **vollständig** vs. partiell vs. nicht **beobachtbar**
- ▶ **diskret** vs. stetig
- ▶ **ein Agent** vs. mehrere Agenten

Lösungsansatz:

- ▶ **problemspezifisch** vs. **allgemein** vs. lernend

Beispiele: Klassifikation von KI-Themen

Vorlesungsthema: Brettspiele

Umgebung:

- ▶ **statisch** vs. dynamisch
- ▶ **deterministisch** vs. nicht-deterministisch vs. stochastisch
- ▶ **vollständig** vs. partiell vs. nicht **beobachtbar**
- ▶ **diskret** vs. stetig
- ▶ ein Agent vs. **mehrere Agenten (Gegenspieler)**

Lösungsansatz:

- ▶ **problemspezifisch** vs. allgemein vs. lernend

Beispiele: Klassifikation von KI-Themen

Übungsthema: General Game Playing

Umgebung:

- ▶ **statisch** vs. dynamisch
- ▶ **deterministisch** vs. nicht-deterministisch vs. (stochastisch)
- ▶ **vollständig** vs. partiell vs. nicht **beobachtbar**
- ▶ **diskret** vs. stetig
- ▶ ein Agent vs. **mehrere Agenten** (**Gegenspieler**)

Lösungsansatz:

- ▶ problemspezifisch vs. **allgemein** vs. lernend

Beispiele: Klassifikation von KI-Themen

Vorlesungsthema: Handlungsplanung

Umgebung:

- ▶ **statisch** vs. dynamisch
- ▶ **deterministisch** vs. nicht-deterministisch vs. stochastisch
- ▶ **vollständig** vs. partiell vs. nicht **beobachtbar**
- ▶ **diskret** vs. stetig
- ▶ ein Agent vs. mehrere Agenten

Lösungsansatz:

- ▶ problemspezifisch vs. **allgemein** vs. lernend

Beispiele: Klassifikation von KI-Themen

Vorlesungsthema: Handeln unter Unsicherheit

Umgebung:

- ▶ **statisch** vs. dynamisch
- ▶ deterministisch vs. nicht-deterministisch vs. **stochastisch**
- ▶ **vollständig** vs. partiell vs. nicht **beobachtbar**
- ▶ **diskret** vs. stetig
- ▶ ein Agent vs. mehrere Agenten

Lösungsansatz:

- ▶ **problemspezifisch** vs. allgemein vs. lernend

Beispiele: Klassifikation von KI-Themen

Weiterführendes Thema: Reinforcement-Lernen

Umgebung:

- ▶ **statisch** vs. dynamisch
- ▶ deterministisch vs. nicht-deterministisch vs. **stochastisch**
- ▶ **vollständig** vs. partiell vs. nicht **beobachtbar**
- ▶ **diskret** vs. stetig
- ▶ ein Agent vs. mehrere Agenten

Lösungsansatz:

- ▶ problemspezifisch vs. allgemein vs. **lernend**