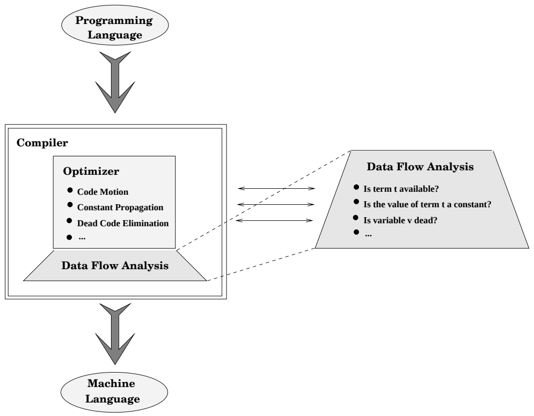
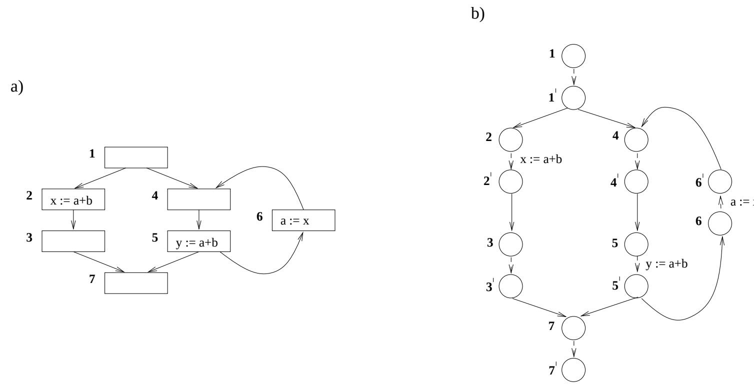
Erinnerung und Motivation (1)



Erinnerung und Motivation (2)

Knoten- vs. kantenbenannte Flussgraphen
(hier mit Einzelinstruktionsbenennung)



Erinnerung und Motivation (3)

Wir unterscheiden...

- Intraprozedurale
- Interprozedurale
- Parallele
- Konditionale
- ...

Datenflussanalyse.

Erinnerung und Motivation (4)

Ingredienzien *intraprozeduraler* Datenflussanalyse:

- *(Lokale) abstrakte Semantik*
  1. Ein *Datenflussanalyseverband* $\widehat{\mathcal{C}} = (\mathcal{C}, \sqcap, \sqcup, \sqsubseteq, \perp, \top)$
  2. Ein *Datenflussanalysefunktional* $[\![\ ]\!] : E \to (\mathcal{C} \to \mathcal{C})$
  3. Anfangszusicherung $c_{\mathbf{s}} \in \mathcal{C}$
- *Globalisierungsstrategien*
  1. "Meet over all Paths"-Ansatz (MOP)
  2. Maximaler Fixpunktansatz (MaxFP)
- *Generischer Fixpunktalgorithmus*

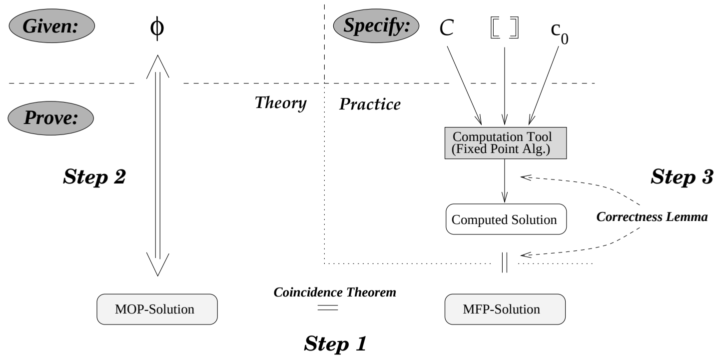
Erinnerung und Motivation (5)

Hauptresultate:

- *Effektivitäts-* (*Terminierungs-*) Theorem
- *Sicherheits-* (*Korrektheits-*) Theorem
- *Koinzidenz-* (*Vollständigkeits-*) Theorem

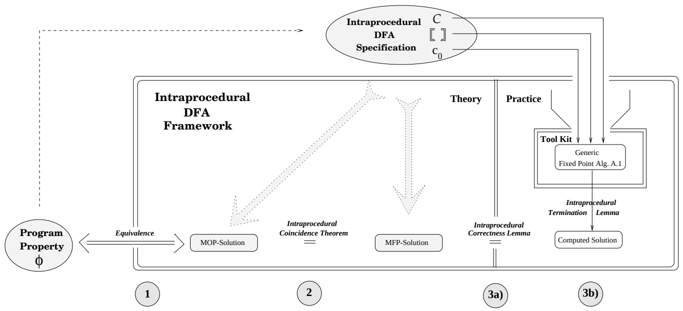
Intraprozedurale Datenflussanalyse (1)

...im Überblick:



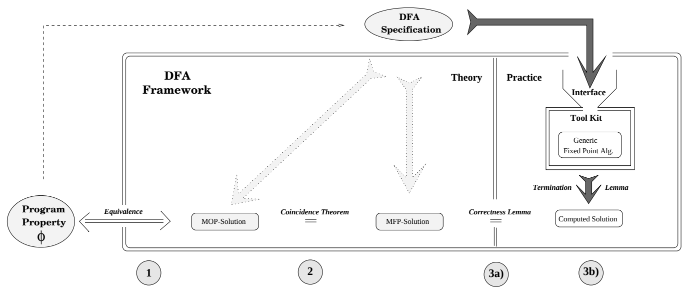
Intraprozedurale Datenflussanalyse (2)

...im Überblick:



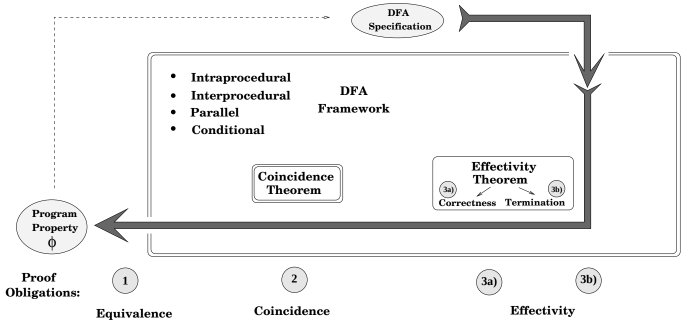
DFA-Frameworks / DFA-Toolkits (1)

...das allgemeine Muster:



DFA-Frameworks / DFA-Toolkits (2)

...das allgemeine Muster stärker abstrahiert:



Ausblick

...auf

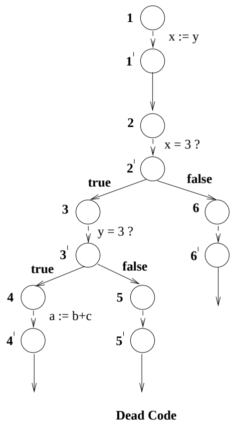
- konditionale,
- interprozedurale,
- parallele Datenflussanalyse

in...

- Rahmen- und
- Toolkit-Sicht.

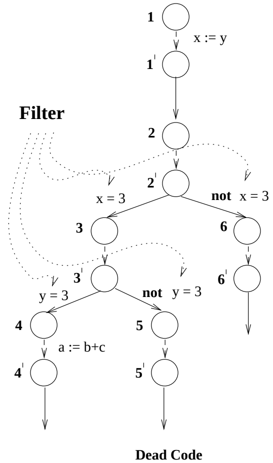
Konditionale Datenflussanalyse (1)

Ein Anwendungsbeispiel zur Motivation...



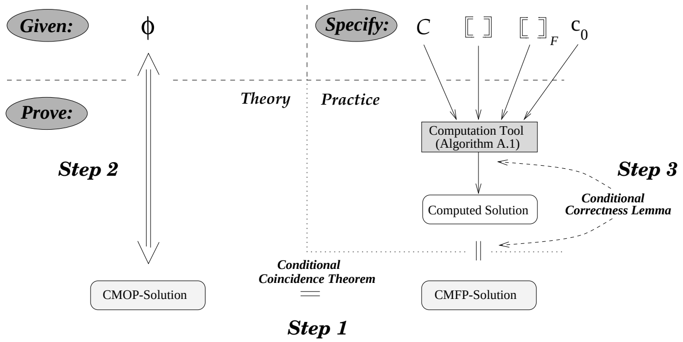
Konditionale Datenflussanalyse (2)

Technische Umsetzung: Mittels *Filterfunktionen*...



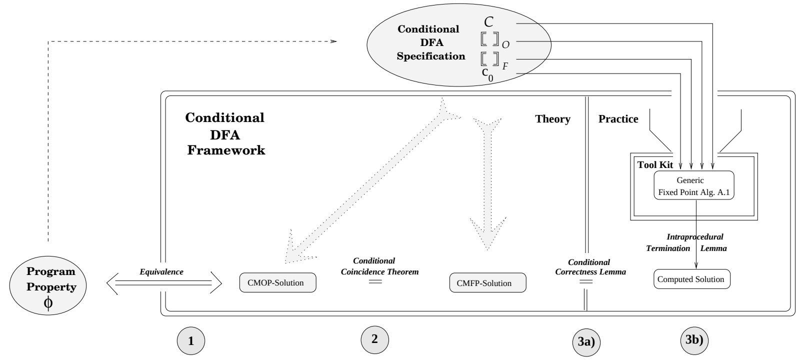
Konditionale Datenflussanalyse (3)

Der *konditionale* DFA-Rahmen im Überblick:



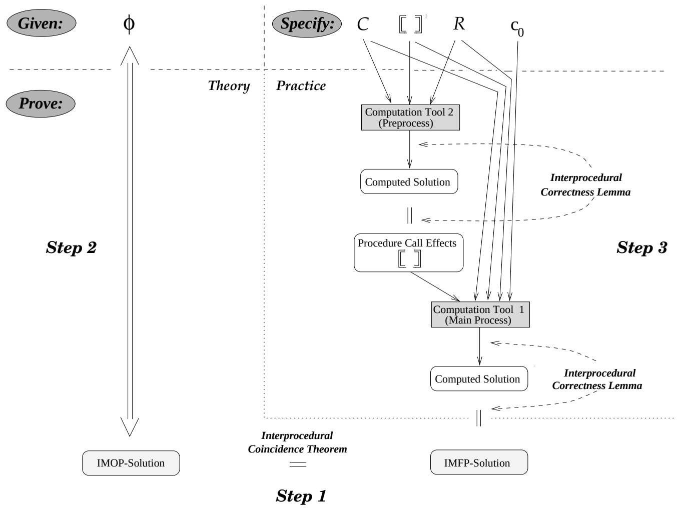
Konditionale Datenflussanalyse (4)

Der *konditionale* DFA-Rahmen in der Toolkit-Sicht:



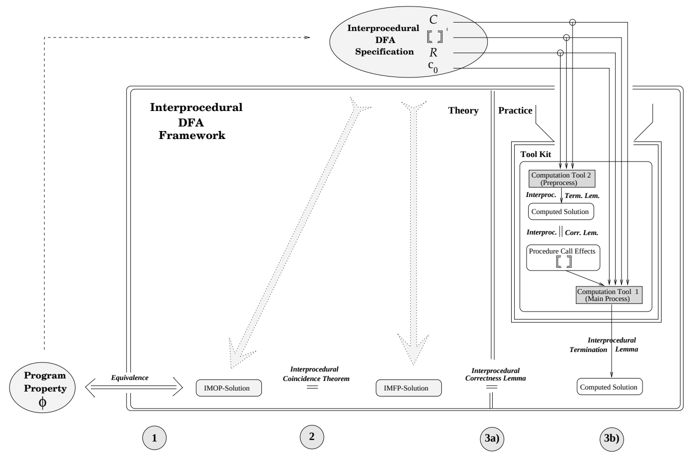
Interprozedurale Datenflussanalyse (1)

Der *interprozedurale* DFA-Rahmen im Überblick:



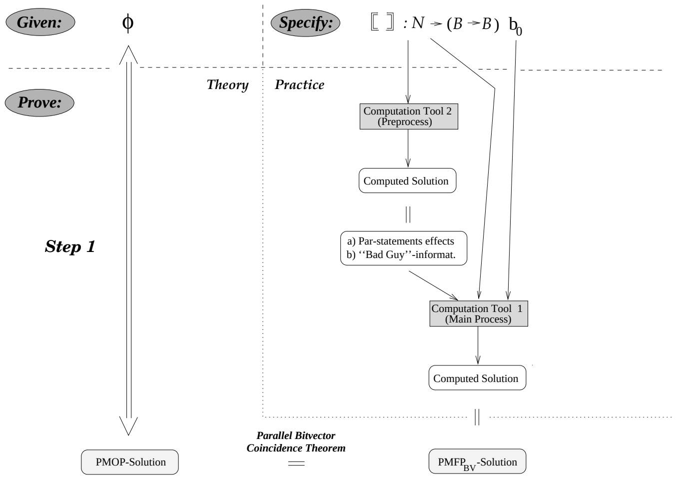
Interprozedurale Datenflussanalyse (2)

Der *interprozedurale* DFA-Rahmen in der Toolkit-Sicht:



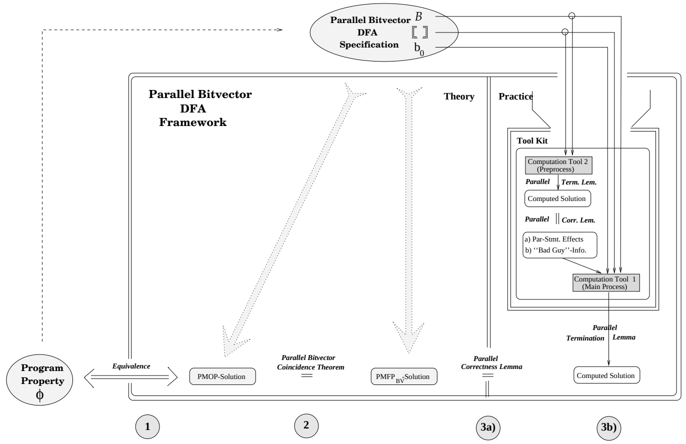
Parallele Datenflussanalyse (1)

Der *parallele* DFA-Rahmen im Überblick:



Parallele Datenflussanalyse (2)

Der *parallele* DFA-Rahmen in der Toolkit-Sicht:



In der Folge

...zweierlei:

- Beispiele konkreter Datenflussanalyse (-probleme)
- Basisblöcke vs. Einzelinstruktionen: Vor- und Nachteile

Basisblöcke (1)

...und die ihnen gemeinhin aus ihrer Verwendung zugeschriebenen Vorteile ("Folk Knowledge"):

- *Performanz*: "...weil weniger Knoten in die teure iterative Fixpunktberechnung involviert sind".
- *Kompaktheit*: "...weil größere Programme in den Hauptspeicher passen".

Basisblöcke (2)

...und die in der Folge aus ihrer Verwendung behaupteten Nachteile:

- *Höhere konzeptuelle Komplexität*: ... Basisblöcke führen zu einer unerwünschten *Hierarchisierung*, die sowohl theoretische Überlegungen wie Implementierungen erschwert.
- *Notwendigkeit von Prä- und Postprozessen:*: ... oft erforderlich, um die hierarchieinduzierten Zusatzprobleme zu behandeln (z.B. bei *dead code elimination*, *constant propagation*, ...); oder "trickbehaftete" Formulierungen nötig macht, um sie umzugehen (z.B. bei *partial redundancy elimination*).
- *Eingeschränkte Allgemeinheit*: ... bestimmte praktisch relevante Analysen und Optimierungen sind nur schwer oder gar nicht auf Basisblockebene auszudrücken (z.B. *faint variable analysis and elimination*).

MOP -Ansatz (Einzelinstruktionen)

... für kantenbenannte Einzelinstruktionsgraphen:

Die MOP-Lösung:

$$\forall\, c_s \in \mathcal{C}\ \forall\, n \in N.\ \mathit{MOP}_{([\![\ ]\!]_\iota, c_s)}(n) =_{df} \bigsqcap \{\, [\![\, p \,]\!]_\iota(c_s) \mid p \in \mathbf{P}_G[s,n] \,\}$$

MaxFP -Ansatz (Einzelinstruktionen)

... für kantenbenannte Einzelinstruktionsgraphen:

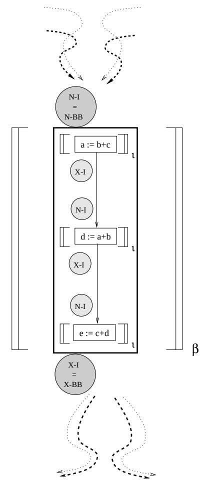
Die MaxFP-Lösung:

$$\forall\, c_s \in \mathcal{C}\ \forall\, n \in N.\ \mathit{MaxFP}_{([\![\ ]\!]_\iota, c_s)}(n) =_{df} \mathtt{info}_{c_s}(n)$$

wobei info_{c_s} die größte Lösung des folgenden Gleichungssystems bezeichnet:

$$\mathbf{info}(n) = \begin{cases} c_s & \text{falls } n = s \\ \bigsqcap \{\, [\![\, (m,n) \,]\!]_\iota(\mathbf{info}(m)) \mid m \in \mathit{pred}_G(n) \,\} & \text{sonst} \end{cases}$$

Hierarchisierung durch Basisblöcke



MOP -Ansatz (Basisblöcke) (1)

... für knotenbenannte Basisblockgraphen:

The *MOP*-Solution: (Basisblockebene)

$\forall\, c_{\mathbf{s}} \in \mathcal{C}\ \forall\, \mathbf{n} \in \mathbf{N}.\ \mathit{MOP}_{([\![\ ]\!]_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathbf{n}) =_{df} (\, \mathit{N\text{-}MOP}_{([\![\ ]\!]_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathbf{n}),\ \mathit{X\text{-}MOP}_{([\![\ ]\!]_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathbf{n})\,)$

mit

$$\mathit{N\text{-}MOP}_{([\![\ ]\!]_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathbf{n}) =_{df} \bigsqcap \{\, [\![\, p\,]\!]_\beta(c_{\mathbf{s}}) \mid p \in \mathbf{P_G}[\mathbf{s}, \mathbf{n}[\, \}$$
$$\mathit{X\text{-}MOP}_{([\![\ ]\!]_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathbf{n}) =_{df} \bigsqcap \{\, [\![\, p\,]\!]_\beta(c_{\mathbf{s}}) \mid p \in \mathbf{P_G}[\mathbf{s}, \mathbf{n}]\, \}$$

MOP -Ansatz (Basisblöcke) (2)

... für knotenbenannte Basisblockgraphen:

The *MOP*-Solution: (Instruktionsebene)

$\forall\, c_{\mathbf{s}} \in \mathcal{C}\ \forall\, n \in N.\ \mathit{MOP}_{([\![\ ]\!]_\iota, c_{\mathbf{s}})}(n) =_{df} (\, \mathit{N\text{-}MOP}_{([\![\ ]\!]_\iota, c_{\mathbf{s}})}(n),\ \mathit{X\text{-}MOP}_{([\![\ ]\!]_\iota, c_{\mathbf{s}})}(n)\,)$

mit

$$\mathit{N\text{-}MOP}_{([\![\ ]\!]_\iota, c_s)}(n) =_{df} \begin{cases} \mathit{N\text{-}MOP}_{([\![\ ]\!]_\beta, c_s)}(\texttt{block}(n)) & \text{falls } n = \mathit{start}(\texttt{block}(n)) \\ [\![\, p\,]\!]_\iota(\mathit{N\text{-}MOP}_{([\![\ ]\!]_\beta, c_s)}(\texttt{block}(n))) & \text{sonst } (p \text{ Präfixpfad} \\ & \text{von } \mathit{start}(\texttt{block}(n)) \\ & \text{bis (ausschl.) } n) \end{cases}$$
$$\mathit{X\text{-}MOP}_{([\![\ ]\!]_\iota, c_s)}(n) =_{df} [\![\, p\,]\!]_\iota(\mathit{N\text{-}MOP}_{([\![\ ]\!]_\beta, c_s)}(\texttt{block}(n))) \quad (p \text{ Präfix von } \mathit{start}(\texttt{block}(n)) \text{ bis (einschl.) } n)$$

MaxFP -Ansatz (Basisblöcke) (1)

... für knotenbenannte Basisblockgraphen:

Die *MaxFP*-Lösung: (Basisblockebene)

$\forall\, c_{\mathbf{s}} \in \mathcal{C}\ \forall\, \mathbf{n} \in \mathbf{N}.\ \mathit{MaxFP}_{([\![\ ]\!]_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathbf{n}) =_{df} (\, \mathit{N\text{-}MFP}_{([\![\ ]\!]_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathbf{n}),\ \mathit{X\text{-}MFP}_{([\![\ ]\!]_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathbf{n}$

mit

$\mathit{N\text{-}MFP}_{([\![\ ]\!]_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathbf{n}) =_{df} \mathsf{pre}^\beta_{c_{\mathbf{s}}}(\mathbf{n})$ und $\mathit{X\text{-}MFP}_{([\![\ ]\!]_\beta, c_{\mathbf{s}})}(\mathbf{n}) =_{df} \mathsf{post}^\beta_{c_{\mathbf{s}}}(\mathbf{n})$

wobei $\mathsf{pre}^\beta_{c_{\mathbf{s}}}$ und $\mathsf{post}^\beta_{c_{\mathbf{s}}}$ die größten Lösungen folgenden Gleichungssystems bezeichnen:

$$\mathbf{pre}(\mathbf{n}) = \begin{cases} c_{\mathbf{s}} & \text{falls } \mathbf{n} = \mathbf{s} \\ \bigsqcap \{\, \mathbf{post}(\mathbf{m}) \mid \mathbf{m} \in \mathit{pred}_{\mathbf{G}}(\mathbf{n})\, \} & \text{sonst} \end{cases}$$
$$\mathbf{post}(\mathbf{n}) = [\![\, \mathbf{n}\,]\!]_\beta(\mathbf{pre}(\mathbf{n}))$$

MaxFP -Ansatz (Basisblöcke) (2)

Die *MaxFP*-Lösung: (Instruktionsebene)

$\forall\, c_{\mathbf{s}} \in \mathcal{C}\ \forall\, n \in N.\ \mathit{MaxFP}_{([\![\ ]\!]_\iota, c_{\mathbf{s}})}(n) =_{df} (\, \mathit{N\text{-}MFP}_{([\![\ ]\!]_\iota, c_{\mathbf{s}})}(n),\ \mathit{X\text{-}MFP}_{([\![\ ]\!]_\iota, c_{\mathbf{s}})}(n)$

mit

$\mathit{N\text{-}MFP}_{([\![\ ]\!]_\iota, c_{\mathbf{s}})}(n) =_{df} \mathsf{pre}^\iota_{c_{\mathbf{s}}}(n)$ und $\mathit{X\text{-}MFP}_{([\![\ ]\!]_\iota, c_{\mathbf{s}})}(n) =_{df} \mathsf{post}^\iota_{c_{\mathbf{s}}}(n)$

wobei $\mathsf{pre}^\iota_{c_{\mathbf{s}}}$ und $\mathsf{post}^\iota_{c_{\mathbf{s}}}$ die grßten Lösungen des folgenden Gleichungssystems bezeichnen:

$$\mathbf{pre}(n) = \begin{cases} \mathsf{pre}^\beta_{c_{\mathbf{s}}}(\texttt{block}(n)) & \text{falls } n = \mathit{start}(\texttt{block}(n)) \\ \mathbf{post}(m) & \text{sonst } (m \text{ ist eindeutig bestimmter} \\ & \text{Vorgänger von } n \text{ in } \texttt{block}(n)) \end{cases}$$
$$\mathbf{post}(n) = [\![\, n\,]\!]_\iota(\mathbf{pre}(n))$$

Bsp.: Verfügbarkeit von Ausdrücken (1)

Verfügbarkeit für knotenbenannte BB-Graphen:

Phase I: Die Basisblockebene

Lokale Prädikate: (assoziiert mit BB-Knoten)

- BB-XCOMP$_\beta(t)$: β contains an instruction ι computing t, and neither ι nor any instruction of β following ι modifies an operand of t.
- BB-TRANSP$_\beta(t)$: β contains no instruction modifying an operand of t.

Bsp.: Verfügbarkeit von Ausdrücken (2)

Das Gleichungssystem von Phase I:

$$\text{BB-N-AVAIL}_\beta = \begin{cases} \mathit{false} & \text{if } \beta = \mathbf{s} \\ \prod_{\hat\beta \in pred(\beta)} \text{BB-X-AVAIL}_{\hat\beta} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{BB-X-AVAIL}_\beta = \text{BB-N-AVAIL}_\beta \cdot \text{BB-TRANSP}_\beta + \text{BB-XCOMP}_\beta$$

Bsp.: Verfügbarkeit von Ausdrücken (3)

Phase II: Die Instruktionsebene

Lokale Prädikate: (assoziiert mit EI-Knoten)

- **COMP**$_\iota(t)$: ι computes t.
- **TRANSP**$_\iota(t)$: ι does not modify an operand of t.
- BB-N-AVAIL*, BB-X-AVAIL*: greatest solution of the equation system of Phase I.

Das Gleichungssystem von Phase II:

$$\text{N-AVAIL}_\iota = \begin{cases} \text{BB-N-AVAIL}^\star_{\texttt{block}(\iota)} & \text{if } \iota = \mathit{start}(\texttt{block}(\iota)) \\ \text{X-AVAIL}_{pred(\iota)} & \text{otherwise (note that } |\,pred(\iota)\,| = 1) \end{cases}$$

$$\text{X-AVAIL}_\iota = \begin{cases} \text{BB-X-AVAIL}^\star_{\texttt{block}(\iota)} & \text{if } \iota = \mathit{end}(\texttt{block}(\iota)) \\ (\text{N-AVAIL}_\iota + \textbf{COMP}_\iota) \cdot \textbf{TRANSP}_\iota & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bsp.: Verfügbarkeit von Ausdrücken (4)

Verfügbarkeit für knotenbenannte EI-Graphen:

Lokale Prädikate: (assoziiert mit Knoten)

- **COMP**$_\iota(t)$: ι computes t.
- **TRANSP**$_\iota(t)$: ι does not modify an operand of t.

Das Gleichungssystem:

$$\text{N-AVAIL}_\iota = \begin{cases} \mathit{false} & \text{if } \iota = s \\ \prod_{\hat\iota \in pred(\iota)} \text{X-AVAIL}_{\hat\iota} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{X-AVAIL}_\iota = (\text{N-AVAIL}_\iota + \textbf{COMP}_\iota) \cdot \textbf{TRANSP}_\iota$$

Bsp.: Verfügbarkeit von Ausdrücken (5)

Verfügbarkeit für kantenbenannte EI-Graphen:

Lokale Prädikate: (assoziiert mit EI-Kanten)

- **COMP**$_\varepsilon(t)$: instruction ι of edge ε computes t.
- **TRANSP**$_\varepsilon(t)$: instruction ι of edge ε does not modify an operand of t.

The Equation System:

$$\texttt{Avail}_n = \begin{cases} \mathit{false} & \text{if } n = s \\ \prod\limits_{m \in pred(n)} (\texttt{Avail}_m + \mathbf{COMP}_{(m,n)}) \cdot \mathbf{TRANSP}_{(m,n)} & \text{otherwi} \end{cases}$$

Vorschau auf die weiteren Vorlesungstermine...

Achtung: Abweichende Zeit am 23.01.2007!

- Di, 23.01.2007, Vorlesung von 16:00 Uhr bis 17:00 Uhr, Bibliothek E185/1
- Di, 30.01.2007, Vorlesung von 17:45 Uhr bis 19:15 Uhr, Bibliothek E185/1