

Kapitel 3: Constraints

Teil 2

(Dieser Foliensatz basiert teilweise auf Material von Mirjam Minor, Humboldt-Universität Berlin, WS 2000/01)

Nachtrag 1/2 zu Folie 11 von Teil 1

Backtracking-Suche

Die Zustandsübergangoperatoren sind kommutativ, d.h. es macht keinen Unterschied, ob wir zuerst $x \leftarrow v$ zuweisen und dann $y \leftarrow w$ oder umgekehrt.

Daher beschränken wir uns bei jeder Verzweigung im Suchbaum auf die verschiedenen Belegungen von nur einer Variablen.

Sind alle Belegungen dieser Variablen unerfüllbar, gehen wir eine Ebene im Suchbaum zurück → Backtracking.

Nachtrag 2/2 zu Folie 11 von Teil 1

Weitere Heuristiken

Heuristik der maximal eingeschränkten Variablen: Bevorzuge die Variable mit dem größten noch möglichen Wertebereich. Kann der H. des minimalen Konflikts vorgeschaltet werden.

Heuristik der minimalen Breitenordnung: Wähle in dem noch verbleibenden Constraint-Graphen die Ecke mit dem höchsten Ecken-grad. Kann bspw. an die anderen Heuristiken angeschlossen werden.

Constraint-Propagierung

Idee: Constraints propagieren und so sukzessive die Wertebereiche der Variablen einschränken (und damit den Suchraum verkleinern).

Kann als vorbereitender Schritt vor der Suche eingesetzt werden oder nach jedem Suchschritt durchgeführt werden.

Bsp. an Tafel

Das Constraintnetz $\mathcal{C} = \{C_1, C_2, C_3\}$ sei wie folgt gegeben:

$V = \{x, y, z, w\}$, $Dom(x) = Dom(y) = Dom(z) = Dom(w) = \{1, 2, 3, 4\}$

$C_1 = \{[x, y] : x > y\}$ über $V_1 = \{x, y\}$

$C_2 = \{[y, z] : y > z\}$ über $V_2 = \{y, z\}$

$C_3 = \{[z, w] : z > w\}$ über $V_3 = \{z, w\}$

– Was passiert bei Tiefensuche?

Konsistenz von Problemen

Wir betrachten nur zweistellige CSPs, da sich alle anderen darauf zurückführen lassen.

Eine Variable a heisst *konsistent*, wenn jede ihrer Belegungen alle einstelligen Constraints der Form $c(x)$ löst. Ein CSP heisst *knoten-konsistent* (oder *1-konsistent*), wenn jede Variable konsistent ist.

Ein zweistelliges Constraint $c(x, y)$ heisst konsistent, wenn sich jede Belegung $\{x \leftarrow v\}$ zu $\{x \leftarrow v, y \leftarrow w\}$ ohne Verstoß gegen $C(x, y)$ erweitern lässt. Ein CSP heisst *kantenkonsistent* (oder *lokal konsistent*), wenn es knotenkonsistent ist und wenn jedes zweistellige Constraint konsistent ist.

Constraint-Propagierung

Ziel der Propagierung: Konstruktion eines kleineren kantenkonsistenten CSPs durch Streichung von Werten aus den Wertebereichen.

Ist ein Constraint $c(x, y)$ nicht konsistent, gibt es (nach Def.) eine Belegung $\{x \leftarrow v\}$, die sich durch kein w zu $\{x \leftarrow v, y \leftarrow w\}$ ohne Verstoß gegen $C(x, y)$ erweitern lässt. v kann dann aus dem Wertebereich von x gestrichen werden.

(Passiert dies innerhalb eines Suchbaums, muss ggf. beim Backtracking das Streichen rückgängig gemacht werden.)

→ Tafelbeispiel

Ergebnis der Constraint-Propagierung

Gelingt es nicht, ein kantenkonsistentes CSP zu erzeugen, ist das ursprüngliche Problem unlösbar.

Gelingt es, so folgt nicht notwendigerweise, dass das Problem lösbar ist. Aber zumindest ist der Suchraum verringert worden.

Kantenkonsistenz-Algorithmus AC-3

Erzeugt ein CSP mit möglicherweise reduzierten Wertebereichen:

Eingabe: *csp*, ein binäres CSP mit Variablen $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$

Lokale Var.: *queue*, eine Schlange mit Kanten; enthält anfangs alle Kanten von *csp*

While *queue* nicht leer do

$(x_i, x_j) \leftarrow \text{Remove-first}(\textit{queue})$

 if $\text{Remove-inconsistent-values}(x_i, x_j)$ then

 for each x_k in $\text{Neighbors}(x_i)$ do

 füge (x_k, x_i) zur *queue* hinzu.

function $\text{Remove-inconsistent-values}(x_i, x_j)$ returns *true* bei Entfernung eines Wertes

removed \leftarrow *false*

 for each v in $\text{dom}(x_i)$ do

 wenn für kein $w \in \text{dom}(x_j)$ das Paar (v, w) das Constraint zwischen x_i und x_j erfüllt

 dann lösche v aus $\text{dom}(x_i)$; *removed* \leftarrow *true*

 return *removed*

Bildverstehen als Constraint-Problem

Aufgabe: Zweidimensionales Abbild (Linienzeichnung) eines ebenflächig begrenzten dreidimensionalen Körpers (Polyeder) interpretieren.

Voraussetzungen an Zeichnung:

- keine Schatten oder Bruchlinien
- verdeckte Kanten sind nicht sichtbar
- alle Eckpunkte sind Schnittpunkte genau drei aufeinandertreffender Flächen
- "Allgemeiner Beobachtungstandpunkt": bei geringen Ortsveränderungen darf kein Schnittpunkt seinen Typ wechseln

Vom Objekt bis zur internen Repräsentation sind in der Praxis mehrere Schritte nötig: Objekt \rightarrow Bild \rightarrow Pixel \rightarrow Kontrastbereiche \rightarrow Kanten \rightarrow interne Repräsentation

Zweck:

- Existiert eine physikalisch mögliche Interpretation ?
- zulässige Interpretation finden
- Objekte identifizieren (insbes. Aussenkanten)

Voraussetzungen sind in Praxis nicht immer erfüllt (z.B.: Spitze Cheops-Pyramide, Würfel frontal gesehen)

Mögliche Linientypen

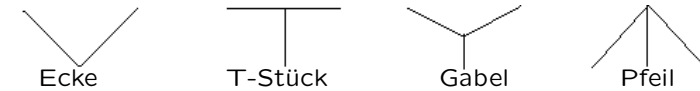
Begrenzungslinien: Linien, bei denen eine der angrenzenden Flächen verdeckt ist – die äußeren Kanten des Objekts. Kennzeichnung mit einem Pfeil „ \rightarrow “. Die Pfeile der Begrenzungslinien sind so gerichtet, daß die Körperfläche immer rechts liegt.

Innenlinien: Kanten im Inneren des Objekts

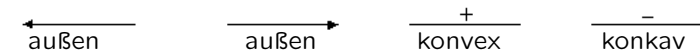
- **Konkave Linien:** Beide Begrenzungsflächen schließen den Beobachtungsstandpunkt ein. Ein Beispiel wäre der Blick in ein geöffnetes Buch. Kennzeichnung mit einem „ $-$ “.
- **Konvexe Linien:** Beide Grenzflächen sind vom Beobachter abgewandt, wie bei einem Würfel. Kennzeichnung mit einem „ $+$ “.

Arten von Schnittpunkten und ihre Beschriftung

4 Typen von Schnittpunkten (aufgrund der Voraussetzungen)

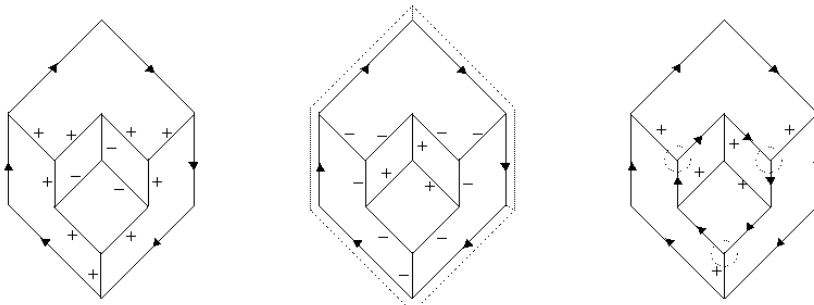


3 Typen von Linien



Es gibt für jede Kante jedes Knotens vier mögliche Beschriftungen. Insgesamt also $4^2 + 4^3 + 4^3 + 4^3 = 208$ Möglichkeiten.

Beispiele zur Beschriftung

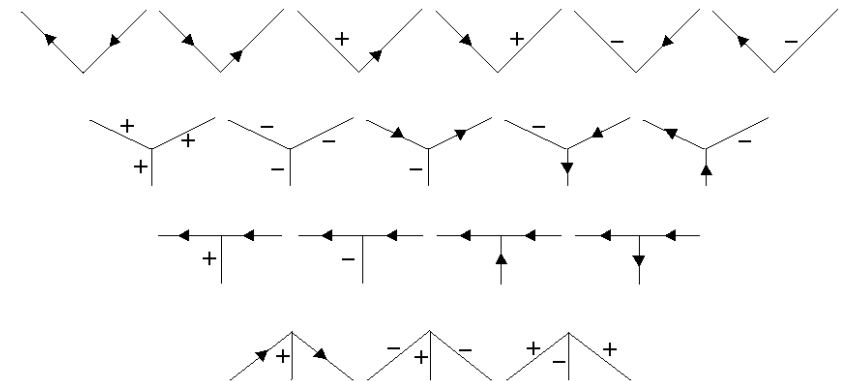


Großer Würfel mit herausgeschnittenem kleinen Würfel

Kleiner Würfel in einer Ecke (hier fehlt eigentlich der umgebende Körper)

Großer Würfel mit herausstehendem kleinen Würfel (hier treffen sich in einigen Schnittpunkten mehr als 3 Flächen)

Die 18 physikalisch möglich Beschriftungen



Literatur

G. Görz (Hrsg.): Handbuch der KI

Suche: H. Kaindl: Problemlösen durch heuristische Suche in der AI

Constraints allgemein: E. Rich, C. Knight: Artificial Intelligence

Interpretation von Zeichnungen: P.H. Winston: Künstliche Intelligenz