Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

32. Handlungsplanung: Delete-Relaxierung

Malte Helmert

Universität Basel

9. Mai 2014

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 nicht sofort ein Ziel erreicht werden kann, haben alle Nachfolger denselben Heuristikwert.
- ignoriert fast die gesamte Problemstruktur:
  Der Heuristikwert hängt überhaupt nicht von den Aktionen ab!

$\rightsquigarrow$ wir brauchen einen bessere allgemeine Methode, um Heuristiken zu entwickeln

Planungsheuristiken

Wir besprechen drei Kernideen für allgemeine Heuristiken:

- Delete-Relaxierung $\rightsquigarrow$ heute
- Abstraktion
- Landmarken

Planungsheuristiken

Wir besprechen drei Kernideen für allgemeine Heuristiken:

- Delete-Relaxierung $\rightsquigarrow$ heute
- Abstraktion
- Landmarken

Grundidee Delete-Relaxierung

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

Handlungsplanung: Überblick

Kapitelüberblick:

- 30. Einführung
- 31. Planungsformalismen
- 32.–33. Planungsheuristiken: Delete-Relaxierung
  - 32. Delete-Relaxierung
  - 33. Delete-Relaxierungs-Heuristiken
- 34.–35. Planungsheuristiken: Abstraktion
- 36.–37. 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 Π^+ 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 $\pi = a_1 \ldots a_n$ ist die Aktionsfolge $\pi^+ := a_1^+ \ldots a_n^+$.

Relaxierte Planungsaufgaben: Terminologie

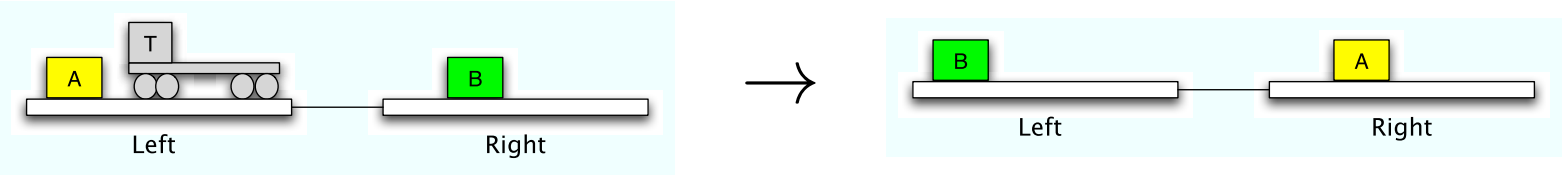
- STRIPS-Planungsaufgaben ohne Delete-Effekte heissen relaxierte Planungsaufgaben oder delete-freie Planungsaufgaben.
- Pläne für relaxierte Planungsaufgaben heissen relaxierte Pläne.
- Wenn Π eine STRIPS-Planungsaufgabe ist und π^+ ein Plan für Π^+ ist, dann heisst π^+ relaxierter Plan für Π.

Relaxierte Planungsaufgaben: Terminologie

- STRIPS-Planungsaufgaben ohne Delete-Effekte heissen relaxierte Planungsaufgaben oder delete-freie Planungsaufgaben.
- Pläne für relaxierte Planungsaufgaben heissen relaxierte Pläne.
- Wenn Π eine STRIPS-Planungsaufgabe ist und π^+ ein Plan für Π^+ ist, dann heisst π^+ relaxierter Plan für Π.
- Mit $h^+(\Pi)$ bezeichnen wir die Kosten eines optimalen Plans für Π^+, also eines optimalen relaxierten Plans.
- analog: $h^+(s)$ Kosten für optimalen relaxierten Plan für modifiziertes Problem mit Anfangszustand s statt I
- h^+ heisst optimale Relaxierungsheuristik.

Beispiele

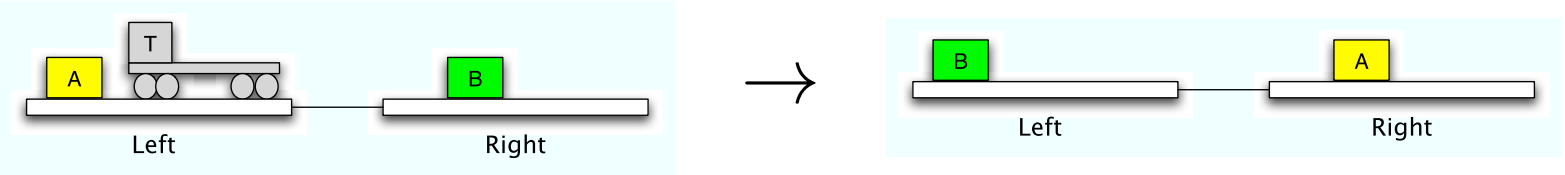
Beispiel: Logistik



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: $\{move_{LR}, move_{RL}, load_{AL}, load_{AR}, load_{BL}, load_{BR}, unload_{AL}, unload_{AR}, unload_{BL}, unload_{BR}\}$
- ...

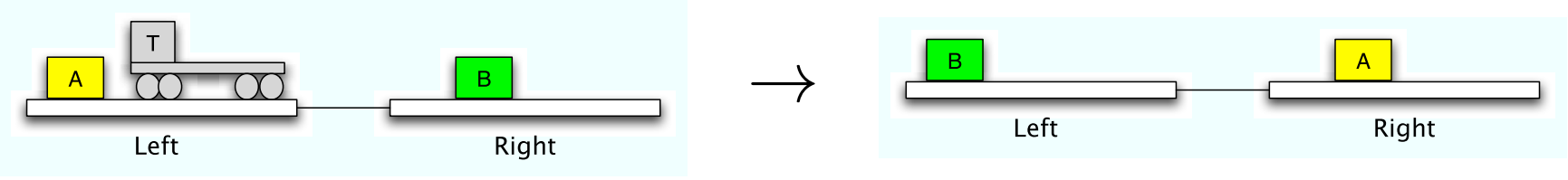
Beispiel: Logistik



Beispiel (Logistikproblem)

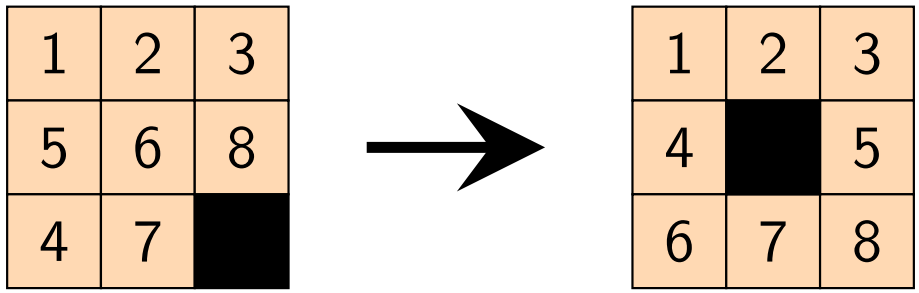
- $pre(move_{LR}) = \{at_{TL}\}$, $add(move_{LR}) = \{at_{TR}\}$, $del(move_{LR}) = \{at_{TL}\}$, $cost(move_{LR}) = 1$
- $pre(load_{AL}) = \{at_{TL}, at_{AL}\}$, $add(load_{AL}) = \{in_{AT}\}$, $del(load_{AL}) = \{at_{AL}\}$, $cost(load_{AL}) = 1$
- $pre(unload_{AL}) = \{at_{TL}, in_{AT}\}$, $add(unload_{AL})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

Beispiel: Logistik



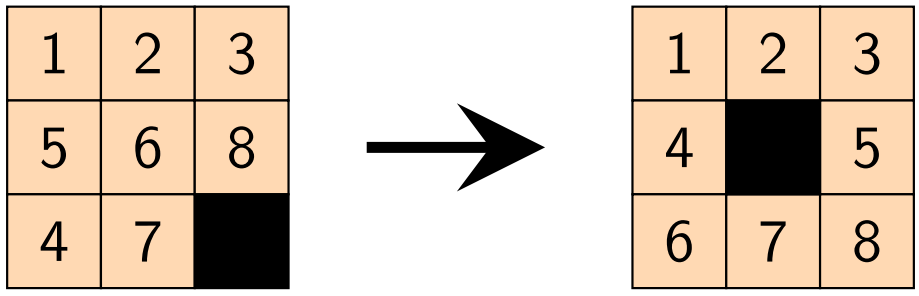
- optimaler Plan:
  1. $load_{AL}$
  2. $move_{LR}$
  3. $unload_{AR}$
  4. $load_{BR}$
  5. $move_{RL}$
  6. $unload_{BL}$
- optimaler relaxierter Plan: ?
- $h^*(I) = 6$, $h^+(I) = ?$

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: $h^{\mathrm{MD}}(s) = 6$
- optimale Delete-Relaxierung: $h^+(s) = 7$

allgemein:
h^+ dominiert Manhattan-Distanz für das Schiebe-Puzzle
(d. h. $h^{\mathrm{MD}}(s) \leq h^+(s) \leq h^*(s)$ 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