

# Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

## 5. Klassische Suche: Beispiele von Zustandsräumen

Malte Helmert

Universität Basel

7. März 2014

# Suchprobleme: Überblick

Kapitelüberblick klassische Suche:

- 3.–5. Einführung
  - 3. Zustandsräume
  - 4. Repräsentation von Zustandsräumen
  - 5. Beispiele von Zustandsräumen
- folgende Kapitel: Suchalgorithmen

# Drei Beispiele

In diesem Kapitel führen wir drei Zustandsräume ein, die wir als illustrierende Beispiele verwenden werden:

- ① Blocks world
- ② Routenplanung in Rumänien
- ③ Missionare und Kannibalen

Blocks world

●○○○○

Routenplanung in Rumänien

○○○

Missionare und Kannibalen

○○○

# Blocks world

# Blocks world

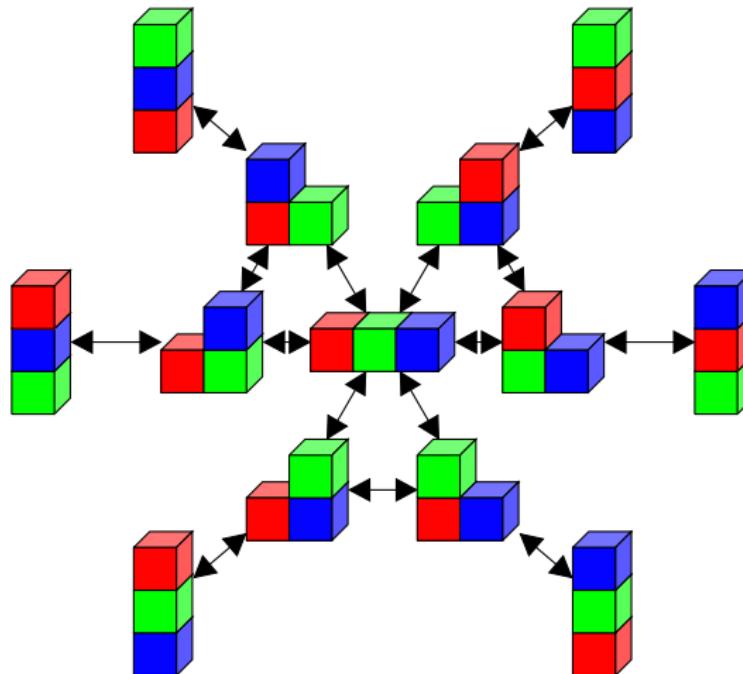
Die **Blocks world** (Klötzchenwelt) ist ein traditionelles Beispielproblem in der KI.

## Aufgabe: Blocks world

- Farbige Blöcke liegen auf einem Tisch.
- Sie können zu Türmen gestapelt werden, wobei immer nur ein Block auf einmal bewegt werden kann.
- Unsere Aufgabe ist es, eine gegebenen Zielkonfiguration zu erreichen.

# Beispiel: Blocks world mit drei Blöcken

(Aktionsnamen der Übersicht halber weggelassen;  
Anfangszustand und Ziel können unterschiedlich gewählt werden)



# Blocks world: formale Definition

Zustandsraum  $\langle S, A, \text{cost}, T, s_0, S_* \rangle$  Blocks world mit  $n$  Blöcken

## Zustandsraum Blocks world

### Zustände $S$ :

Partitionierungen von  $\{1, 2, \dots, n\}$  in nichtleere geordnete Listen

Beispiel  $n = 3$ :

- $\{\langle 1, 2, 3 \rangle\}, \{\langle 1, 3, 2 \rangle\}, \{\langle 2, 1, 3 \rangle\},$   
 $\{\langle 2, 3, 1 \rangle\}, \{\langle 3, 1, 2 \rangle\}, \{\langle 3, 2, 1 \rangle\}$
- $\{\langle 1, 2 \rangle, \langle 3 \rangle\}, \{\langle 2, 1 \rangle, \langle 3 \rangle\}, \{\langle 1, 3 \rangle, \langle 2 \rangle\},$   
 $\{\langle 3, 1 \rangle, \langle 2 \rangle\}, \{\langle 2, 3 \rangle, \langle 1 \rangle\}, \{\langle 3, 2 \rangle, \langle 1 \rangle\}$
- $\{\langle 1 \rangle, \langle 2 \rangle, \langle 3 \rangle\}$

# Blocks world: formale Definition

Zustandsraum  $\langle S, A, \text{cost}, T, s_0, S_* \rangle$  Blocks world mit  $n$  Blöcken

## Zustandsraum Blocks world

### Aktionen $A$ :

- $\{move_{b,b'} \mid b, b' \in \{1, \dots, n\} \text{ mit } b \neq b'\}$ 
  - Bewege Block  $b$  auf Block  $b'$ .
  - Beide müssen jeweils oberster Block in einem Turm sein.
- $\{totable_b \mid b \in \{1, \dots, n\}\}$ 
  - Bewege Block  $b$  auf den Tisch ( $\rightsquigarrow$  neuer Turm entsteht).
  - Muss oberster Block in einem Turm sein.

### Aktionskosten $\text{cost}$ :

$\text{cost}(a) = 1$  für alle Aktionen  $a$

# Blocks world: formale Definition

Zustandsraum  $\langle S, A, \text{cost}, T, s_0, S_* \rangle$  Blocks world mit  $n$  Blöcken

## Zustandsraum Blocks world

### Transitionen:

Beispielhaft für  $a = \text{move}_{2,3}$ :

Transition  $s \xrightarrow{a} s'$  existiert genau dann, wenn

- $s = \{\langle b_1, \dots, b_k, 2 \rangle, \langle c_1, \dots, c_m, 3 \rangle\} \cup X$  und
- falls  $k > 0$ :  $s' = \{\langle b_1, \dots, b_k \rangle, \langle c_1, \dots, c_m, 3, 2 \rangle\} \cup X$
- falls  $k = 0$ :  $s' = \{\langle c_1, \dots, c_m, 3, 2 \rangle\} \cup X$

# Blocks world: formale Definition

Zustandsraum  $\langle S, A, \text{cost}, T, s_0, S_* \rangle$  Blocks world mit  $n$  Blöcken

## Zustandsraum Blocks world

Anfangszustand  $s_0$  und Zielzustände  $S_*$ :

Eine mögliche Definition für  $n = 3$ :

- $s_0 = \{\langle 1, 3 \rangle, \langle 2 \rangle\}$
- $S_* = \{\{\langle 3, 2, 1 \rangle\}\}$

(im allgemeinen frei wählbar)

# Blocks world: Eigenschaften

Blöcke	Zustände	Blöcke	Zustände
1	1	10	58941091
2	3	11	824073141
3	13	12	12470162233
4	73	13	202976401213
5	501	14	3535017524403
6	4051	15	65573803186921
7	37633	16	1290434218669921
8	394353	17	26846616451246353
9	4596553	18	588633468315403843

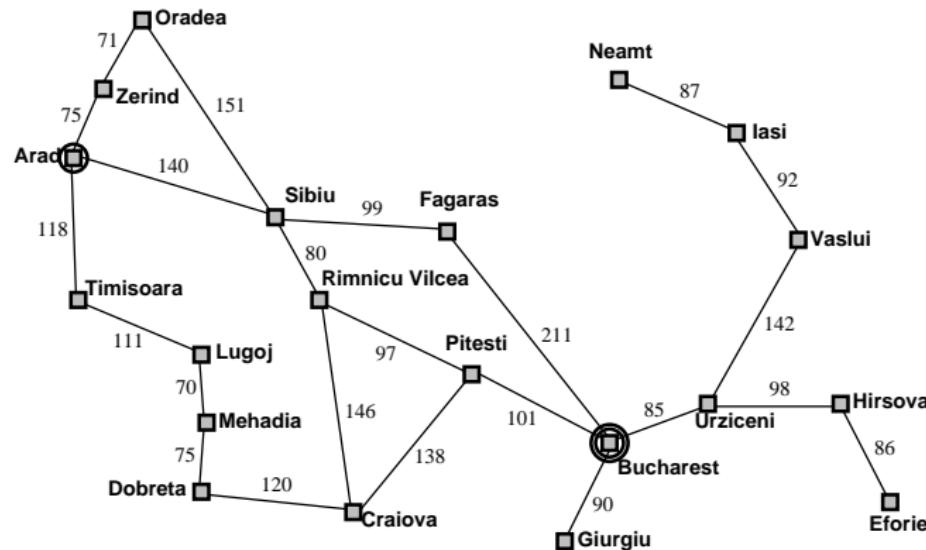
- Für jeden gegebenen Anfangs- und Zielzustand mit  $n$  Blöcken finden einfache Algorithmen **Lösungen** in  $O(n)$  Zeit. ([Wie?](#))
- Optimale Lösungen** zu finden ist **NP-vollständig** (für eine kompakte Problembeschreibung).

# Routenplanung in Rumänien

# Routenplanung in Rumänien

## Aufgabe: Routenplanung in Rumänien

Wir machen Urlaub in Rumänien und sind derzeit in Arad. Unser Rückflug startet morgen in Bukarest.



# Rumänien formal

## Zustandsraum Routenplanung in Rumänien

- Zustände  $S$ : {arad, bucharest, craiova, . . . , zerind}
- Aktionen  $A$ :  $move_{c,c'}$  für je zwei Städte  $c$  und  $c'$ , die durch einzelnen Straßenabschnitt verbunden
- Aktionskosten  $cost$ : siehe Abbildung,  
z. B.  $cost(move_{iasi,vaslui}) = 92$
- Transitionen:  $s \xrightarrow{a} s'$  genau dann, wenn  $a = move_{s,s'}$
- Anfangszustand:  $s_0 = arad$
- Zielzustände:  $S_* = \{bucharest\}$

Blocks world  
ooooo

Routenplanung in Rumänien  
ooo

Missionare und Kannibalen  
●○○

# Missionare und Kannibalen

# Missionare und Kannibalen

## Aufgabe: Missionare und Kannibalen

- sechs Personen müssen einen Fluss überqueren
- sie besitzen ein Boot, mit dem ein oder zwei Personen über den Fluss rudern können (mehr passen nicht hinein)
- drei der Personen sind Missionare, drei sind Kannibalen
- Missionare dürfen nicht mit einer Mehrheit an Kannibalen allein gelassen werden

# Missionare und Kannibalen formal

## Zustandsraum Missionare und Kannibalen

Zustände  $S$ :

Zahlentripel  $\langle m, c, b \rangle \in \{0, 1, 2, 3\} \times \{0, 1, 2, 3\} \times \{0, 1\}$ :

- Anzahl Missionare  $m$ ,
- Kannibalen  $c$  und
- Boote  $b$

am **linken** Flussufer

Anfangszustand:  $s_0 = \langle 3, 3, 1 \rangle$

Ziel:  $S_* = \{\langle 0, 0, 0 \rangle, \langle 0, 0, 1 \rangle\}$

Aktionen, Aktionskosten, Transitionen: ?