

Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

4. Einführung: Umgebungen und Problemlösungsverfahren

Malte Helmert

Universität Basel

2. März 2015

Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

2. März 2015 — 4. Einführung: Umgebungen und Problemlösungsverfahren

4.1 Umgebungen für rationale Agenten

4.2 Problemlösungsverfahren

4.3 Einordnung von KI-Themen

4.4 Zusammenfassung

Einführung: Überblick

Kapitelüberblick Einführung:

- ▶ 1. Was ist Künstliche Intelligenz?
- ▶ 2. KI früher und heute
- ▶ 3. Rationale Agenten
- ▶ 4. Umgebungen und Problemlösungsverfahren

4.1 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?

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.

4.2 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**

4.3 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**

4.4 Zusammenfassung

Zusammenfassung (1)

KI-Problem: Performance-Mass + Agentenmodell + Umgebung

Eigenschaften der **Umgebung** entscheidend
für Wahl eines geeigneten Algorithmus:

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

Zusammenfassung (2)

Drei **Ansätze zur Problemlösung:**

- ▶ **problemspezifisch**
- ▶ **allgemein**
- ▶ **lernend**

Allgemeine Problemlöser:

- ▶ **Modelle** charakterisieren Probleminstanz mathematisch
- ▶ **Sprachen** beschreiben Modelle kompakt
- ▶ Algorithmen verwenden Sprache als **Problembeschreibung**
und zur **Ausnutzung von Problemstruktur**