

# Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

## 35. Handlungsplanung: Delete-Relaxierung

Malte Helmert

Universität Basel

8. Mai 2015

# Woher kommen Heuristiken?

# Eine einfache Planungsheuristik

STRIPS (Fikes & Nilsson, 1971) verwendete die **Anzahl noch nicht erreichter Ziele** in einer STRIPS-Planungsaufgabe als Heuristik:

$$h(s) := |G \setminus s|.$$

**Intuition:** weniger unerreichte Ziele  $\rightsquigarrow$  näher an einem Zielzustand

$\rightsquigarrow$  **STRIPS-Heuristik** (Eigenschaften?)

# Kritik an der STRIPS-Heuristik

Welche Probleme hat die STRIPS-Heuristik?

- recht **uninformativ**:  
wenn im Zustand  $s$  nicht sofort ein Ziel erreicht (oder verloren) werden kann, haben alle Nachfolger von  $s$  denselben Heuristikwert.
- ignoriert fast die gesamte **Problemstruktur**:  
Der Heuristikwert hängt überhaupt nicht von den Aktionen ab!

↪ wir brauchen eine bessere allgemeine Methode, um Heuristiken zu entwickeln

# Planungsheuristiken

Wir besprechen **drei Kernideen** für allgemeine Heuristiken:

- **Delete-Relaxierung**  $\rightsquigarrow$  dieses und nächstes Kapitel
- Abstraktion  $\rightsquigarrow$  später
- Landmarken  $\rightsquigarrow$  später

# Planungsheuristiken

Wir besprechen **drei Kernideen** für allgemeine Heuristiken:

- **Delete-Relaxierung**  $\rightsquigarrow$  dieses und nächstes Kapitel
- Abstraktion  $\rightsquigarrow$  später
- Landmarken  $\rightsquigarrow$  später

## Grundidee Delete-Relaxierung

Schätze Lösungskosten durch Betrachten einer **vereinfachten Planungsaufgabe** ab, bei der **unangenehme Aktionseffekte ignoriert** werden.

# Handlungsplanung: Überblick

## Kapitelüberblick:

- 33. Einführung
- 34. Planungsformalismen
- 35.–36. Planungsheuristiken: Delete-Relaxierung
  - 35. Delete-Relaxierung
  - 36. Delete-Relaxierungs-Heuristiken
- 37.–38. Planungsheuristiken: Abstraktion
- 39.–40. Planungsheuristiken: Landmarken

# Delete-Relaxierung



## Relaxierte Planungsaufgaben: Idee

In STRIPS-Planungsaufgaben sind gute und schlechte Effekte leicht zu unterscheiden:

- **Add-Effekte** sind immer **nützlich**.
- **Delete-Effekte** sind immer **schädlich**.

Warum?

## Relaxierte Planungsaufgaben: Idee

In STRIPS-Planungsaufgaben sind gute und schlechte Effekte leicht zu unterscheiden:

- **Add-Effekte** sind immer **nützlich**.
- **Delete-Effekte** sind immer **schädlich**.

Warum?

Idee für die Heuristik: **Ignoriere alle Delete-Effekte.**

# Relaxierte Planungsaufgaben

## Definition (Relaxierung von Aktionen)

Die **Relaxierung**  $a^+$  einer STRIPS-Aktion  $a$  ist die Aktion mit  $pre(a^+) = pre(a)$ ,  $add(a^+) = add(a)$ ,  $cost(a^+) = cost(a)$  und  $del(a^+) = \emptyset$ .

## Definition (Relaxierung von Planungsaufgaben)

Die **Relaxierung**  $\Pi^+$  einer STRIPS-Planungsaufgabe  $\Pi = \langle V, I, G, A \rangle$  ist die Planungsaufgabe  $\Pi^+ := \langle V, I, G, \{a^+ \mid a \in A\} \rangle$ .

## Definition (Relaxierung von Aktionsfolgen)

Die **Relaxierung** einer Aktionsfolge  $\pi = \langle a_1, \dots, a_n \rangle$  ist die Aktionsfolge  $\pi^+ := \langle a_1^+, \dots, a_n^+ \rangle$ .

## Relaxierte Planungsaufgaben: Terminologie

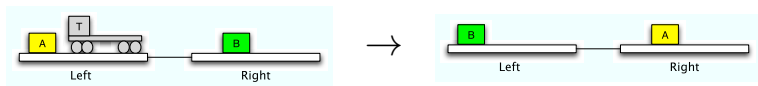
- STRIPS-Planungsaufgaben ohne Delete-Effekte heißen **relaxierte Planungsaufgaben** oder **delete-freie Planungsaufgaben**.
- Pläne für relaxierte Planungsaufgaben heißen **relaxierte Pläne**.
- Wenn  $\Pi$  eine STRIPS-Planungsaufgabe ist und  $\pi^+$  ein Plan für  $\Pi^+$  ist, dann heißt  $\pi^+$  **relaxierter Plan für  $\Pi$** .

## Relaxierte Planungsaufgaben: Terminologie

- STRIPS-Planungsaufgaben ohne Delete-Effekte heißen **relaxierte Planungsaufgaben** oder **delete-freie Planungsaufgaben**.
- Pläne für relaxierte Planungsaufgaben heißen **relaxierte Pläne**.
- Wenn  $\Pi$  eine STRIPS-Planungsaufgabe ist und  $\pi^+$  ein Plan für  $\Pi^+$  ist, dann heißt  $\pi^+$  **relaxierter Plan für  $\Pi$** .
- Mit  $h^+(\Pi)$  bezeichnen wir die Kosten eines **optimalen Plans** für  $\Pi^+$ , also eines **optimalen relaxierten Plans**.
- analog:  $h^+(s)$  Kosten für optimalen relaxierten Plan vom Zustand  $s$  aus (statt vom Anfangszustand)
- $h^+$  heißt **optimale Relaxierungsheuristik**.

# Beispiele

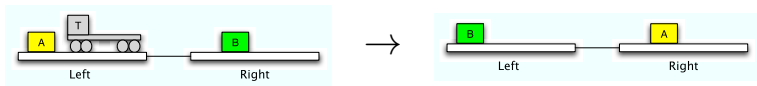
# Beispiel: Logistik



## Beispiel (Logistikproblem)

- **Variablen:**  $V = \{at_{AL}, at_{AR}, at_{BL}, at_{BR}, at_{TL}, at_{TR}, in_{AT}, in_{BT}\}$
- **Anfangszustand:**  $I = \{at_{AL}, at_{BR}, at_{TL}\}$
- **Ziele:**  $G = \{at_{AR}, at_{BL}\}$
- **Aktionen:**  $\{move_{LR}, move_{RL}, load_{AL}, load_{AR}, load_{BL}, load_{BR}, unload_{AL}, unload_{AR}, unload_{BL}, unload_{BR}\}$
- ...

# Beispiel: Logistik

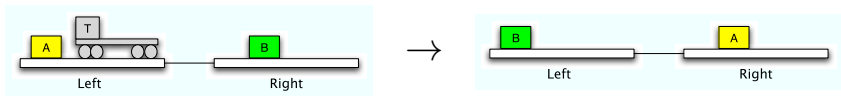


## Beispiel (Logistikproblem)

- $pre(move_{LR}) = \{at_{TL}\}$ ,  $add(move_{LR}) = \{at_{TR}\}$ ,  
 $del(move_{LR}) = \{at_{TL}\}$ ,  $cost(move_{LR}) = 1$
- $pre(load_{AL}) = \{at_{TL}, at_{AL}\}$ ,  $add(load_{AL}) = \{in_{AT}\}$ ,  
 $del(load_{AL}) = \{at_{AL}\}$ ,  $cost(load_{AL}) = 1$
- $pre(unload_{AL}) = \{at_{TL}, in_{AT}\}$ ,  $add(unload_{AL}) = \{at_{AL}\}$ ,  
 $del(unload_{AL}) = \{in_{AT}\}$ ,  $cost(unload_{AL}) = 1$
- ...



# Beispiel: Logistik



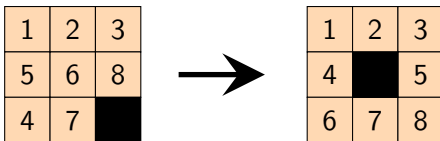
- optimaler Plan:

- ①  $load_{AL}$
- ②  $move_{LR}$
- ③  $unload_{AR}$
- ④  $load_{BR}$
- ⑤  $move_{RL}$
- ⑥  $unload_{BL}$

- optimaler relaxierter Plan: ?

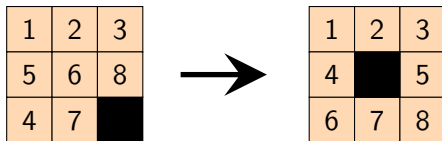
- $h^*(I) = 6, h^+(I) = ?$

# Beispiel: 8-Puzzle



- (Unvereinfachtes) Problem:
  - Eine Kachel kann von Feld A in Feld B bewegt werden, wenn A und B angrenzend sind und B frei ist.
- Vereinfachung, die der Manhattan-Distanz zugrunde liegt:
  - Eine Kachel kann von Feld A in Feld B bewegt werden, wenn A und B angrenzend sind.
- relaxiertes Problem:
  - Eine Kachel kann von Feld A in Feld B bewegt werden, wenn A und B angrenzend sind und B frei ist.
  - ... wobei Delete-Effekte ignoriert werden (insbesondere: Felder, die jemals frei waren, bleiben frei)

## Beispiel: 8-Puzzle



- tatsächlicher Zielabstand:  $h^*(s) = 8$
- Manhattan-Distanz:  $h^{\text{MD}}(s) = 6$
- optimale Delete-Relaxierung:  $h^+(s) = 7$

allgemein:

$h^+$  **dominiert** Manhattan-Distanz für das Schiebe-Puzzle  
(d. h.  $h^{\text{MD}}(s) \leq h^+(s) \leq h^*(s)$  für alle Zustände  $s$ )

## Relaxierte Lösungen: suboptimal oder optimal?

- Für allgemeine STRIPS-Planungsaufgaben ist  $h^+$  eine **zulässige und konsistente Heuristik**.

## Relaxierte Lösungen: suboptimal oder optimal?

- Für allgemeine STRIPS-Planungsaufgaben ist  $h^+$  eine **zulässige und konsistente Heuristik**.
- Wie berechnen wir  $h^+$  effizient?
  - Es ist **einfach**, delete-freie Planungsaufgaben **suboptimal** zu lösen. (**Wie?**)
  - Optimale Lösung (und damit Berechnung von  $h^+$ ) ist aber **NP-hart** (einfache Reduktion von SET COVER).
- Praktische Heuristiken nähern  $h^+$  von unten oder oben an.

# Zusammenfassung

# Zusammenfassung

## Delete-Relaxierung:

- ignoriere **negative Effekte** (Delete-Effekte) von Aktionen
- verwende **Lösungskosten für die relaxierte Planungsaufgabe** als **Heuristik** für Lösungskosten der eigentlichen Planungsaufgabe
- optimale relaxierte Lösungskosten  $h^+$  NP-hart zu berechnen, daher normalerweise **Approximation** von oben oder unten