Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

2. Agenten, Umgebungen und Lösungsverfahren

Malte Helmert

Universität Basel

28. Februar 2014

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?

Heterogene Einsatzgebiete

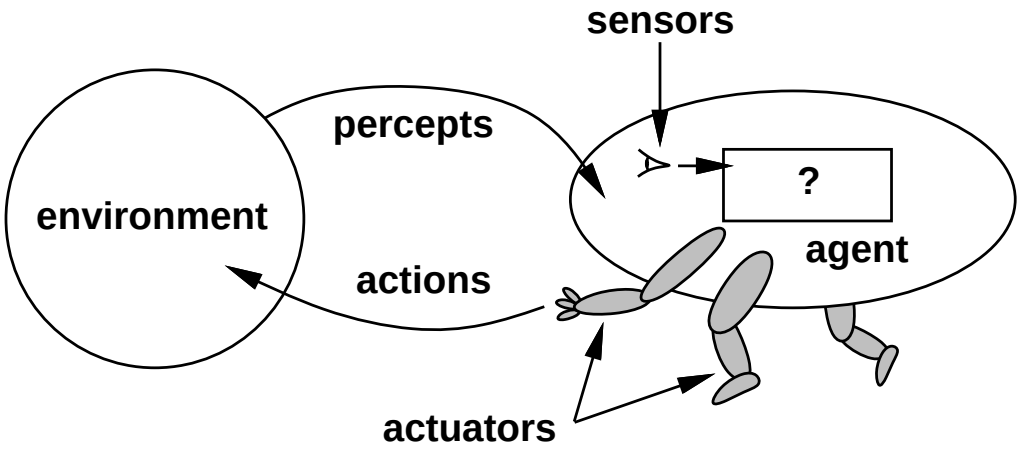
KI-Systeme erfüllen sehr unterschiedliche Aufgaben:

- 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:

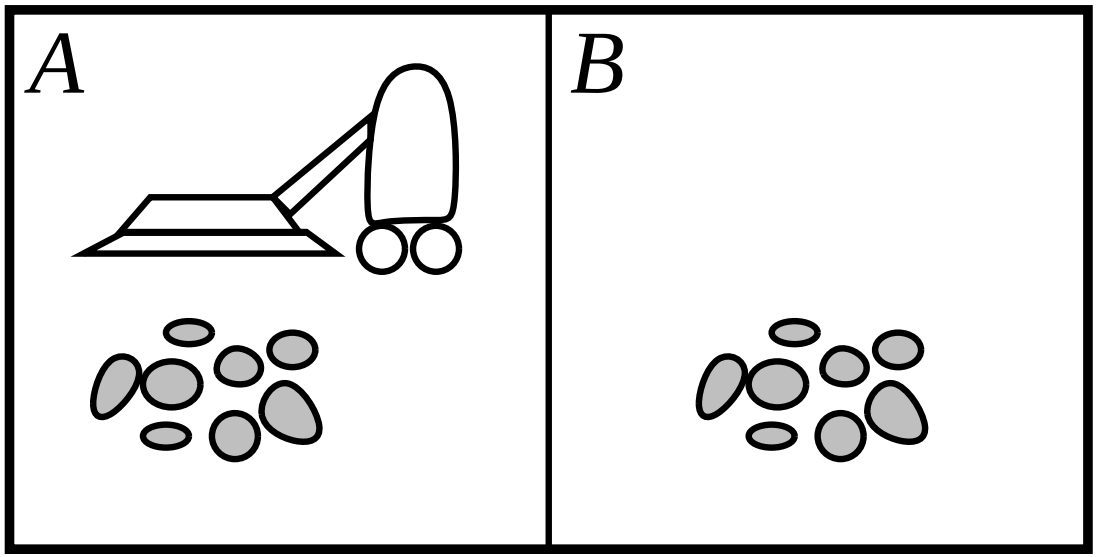
$$f : \mathcal{P}^* \rightarrow \mathcal{A}$$

- 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. $\langle \mathrm{a}, \mathrm{dirty} \rangle$
- Aktionen: left, right, suck, wait

Staubsauger-Agent

Wahrnehmungsfolge	Aktion
$\langle$a, clean$\rangle$	*right*
$\langle$a, dirty$\rangle$	*suck*
$\langle$b, clean$\rangle$	*left*
$\langle$b, dirty$\rangle$	*suck*
$\langle$a, clean$\rangle$, $\langle$b, clean$\rangle$	*left*
$\langle$a, clean$\rangle$, $\langle$b, dirty$\rangle$	*suck*
...	...

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?

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*)

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?

  $\rightsquigarrow$ 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				
Deterministisch				
Beobachtbarkeit				
Diskret				
Anzahl Agenten				

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				
Beobachtbarkeit				
Diskret				
Anzahl Agenten				

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				
Beobachtbarkeit				
Diskret				
Anzahl Agenten				

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				
Diskret				
Anzahl Agenten				

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				
Diskret				
Anzahl Agenten				

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				
Anzahl Agenten				

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				
Anzahl Agenten				

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				

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				

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.

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“:

$$\text{Probleminstanz} \Longrightarrow \text{Sprache} \Longrightarrow \text{Solver} \Longrightarrow \text{Lösung}$$

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 Probleminstanzen
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

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 Problemlösungansätze 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