

# Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

## 4. Einführung: Umgebungen und Problemlösungsverfahren

Malte Helmert

Universität Basel

2. März 2015

# Einführung: Überblick

## Kapitelüberblick Einführung:

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

# 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 |
|-----------------|--------------|------------|--------------|------|
| <b>Statisch</b> |              |            |              |      |
| 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 |
|-----------------|--------------|------------|--------------|------|
| <b>Statisch</b> | 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 |
| <b>Beobachtbarkeit</b> |              |              |              |      |
| 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     |
| <b>Beobachtbarkeit</b> | 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, verstrichende 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, verstrichende 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“:

Probleminstanz  $\Rightarrow$  Sprache  $\Rightarrow$  Solver  $\Rightarrow$  Lösung

- ➊ 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?
- ➋ Sprachen zur Repräsentation der Probleminstanzen
- ➌ 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**

Umgebungen  
oooooo

Problemlösungsverfahren  
oooo

Einordnung von KI-Themen  
ooo

Zusammenfassung  
●oo

# 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**