

Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

37. Handlungsplanung: Landmarken-Heuristiken

Malte Helmert

Universität Basel

19. Mai 2014

Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

19. Mai 2014 — 37. Handlungsplanung: Landmarken-Heuristiken

37.1 Finden von Landmarken

37.2 Die LM-Cut-Heuristik

37.3 Zusammenfassung

Handlungsplanung: Überblick

Kapitelüberblick:

- ▶ 30. Einführung
- ▶ 31. Planungsformalismen
- ▶ 32.–33. Planungsheuristiken: Delete-Relaxierung
- ▶ 34.–35. Planungsheuristiken: Abstraktion
- ▶ 36.–37. Planungsheuristiken: Landmarken
 - ▶ 36. Landmarken
 - ▶ 37. Landmarken-Heuristiken

Formalismus und Beispiel

- ▶ Wie im Vorkapitel arbeiten wir mit delete-freien Planungsaufgaben in Normalform.
- ▶ Wir setzen das Beispiel aus dem Vorkapitel fort:

Beispiel

Aktionen:

- ▶ $a_1 = \langle i \rightarrow x, y \rangle_3$
- ▶ $a_2 = \langle i \rightarrow x, z \rangle_4$
- ▶ $a_3 = \langle i \rightarrow y, z \rangle_5$
- ▶ $a_4 = \langle x, y, z \rightarrow g \rangle_0$

Beispiele für Landmarken:

- ▶ $A = \{a_4\}$ (Kosten 0)
- ▶ $B = \{a_1, a_2\}$ (Kosten 3)
- ▶ $C = \{a_1, a_3\}$ (Kosten 3)
- ▶ $D = \{a_2, a_3\}$ (Kosten 4)

37.1 Finden von Landmarken

Rechtfertigungsgraphen

Definition (Vorbedingungsauswahlfunktion)

Eine **Vorbedingungsauswahlfunktion** (precondition choice function, **pcf**) $P : A \rightarrow V$ bildet jede Aktion auf eine ihrer Vorbedingungen ab.

Definition (Rechtfertigungsgraph)

Der **Rechtfertigungsgraph** für pcf P ist ein gerichteter Graph mit beschrifteten Kanten.

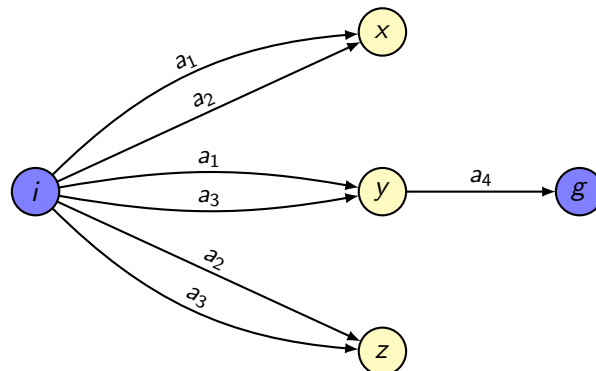
- **Knoten**: die Variablen V
- **Kanten**: $P(a) \xrightarrow{a} e$ für jede Aktion a , jeden Effekt $e \in add(a)$

Beispiel: Rechtfertigungsgraph

Beispiel

pcf P : $P(a_1) = P(a_2) = P(a_3) = i$, $P(a_4) = y$

$a_1 = \langle i \rightarrow x, y \rangle_3$
 $a_2 = \langle i \rightarrow x, z \rangle_4$
 $a_3 = \langle i \rightarrow y, z \rangle_5$
 $a_4 = \langle x, y, z \rightarrow g \rangle_0$



Schnitte

Definition (Schnitt)

Ein **Schnitt** in einem Rechtfertigungsgraphen ist eine Teilmenge C seiner Kanten, so dass alle Pfade von i zu g eine Kante in C verwenden.

Satz (Schnitte entsprechen Landmarken)

Sei C ein Schnitt eines Rechtfertigungsgraphen für eine beliebige pcf.

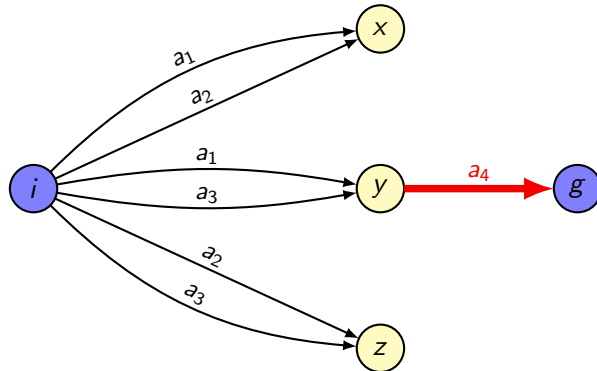
Dann bilden die Kantenbeschriftungen für C eine Landmarke.

Beispiel: Schnitte in Rechtfertigungsgraphen

Beispiel

Landmarke $A = \{a_4\}$ (Kosten 0)

- $a_1 = \langle i \rightarrow x, y \rangle_3$
 $a_2 = \langle i \rightarrow x, z \rangle_4$
 $a_3 = \langle i \rightarrow y, z \rangle_5$
 $a_4 = \langle x, y, z \rightarrow g \rangle_0$

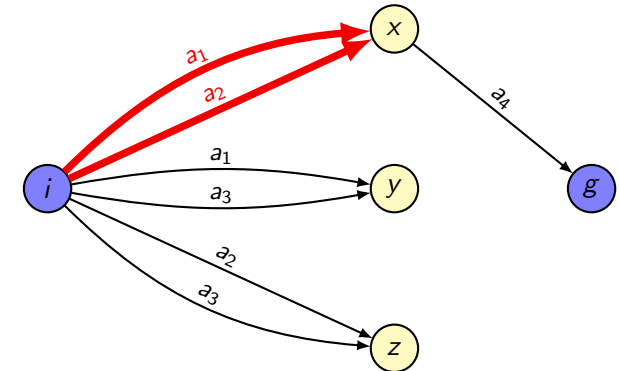


Beispiel: Schnitte in Rechtfertigungsgraphen

Beispiel

Landmarke $B = \{a_1, a_2\}$ (Kosten 3)

- $a_1 = \langle i \rightarrow x, y \rangle_3$
 $a_2 = \langle i \rightarrow x, z \rangle_4$
 $a_3 = \langle i \rightarrow y, z \rangle_5$
 $a_4 = \langle x, y, z \rightarrow g \rangle_0$

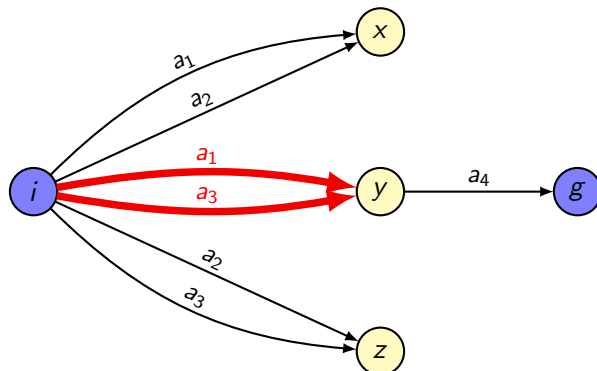


Beispiel: Schnitte in Rechtfertigungsgraphen

Beispiel

Landmarke $C = \{a_1, a_3\}$ (Kosten 3)

- $a_1 = \langle i \rightarrow x, y \rangle_3$
 $a_2 = \langle i \rightarrow x, z \rangle_4$
 $a_3 = \langle i \rightarrow y, z \rangle_5$
 $a_4 = \langle x, y, z \rightarrow g \rangle_0$

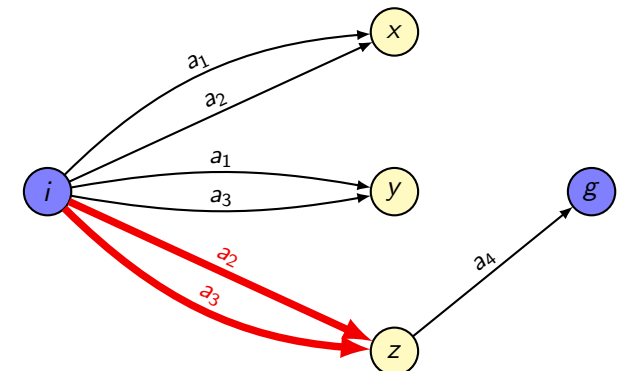


Beispiel: Schnitte in Rechtfertigungsgraphen

Beispiel

Landmarke $D = \{a_2, a_3\}$ (Kosten 4)

- $a_1 = \langle i \rightarrow x, y \rangle_3$
 $a_2 = \langle i \rightarrow x, z \rangle_4$
 $a_3 = \langle i \rightarrow y, z \rangle_5$
 $a_4 = \langle x, y, z \rightarrow g \rangle_0$



Mächtigkeit von Schnitten in Rechtfertigungsgraphen

- ▶ Welche Landmarken können mit der Schnitt-Methode berechnet werden?
- ▶ **alle interessanten!**

Satz (perfekte Hitting-Set-Heuristiken)

Sei $\mathcal{L}$ die Menge aller „Schnitt-Landmarken“.

Dann gilt für diese Landmarkenmenge: $h^{\text{MHS}}(I) = h^+(I)$.

↪ Hitting-Set-Heuristik für $\mathcal{L}$ ist **perfekt**.

Beweisidee:

- ▶ Zeige, dass jedem Hitting-Set H für $\mathcal{L}$ ein Plan entspricht.
- ▶ Angenommen, so einem Hitting-Set entspricht kein Plan.
- ▶ Dann konstruieren wir eine pcf und einen Schnitt, so dass H die Landmarke zu diesem Schnitt nicht trifft.
- ▶ Widerspruch!

37.2 Die LM-Cut-Heuristik

LM-Cut-Heuristik: Motivation

- ▶ Im Allgemeinen gibt es exponentiell viele pcfs, so dass wir nicht alle relevanten Landmarken berechnen können.
- ▶ Die **LM-Cut-Heuristik** ist eine Methode, die **zielgerichtet** pcfs wählt und Schnitte berechnet.
- ▶ Eine Kostenpartitionierung wird „nebenbei“ berechnet und ist im Allgemeinen nicht optimal.
- ▶ Dafür kann sie sehr effizient bestimmt werden und ist zumindest für Planungsaufgaben mit uniformen Kosten ($\text{cost}(a) = 1$ für alle Aktionen) optimal.

↪ aktuell beste zulässige Planungsheuristik

Die LM-Cut-Heuristik

$h^{\text{LM-cut}}$: Helmert & Domshlak (2009)

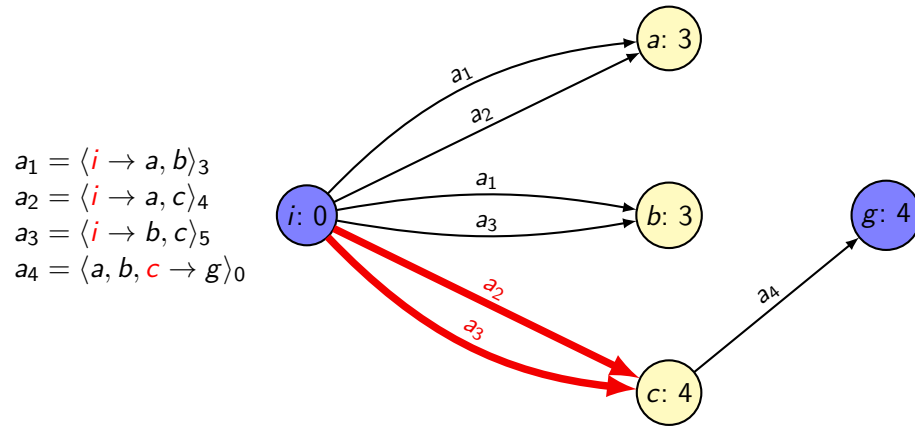
Initialisiere $h^{\text{LM-cut}}(I) := 0$. Dann iteriere:

- 1 Berechne **h^{max} -Werte** der Variablen. Aufhören, wenn $h^{\text{max}}(g) = 0$.
- 2 Sei P eine pcf, die Vorbedingungen mit **maximalem h^{max} -Wert** auswählt.
- 3 Berechne den Rechtfertigungsgraphen für P .
- 4 Berechne einen Schnitt, der **$\text{cost}(L) > 0$** für die zugehörige Landmarke L garantiert.
- 5 Erhöhe **$h^{\text{LM-cut}}(I)$** um $\text{cost}(L)$.
- 6 Reduziere **$\text{cost}(a)$** für alle $a \in L$ um $\text{cost}(L)$.

Beispiel: Berechnung von LM-Cut

Beispiel

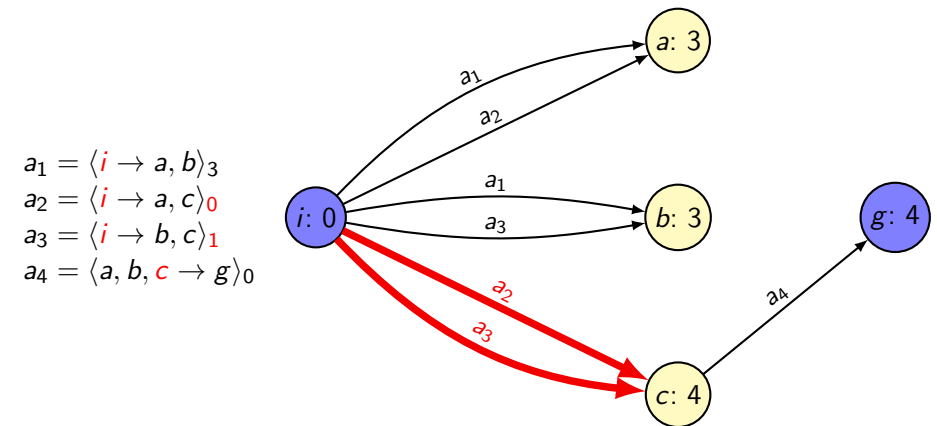
Runde 1: $P(a_4) = a \rightsquigarrow L = \{a_2, a_3\} [4]$



Beispiel: Berechnung von LM-Cut

Beispiel

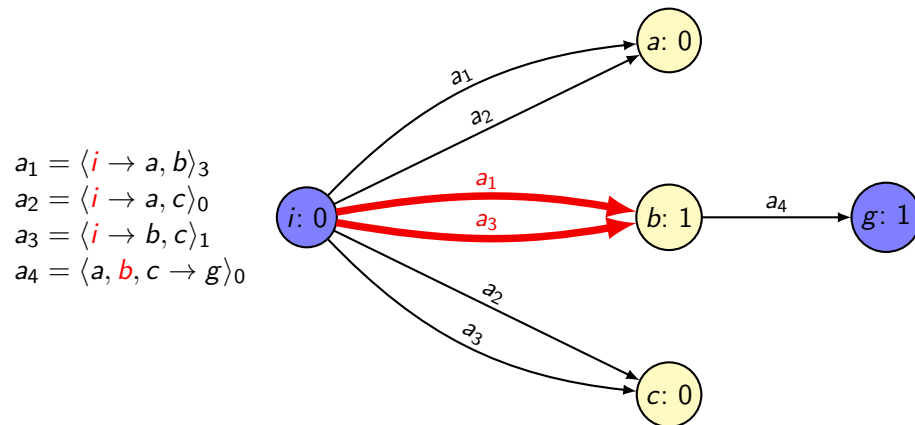
Runde 1: $P(a_4) = a \rightsquigarrow L = \{a_2, a_3\} [4] \rightsquigarrow h^{LM-cut}(I) := 4$



Beispiel: Berechnung von LM-Cut

Beispiel

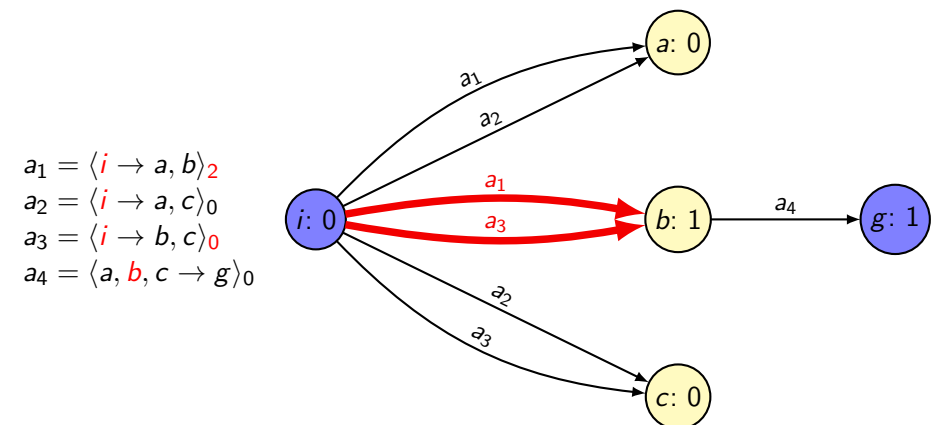
Runde 2: $P(a_4) = b \rightsquigarrow L = \{a_1, a_3\} [1]$



Beispiel: Berechnung von LM-Cut

Beispiel

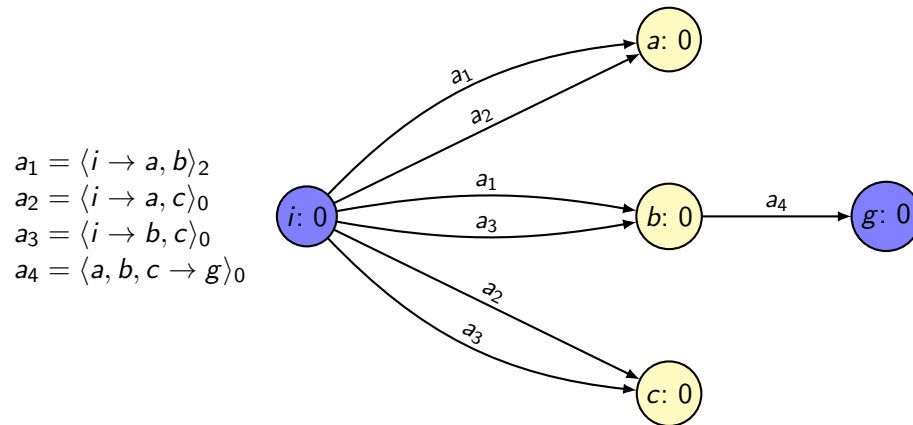
Runde 2: $P(a_4) = b \rightsquigarrow L = \{a_1, a_3\} [1] \rightsquigarrow h^{LM-cut}(I) := 4 + 1 = 5$



Beispiel: Berechnung von LM-Cut

Beispiel

Runde 3: $h^{\max}(g) = 0 \rightsquigarrow$ fertig! $\rightsquigarrow h^{\text{LM-cut}}(I) = 5$



37.3 Zusammenfassung

Zusammenfassung

- ▶ **Schnitte** in **Rechtfertigungsgraphen** sind eine sehr allgemeine Methode zum Finden von Landmarken
- ▶ Hitting-Sets über **alle Schnitt-Landmarken** führen zu einer **perfekten Heuristik** für delete-freie Planungsaufgaben
- ▶ Die **LM-Cut-Heuristik** ist eine praktische zulässige Heuristik auf Grundlage dieser Ideen.