Optimierende Compiler

Skalare Optimierung 1

Andreas Koch

FG Eingebettete Systeme und ihre Anwendungen
Informatik, TU Darmstadt

Sommersemester 2009

Organisatorisches

Organisatorisches

- 1. Teilprüfung vom 3.6. auf 17.6. verschoben
- Individuelle Prüfungszeiten unverändert
- Stoffpensum: Nur der bis zum 3.6. behandelte Stoff

Dead Code Elimination

Überflüssiger Code

- Nutzloser Code
  - Keine weitere Operation verwendet Ergebnis
  - Genauer: Eine weitere Verwendung des Ergebnisses ist von außen nicht sichtbar
- Unerreichbarer Code
  - Kann auf keinem Pfad im CFG erreicht werden

Hier: Konzentration auf Entfernung nutzlosen Codes
Dead Code Elimination

Kritische Operationen

Kritische Operationen haben nach außen sichtbare Effekte

- Müssen immer ausgeführt werden
- Return-Anweisungen
- Zuweisungen an var-Parameter, globale und nicht-lokale Variablen
- Unterprogrammaufrufe (wenn keine IPO vorhanden)
- Ein-Ausgabe-Anweisungen

Für VL vereinfacht: Nur Ausgabeoperationen relevant

Dead Code Elimination - Ideen

- Markieren benötigter Operationen
  - Markiere kritische Operationen
  - Untersucht deren Operanden und markiert die zugehörigen Definitionen als benötigt
  - Solange noch weitere benötigte Operationen dazu kommen: Wiederholen
- Entfernen toter Operationen
  - Alle nicht markierten Operationen entfernen

➥Klassisches *Mark-and-Sweep* Vorgehen

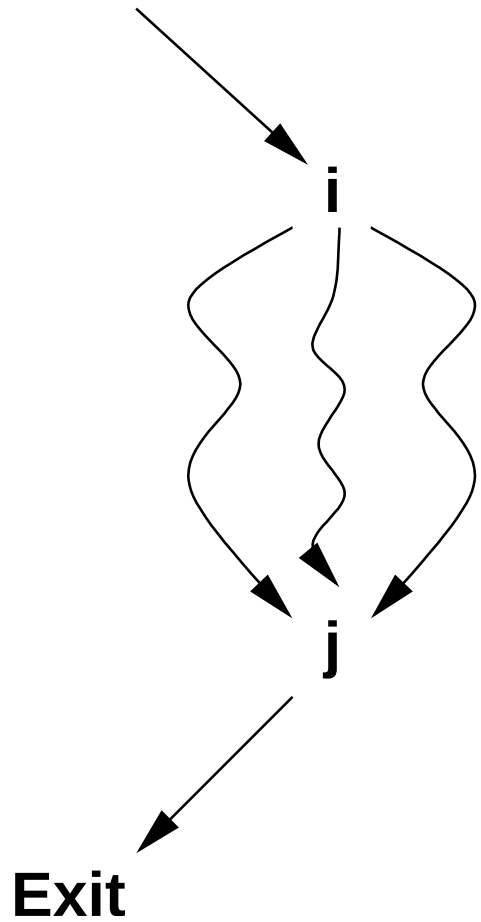
Dead Code Elimination - Details

- Für die meisten Operationen einfach
- Was bei Kontrollfluß (Kanten) zwischen Blöcken?
- Gleiche Grundidee wie bei anderen Anweisungen
  - Unbedingte Sprünge werden immer benötigt
    - Ausführung muß ja weitergehen
  - Bedingte Sprunganweisung: genauer ansehen
  - Ein Zweig wird nur benötigt, wenn er mindestens zu einer benötigten Anweisung führt
- Vorgehensweise
  - Bei markieren einer Anweisung auch gleich entscheidende Verzweigung mitmarkieren
  - Leicht gesagt, aber wie genau diese Verzweigung finden?

Neue Konzepte erforderlich!

Postdominanz

Ein Knoten j postdominiert den Knoten i in einem CFG, wenn alle Pfade von i zum Endknoten des CFG durch den Knoten j führen.

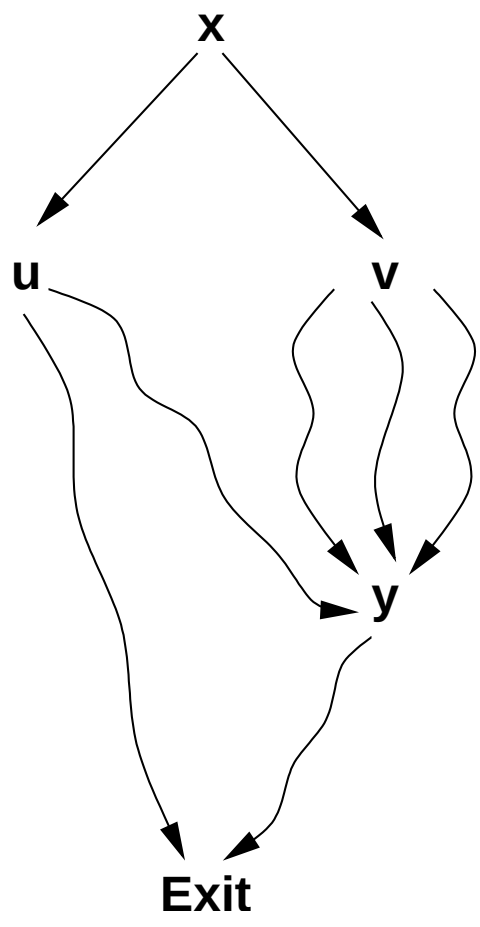


Kontrollabhängigkeit 1

A. Koch

y ist von x kontrollabhängig genau dann, wenn

1. es einen nicht-leeren Pfad von x zu y gibt und jeder auf diesem Pfad liegende Knoten von y postdominiert wird,
2. x aber nicht strikt von y postdominiert wird.



- y postdominiert v und alle Knoten dazwischen
- y postdominiert nicht x
- y ist von x kontrollabhängig

Kontrollabhängigkeit 2

Andere Deutung

- Zwei oder mehr Kanten verlassen Block x
- Nach Eintritt in eine der Kanten wird y in jeden Fall ausgeführt
- Über die andere(n) Kante(n) kann der Endknoten ohne y erreicht werden

Damit entscheidet Bedingung am Ende von x, ob y ausgeführt wird.

➥Wenn Anweisung in y benötigt wird, wird damit auch die Entscheidung in x benötigt

Wie Kontrollabhängigkeit berechnen?

Hat etwas mit Postdominanz zu tun.

A. Koch

Zusammenhang:

- Postdominanz im CFG
- $\leftrightarrow$ Dominanz im umgekehrten CFG
  - Richtung der Kanten vertauscht
  - *reversed CFG* (rCFG)

➥Dominanzberechnung bekannt (Brandis & Mössenböck)

Reicht aber noch nicht ganz: Wo genau ist der y nahegelegenste Punkt, an dem die Entscheidung fällt?
➥Wo ist der y nahegelegenste Knoten, bei dem auch eine Abzweigung an y vorbei genommen werden kann?

Dominatorgrenze

Analoge Betrachtung bei Dominatoren:
Welche Knoten w liegen gerade außerhalb der Dominanz eines Knotens x?

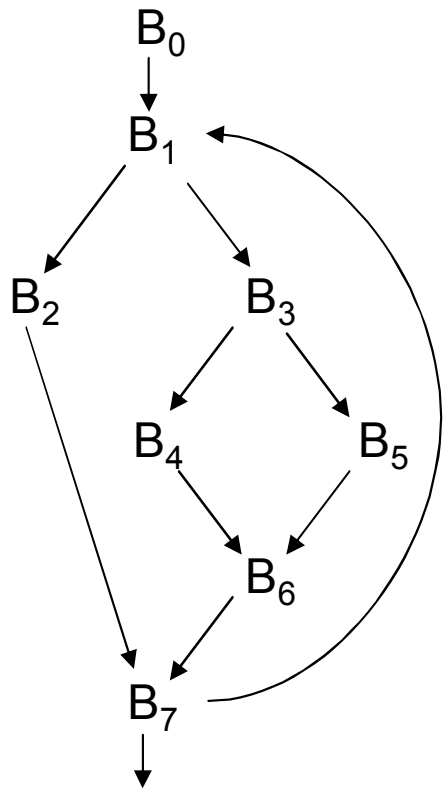
Anders: An welchem Knoten w kann aus dessen Ausführung nicht mehr sicher auf die Ausführung von x geschlossen werden?

Dominatorgrenze DF(x)

Knoten w, bei denen ein Vorgänger q durch x dominiert wird ($q \in \text{preds}(w) \wedge x \in \text{DOM}(q)$) , aber w selbst nicht von x strikt dominiert ist ($x \notin \text{DOM}(w) - \{w\}$), heissen die Dominatorgrenze von x, mit $w \in \text{DF}(x)$.

Beispiel Dominatorgrenze

A. Koch



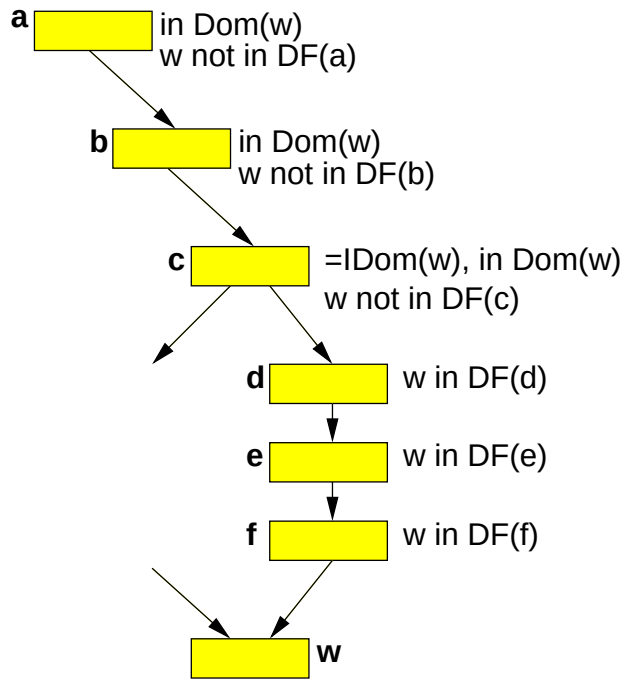
	0	1	2	3	4	5	6	7
DOM	0	0,1	0,1,2	0,1,3	0,1,3,4	0,1,3,5	0,1,3,6	0,1,7
DF	–	–	7	7	6	6	7	1

Quelle: C&T p. 458, 463

Berechnung der Dominatorgrenzen - Beobachtung

A. Koch

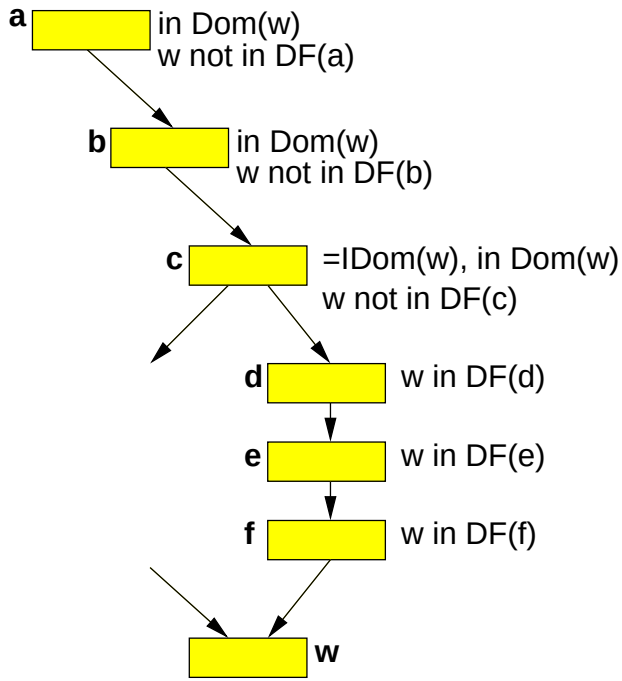
- Knoten auf Dominatorgrenze sind immer Merge-Knoten
- Vorgänger x eines Merge-Knotens w haben $w \in \text{DF}(x)$, wenn nicht gilt $x \in \text{DOM}(w)$
- Dominatoren z der Vorgänger x von w haben auch $w \in \text{DF}(z)$, wenn nicht gilt $z \in \text{DOM}(w)$



Berechnung von Dominatorgrenzen - Vorgehensweise

A. Koch

1. Finde Merge-Points als w
2. Beginne Untersuchung bei direkten Vorgängern x des Merge-Points w
3. Klettere rückwärts weiter via IDOM des aktuellen Knotens x
   - Setze $w \in \text{DF}(x)$, bis $x = \text{IDOM}(w)$



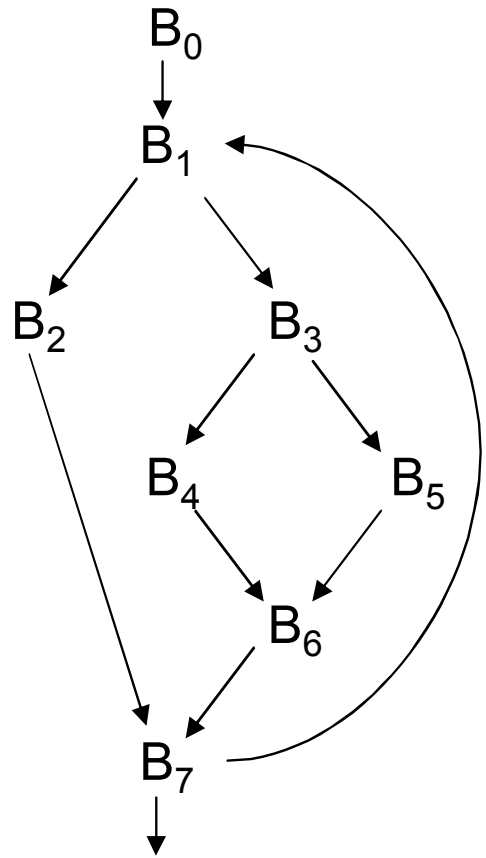
Berechnung von Dominatorgrenzen - Algorithmus

A. Koch

foreach node n **in** CFG **do**
  $\text{DF}(n) := \emptyset$
foreach node n **in** CFG **do**
  if $|\text{preds}(n)| > 1$ **then**
    foreach p **in** preds(n) **do**
      runner := p
      while runner $\neq \text{IDOM}(n) \wedge$ runner $\neq$ n **do**
        $\text{DF}(\text{runner}) := \text{DF}(\text{runner}) \cup \{ n \}$
        runner := $\text{IDOM}(\text{runner})$

Berechnung von Dominatorgrenzen - Beispiel

- Bearbeite B6: Zu B5, dort B6 in DF(B5), Ende bei B3. Zu B4, dort B6 in DF(B4), Ende bei B3.
- Bearbeite B7: Zu B2, dort B7 in DF(B2), Ende bei B1. Zu B6, dort B7 in DF(B6), zu B3, dort B7 in DF(B3), Ende bei B1.
- Bearbeite B1: Zu B0, dort Ende. Zu B7, dort B1 in DF(B7), dort Ende.

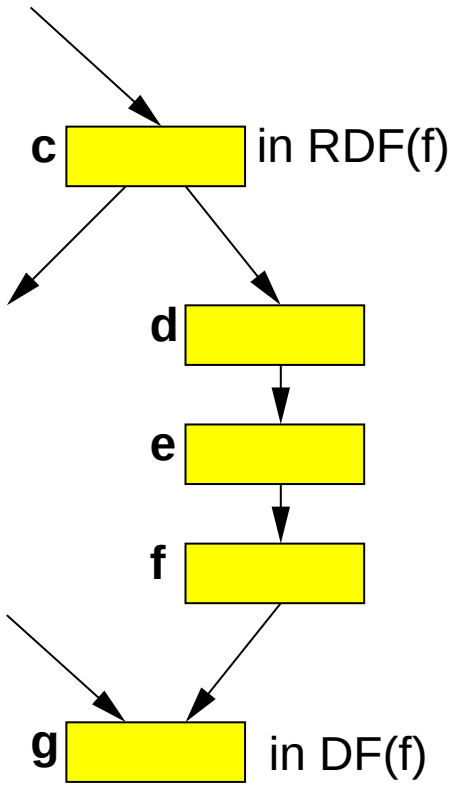


	0	1	2	3	4	5	6	7
DOM	0	0,1	0,1,2	0,1,3	0,1,3,4	0,1,3,5	0,1,3,6	0,1,7
DF	–	–	7	7	6	6	7	1

. . . zurück zu Dead Code Elimination

Gesucht: Verzweigungen, von denen benötigte Anweisung i kontrollabhängig ist

➥Sind Dominatorgrenzen von block(i) im reversen CFG: RDF(block(i))



Markiere benötigte Operationen

A. Koch

```
MarkPass
        foreach op i
                clear i's mark
                if i is critical then
                        mark i
                        add i to WorkList
        while (Worklist ? Ø)
                remove i from WorkList
                        (i has form "x ¬ y op z" )
                if def(y) is not marked then
                        mark def(y)
                        add def(y) to WorkList
                if def(z) is not marked then
                        mark def(z)
                        add def(z) to WorkList
                foreach b ∈ RDF(block(i))
                        mark the block-ending
                                branch j in b
                        add j to WorkList
```

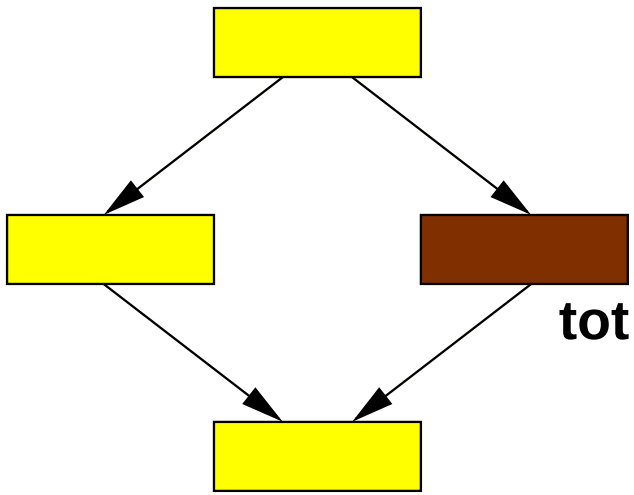
Lösche unnötige Operationen


```
Sweep
    foreach op i
        if i is not marked then
            if i is a branch then
                rewrite with a jump to i's nearest useful post-dominator
            if i is not a jump then
                delete i
```

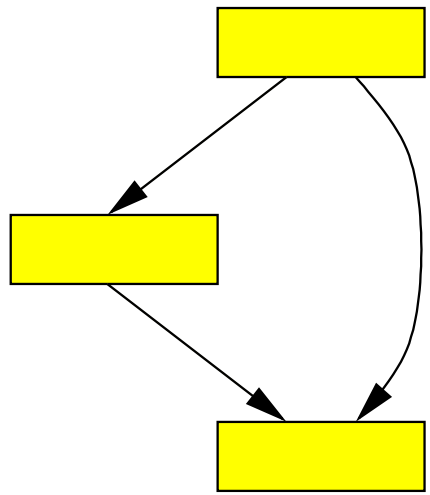
- Lösche unmarkierte Operationen
- “Verbiege” unmarkierte Verzweigung
  - Setze Ausführung bei nächstgelegenem Postdominator mit nützlichen Operationen fort

Beispiel Verbiegen von Verzweigungen 1

A. Koch



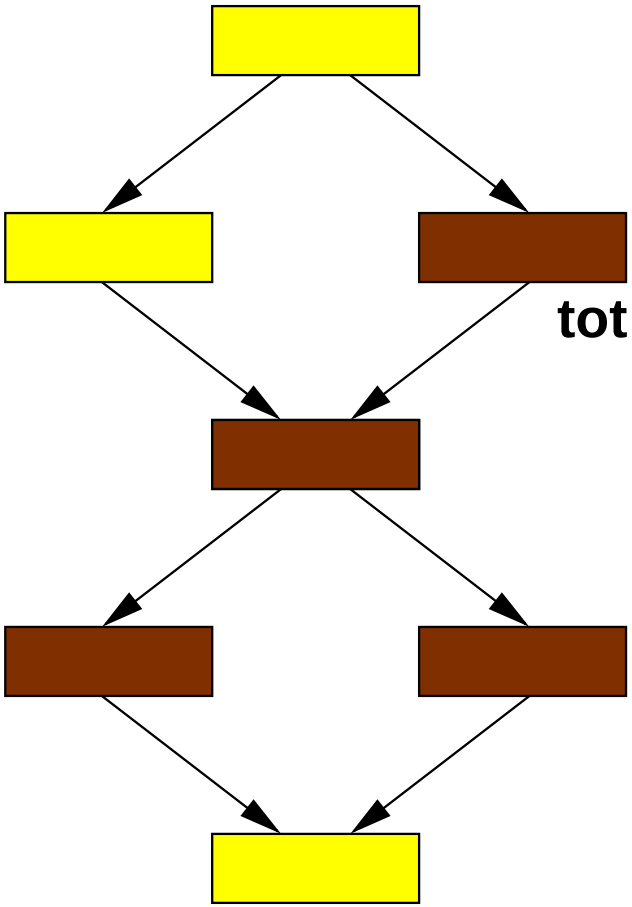
Vorher



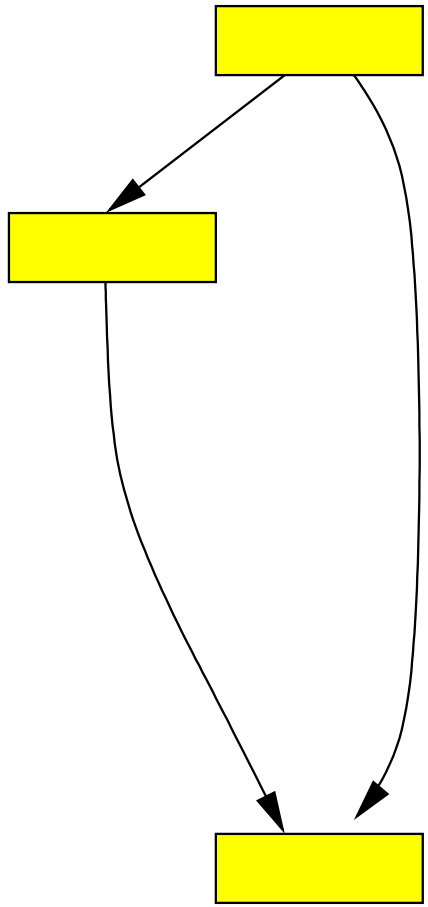
Nachher

Beispiel Verbiegen von Verzweigungen 2

A. Koch



Vorher



Nachher

Dead Code Elimination

- Gesamter Ablauf von Dead():
  1. MarkPass()
  2. SweepPass()
- Kann leere Blöcke hinterlassen
- Aufräumen mit nächstem Algorithmus

Bereinigen des CFG

Beseitigen von unnötigem Kontrollflusses

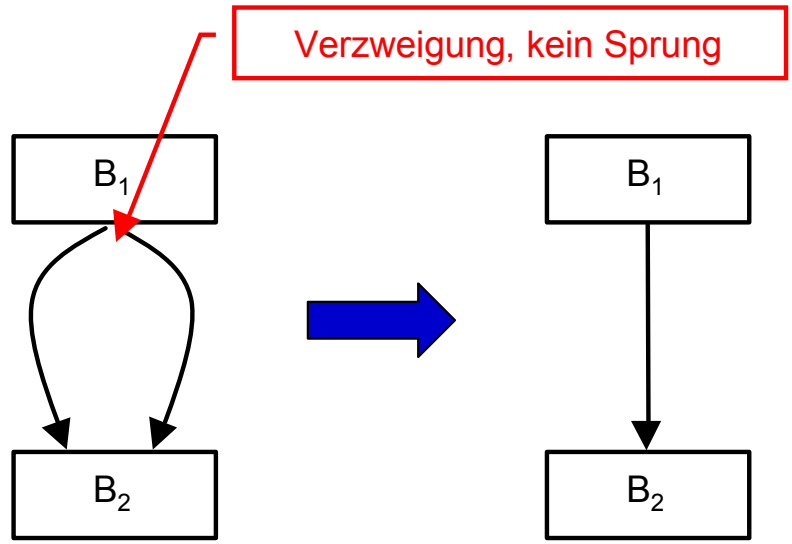
- Nach Optimierung kann CFG leere Blöcke enthalten
- Leere Blöcke enden mit Übergang zum nächsten Block
  - Unbedingter Sprung (ein Nachfolger)
  - Bedingte Sprünge für Verzweigungen
- Kann zu Sprung-zu-Sprung führen (langsam & platzverschwendend)
- Beseitigen!

➥Algorithmus CLEAN: Vier Schritte

Entferne redundante Verzweigung

A. Koch

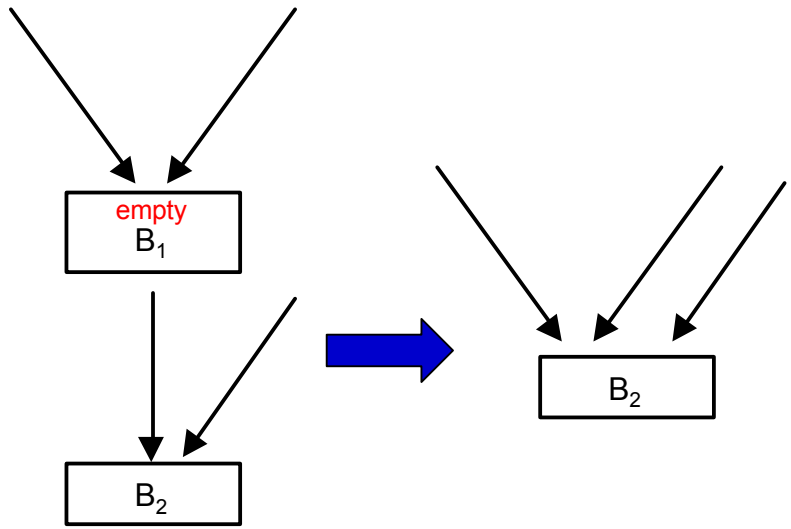
- Entsteht durch: Verbiegen von Verzweigungen
- Vorgehen: Ersetze Verzweigung durch Sprung



Quelle: C&T Fig. 10.4

Beseitige leere Blöcke

- Entsteht durch: Gelöschte Operationen in B1
- Voraussetzungen: Leerer Block B1 endet mit Sprung
- Vorgehen:
  - Verbiege eingehende Kanten von B1 zu B2
  - Entferne B1

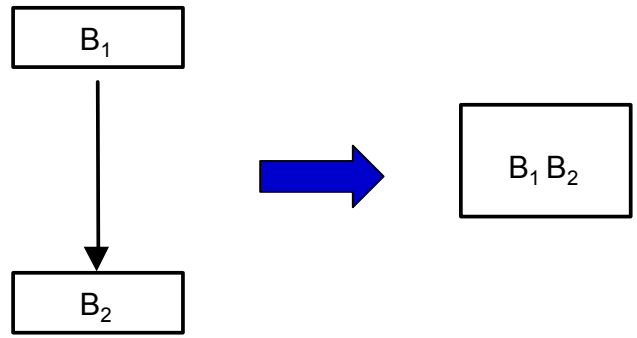


Quelle: C&T Fig. 10.4

Verschmelze Blöcke

A. Koch

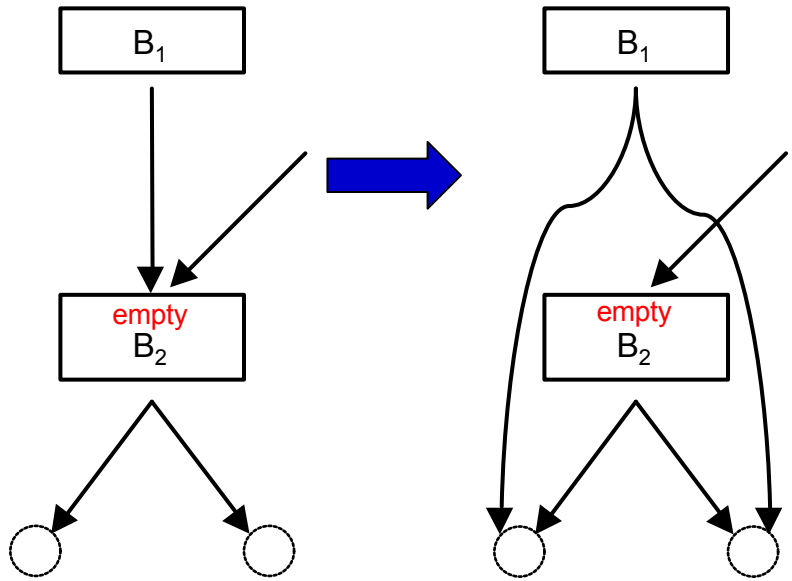
- Entsteht durch: Vereinfachte Kanten aus B1
- Voraussetzungen
  - B1 endet mit einem unbedingten Sprung
  - B2 hat genau einen Vorgänger
- Vorgehen:
  - Verschmelze beide Blöcke
  - Entferne damit den Sprung



Quelle: C&T Fig. 10.4

Herausziehen von Verzweigung

- Entsteht durch: Gelöschte Operationen in B2
- Voraussetzungen
  - B1 endet mit Sprung
  - B2 ist leer und endet mit Verzweigung
- Vorgehen:
  - Kopiere Verzweigung von B2 ans Ende von B1
  - Kann B2 unerreichbar machen



Quelle: C&T Fig. 10.4

Ablauf des gesamten CLEAN-Passes

- Bearbeite Blöcke in postorder
  - Nachfolger eines Blockes b vor b selber bearbeiten
- An jedem Block feste Abarbeitungsreihenfolge
  1. Entferne redundante Verzweigungen
     - Entfernt Kante, erzeugt neuen Sprung
  2. Beseitige leere Blöcke
     - Entfernt Knoten
  3. Verschmelze Blöcke
     - Entfernt Knoten und Kante
  4. Ziehe Verzweigungen heraus
     - Fügt neue Kante hinzu
- Mehrere Durchgänge erforderlich
  - Postorder-Reihenfolge nach jedem Durchgang neu berechnen

CLEAN-Algorithmus

A. Koch

```
CleanPass()
    foreach block i, in postorder
        if i ends in a branch then
            if both targets are identical then
                rewrite with a jump
        if i ends in a jump to j then
            if i  is empty then
                merge i with j
            else if j has only one predecessor
                merge i with j
            else if j is empty & j has a branch then
                rewrite i's jump with j's branch

Clean()
    until CFG stops changing
        compute postorder
        CleanPass()
```

Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Erster Einblick in skalare Optimierung
- Modifikation des CFG
- Neue und alte Konzepte
  - Dominanz, Postdominanz, Dominanzgrenzen
- Dead Code Elimination: DEAD
- Bereinigen des CFG: CLEAN