

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

Blocks world

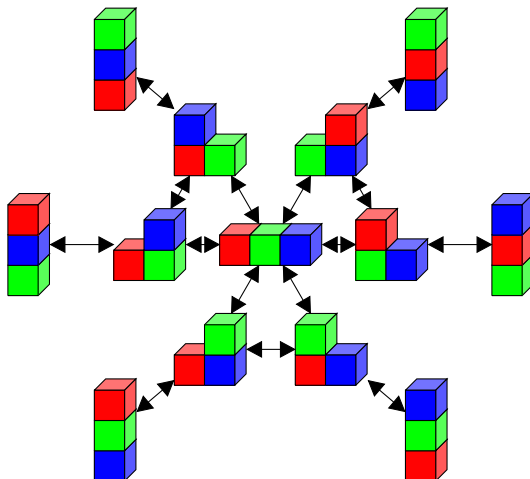
Die **Blocks world** (Klötzchenwelt) ist ein traditionelles Beispielproblem in der KI.

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 $\langle S, A, cost, T, s_0, S_* \rangle$ 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 $\langle S, A, cost, T, s_0, S_\star \rangle$ 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.
- $\{tactable_b \mid b \in \{1, \dots, n\}\}$
 - Bewege Block b auf den Tisch (\leadsto neuer Turm entsteht).
 - Muss oberster Block in einem Turm sein.

Aktionskosten $cost$:

$cost(a) = 1$ für alle Aktionen a

Blocks world: formale Definition

Zustandsraum $\langle S, A, cost, T, s_0, S_\star \rangle$ Blocks world mit n Blöcken

Zustandsraum Blocks world

Transitionen:

Beispielhaft für $a = move_{2,3}$:

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 $\langle S, A, cost, T, s_0, S_\star \rangle$ Blocks world mit n Blöcken

Zustandsraum Blocks world

Anfangszustand s_0 und Zielzustände S_\star :

Eine mögliche Definition für $n = 3$:

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

(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 |

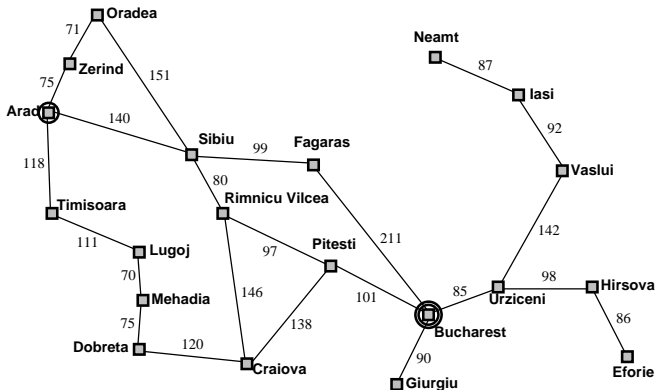
- Für jeden gegebenen Anfangs- und Zielzustand mit n Blöcken finden einfache Algorithmen **Lösungen** in $O(n)$ Zeit. (Wie?)
- **Optimale Lösungen** zu finden ist **NP-vollständig** (für eine kompakte Problembeschreibung).

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:** $S_\star = \{bucharest\}$

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

Aktionen, Aktionskosten, Transitionen: ?