Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

37. Handlungsplanung: Landmarken-Heuristiken

Malte Helmert

Universität Basel

19. Mai 2014

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:

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

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)

Finden von Landmarken

Rechtfertigungsgraphen

Definition (Vorbedingungsauswahlfunktion)

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

Definition (Rechtfertigungsgraph)

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

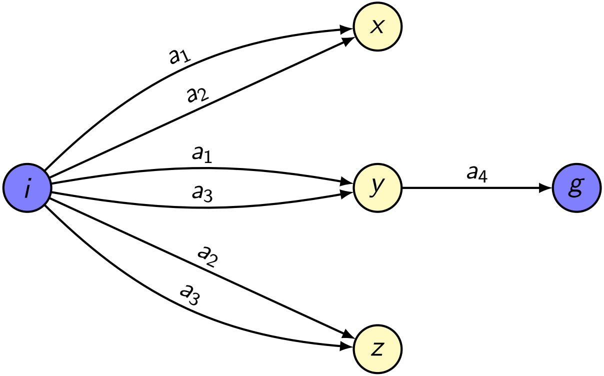
- Knoten: die Variablen V
- Kanten: $P(a) \xrightarrow{a} e$ für jede Aktion a, jeden Effekt $e \in add(a)$

Beispiel: Rechtfertigungsgraph

Beispiel

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

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



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.

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.

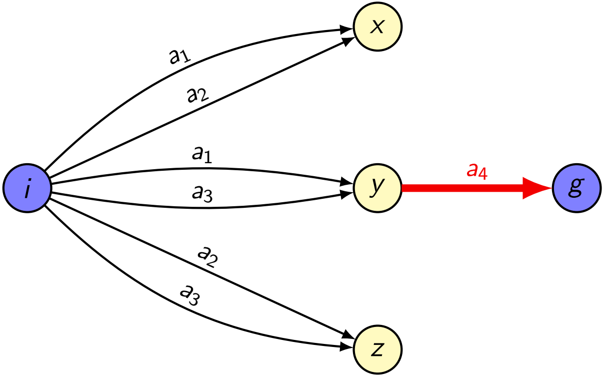
Dann bilden die Kantenbeschriftungen für C eine Landmarke.

Beispiel: Schnitte in Rechtfertigungsgraphen

Beispiel

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

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

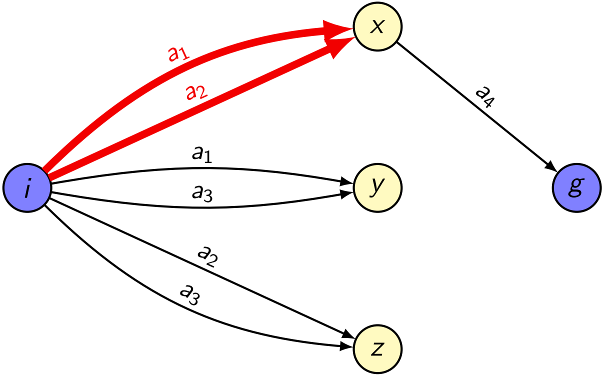


Beispiel: Schnitte in Rechtfertigungsgraphen

Beispiel

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

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

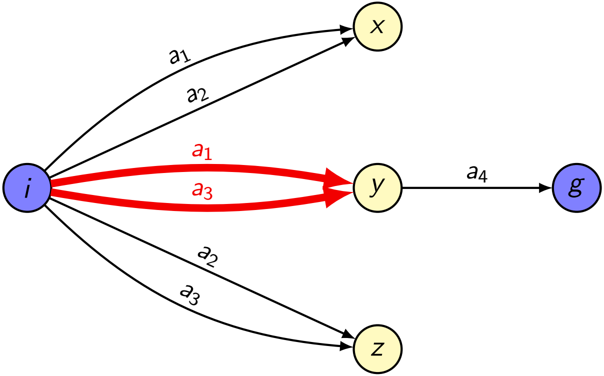


Beispiel: Schnitte in Rechtfertigungsgraphen

Beispiel

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

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

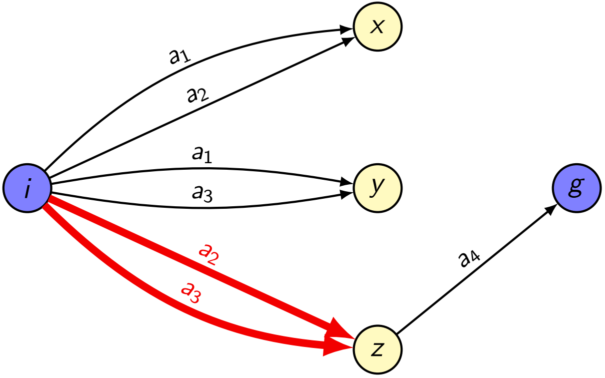


Beispiel: Schnitte in Rechtfertigungsgraphen

Beispiel

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

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



Mächtigkeit von Schnitten in Rechtfertigungsgraphen

- Welche Landmarken können mit der Schnitt-Methode berechnet werden?

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: $h^{\mathrm{MHS}}(I) = h^{+}(I)$.

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

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: $h^{\mathrm{MHS}}(I) = h^{+}(I)$.

$\rightsquigarrow$ 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!

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 ($cost(a) = 1$ für alle Aktionen) optimal.

$\rightsquigarrow$ aktuell beste zulässige Planungsheuristik

Die LM-Cut-Heuristik

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

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

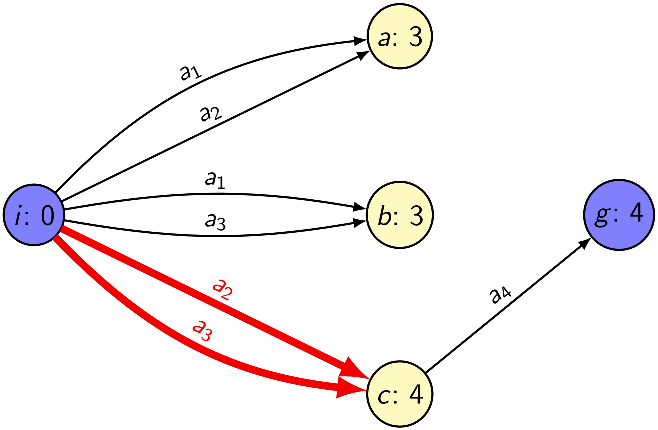
1. Berechne $h^{\max}$-Werte der Variablen.
   Aufhören, wenn $h^{\max}(g) = 0$.
2. Sei P eine pcf, die Vorbedingungen
   mit maximalem $h^{\max}$-Wert auswählt.
3. Berechne den Rechtfertigungsgraphen für P.
4. Berechne einen Schnitt, der $cost(L) > 0$
   für die zugehörige Landmarke L garantiert.
5.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

Beispiel: Berechnung von LM-Cut

Beispiel

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

$a_1 = \langle i \to a, b\rangle_3$
$a_2 = \langle i \to a, c\rangle_4$
$a_3 = \langle i \to b, c\rangle_5$
$a_4 = \langle a, b, c \to g\rangle_0$

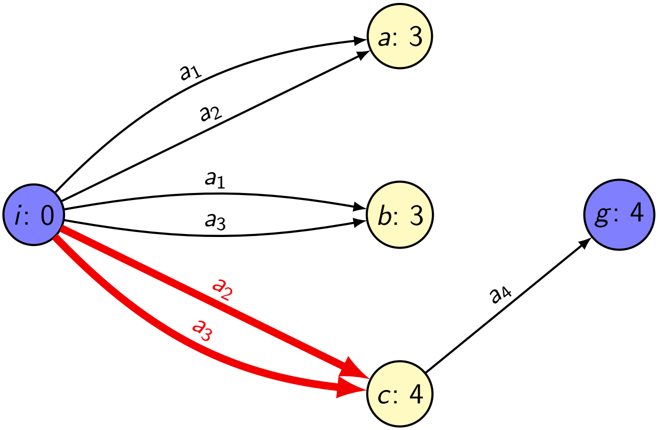


Beispiel: Berechnung von LM-Cut

Beispiel

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

$a_1 = \langle i \to a, b \rangle_3$
$a_2 = \langle i \to a, c \rangle_0$
$a_3 = \langle i \to b, c \rangle_1$
$a_4 = \langle a, b, c \to g \rangle_0$

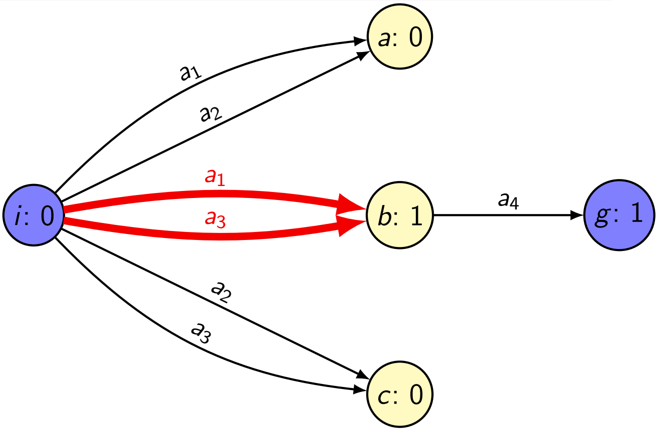


Beispiel: Berechnung von LM-Cut

Beispiel

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

$a_1 = \langle i \to a, b \rangle_3$
$a_2 = \langle i \to a, c \rangle_0$
$a_3 = \langle i \to b, c \rangle_1$
$a_4 = \langle a, b, c \to g \rangle_0$

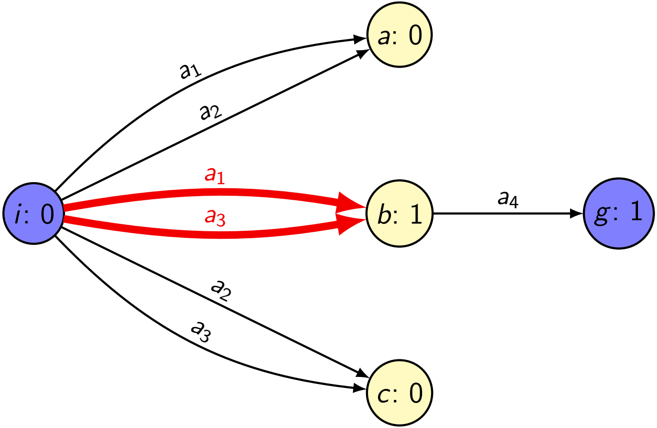


Beispiel: Berechnung von LM-Cut

Beispiel

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

$a_1 = \langle i \to a, b\rangle_2$
$a_2 = \langle i \to a, c\rangle_0$
$a_3 = \langle i \to b, c\rangle_0$
$a_4 = \langle a, b, c \to g\rangle_0$

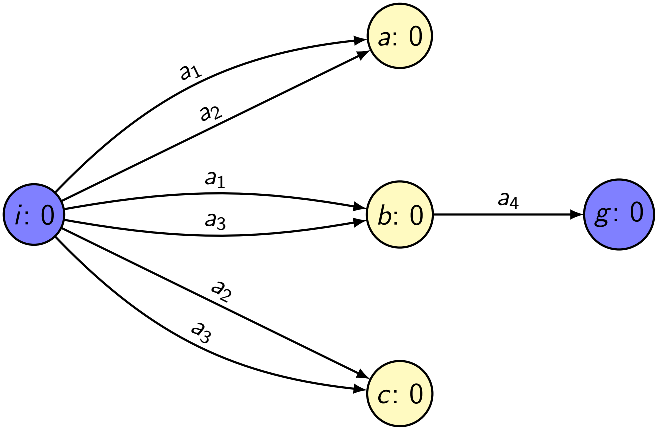


Beispiel: Berechnung von LM-Cut

Beispiel

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

$a_1 = \langle i \to a, b \rangle_2$
$a_2 = \langle i \to a, c \rangle_0$
$a_3 = \langle i \to b, c \rangle_0$
$a_4 = \langle a, b, c \to g \rangle_0$



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.