

### Aufgabe 3.04: WCET

Gegeben ist folgendes C-Fragment:

```
weight=volume*density;

if (weight<100) {
    max_index=10;
} else {
    max_index=5;
}

index=1;
additional_weight=0;

do {
    additional_weight+=20;
    index++;
} while (index<=max_index);

weight+=additional_weight;
```

a) Transformieren Sie das C-Fragment in einen Kontrollflussgraphen (CFG).

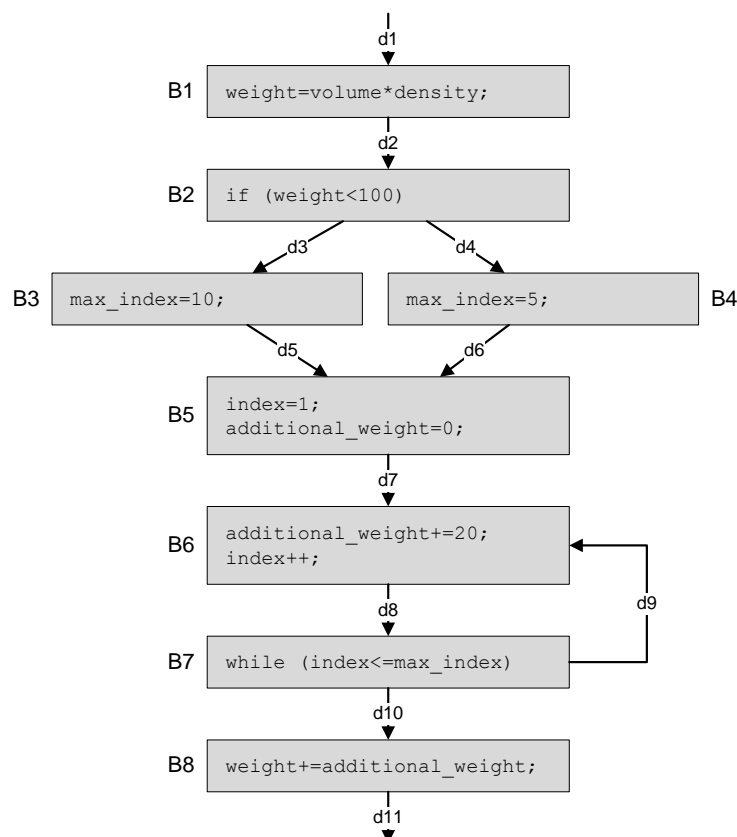


Abbildung 3.2: Kontrollflussgraph (CFG)

- b) Die WCET (ohne Caches) soll mittels ILP bestimmt werden. Stellen Sie hierfür die Flussgleichungen zur Modellierung der strukturellen Nebenbedingungen (Constraints) auf.

$$d1 = 1 \text{ (einmaliger Programmaufruf)}$$

$$x1 = d1 = d2$$

$$x2 = d2 = d3 + d4$$

$$x3 = d3 = d5$$

$$x4 = d4 = d6$$

$$x5 = d5 + d6 = d7$$

$$x6 = d7 + d9 = d8$$

$$x7 = d8 = d9 + d10$$

$$x8 = d10 = d11$$

- c) Stellen Sie die funktionalen Nebenbedingungen auf.

$$5 \cdot x5 \leq x6 \leq 10 \cdot x5$$

- d) Geben Sie die Zielfunktion an, die durch ILP maximiert wird.

$$WCET = \max \left\{ \sum_{i=1}^N c_i \cdot x_i \right\}$$

### Aufgabe 3.05: Erweiterung WCET

Es wird das erweiterte WCET-Modell zur ILP Formulierung von Caches betrachtet.

a) Welche Art von Cache kann mit dem Modell modelliert werden?  
Direct-Mapped Instruktions-Cache

b) Was ist ein L-Block?  
Ein L-Block ist die Kurzform für Line-Block und bezeichnet einen Teil eines Basis-Blockes, der zu der gleichen Cache-Zeile gemapped wird. Ein Basis-Block besteht aus ein oder mehreren L-Blöcken.

c) Wie lautet die ILP Zielfunktion der erweiterten WCET Formulierung? Erklären Sie die einzelnen Variablen.

$$WCET = \max \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} (c_{i,j}^{hit} \cdot x_{i,j}^{hit} + c_{i,j}^{miss} \cdot x_{i,j}^{miss}) \right\}$$

$$\bigvee_{j=1 \dots n_i} x_i = x_{i,j} = x_{i,j}^{hit} + x_{i,j}^{miss}$$

$N$  Anzahl der Basisblöcke

$n_i$  Anzahl der L-Blöcke im Basisblock  $i$

$x_i$  Ausführungshäufigkeit von Basisblock  $i$

$c_{i,j}^{hit}$  Ausführungszeit des L-Blocks  $j$  in Basisblock  $i$  bei einem Cache-Hit

$c_{i,j}^{miss}$  Ausführungszeit des L-Block  $(i,j)$  bei einem Cache-Miss

$x_{i,j}$  Ausführungshäufigkeit des L-Blocks  $(i,j)$

$x_{i,j}^{hit}$  Ausführungshäufigkeit des L-Blocks  $(i,j)$  mit einem Cache-Hit

$x_{i,j}^{miss}$  Ausführungshäufigkeit des L-Blocks  $(i,j)$  mit einem Cache-Miss

d) Was repräsentiert eine Kante des Cachekonfliktgraphen im CFG? Was darf diese nicht beinhalten?

Eine Kante im Cachekonfliktgraphen repräsentiert einen Pfad im Kontrollflussgraphen. Auf diesem Pfad darf kein L-Block liegen, der die gleiche Cache-Zeile verwendet.

### Aufgabe 3.06: Erweiterung WCET

Gegeben ist ein CFG mit vier Basis-Blöcken bestehend aus jeweils zwei L-Blöcken. Auf der rechten Seite sind die Cache-Zeilen der L-Blöcke angegeben. So verwenden z.B. B2,1 und B3,1 beide die zweite Cache-Zeile und stehen somit im Konflikt.

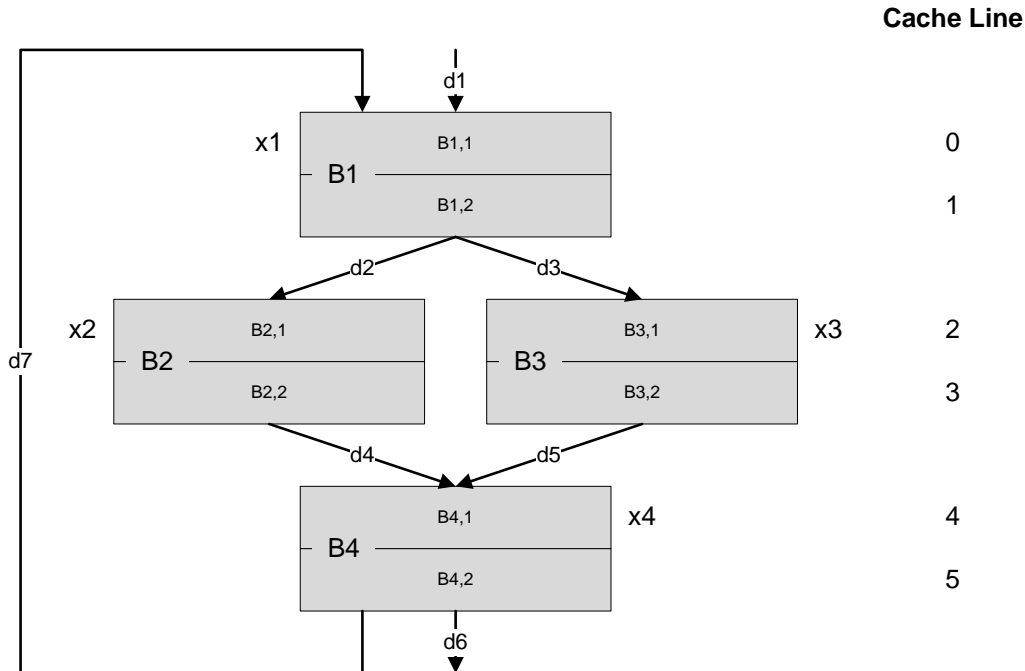


Figure 3.2: Kontrollflussgraph (CFG) mit Cache-Line Mapping

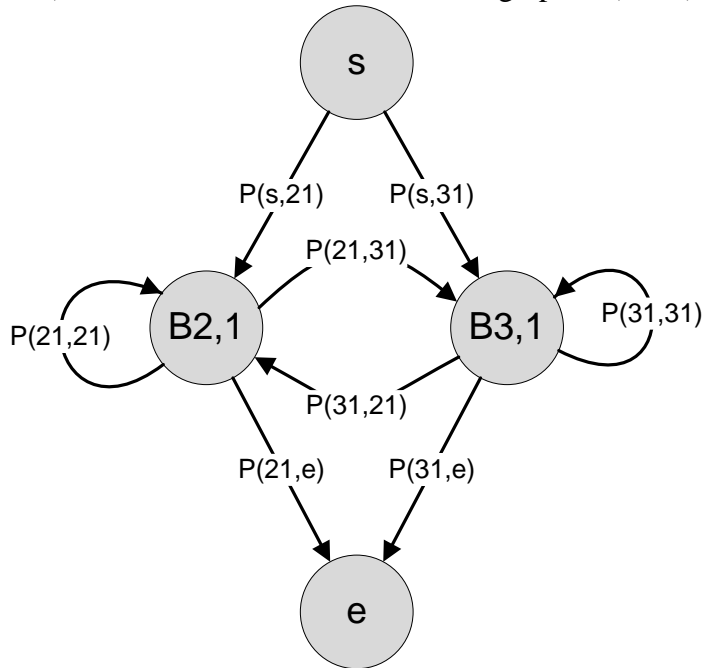
a) Formulieren Sie die strukturellen Constraints aus den Flussgleichungen des CFGs.

$$\begin{aligned}
 x_1 &= d_7 + d_1 = d_2 + d_3 \\
 x_2 &= d_2 = d_4 \\
 x_3 &= d_3 = d_5 \\
 x_4 &= d_4 + d_5 = d_6 + d_7
 \end{aligned}$$

b) Formulieren Sie die allgemeinen Bedingungen, die für das erweiterte WCET ILP-Modell notwendig sind.

$$\begin{aligned}
 x_1 &= x_{1,1} = x_{1,1}^{hit} + x_{1,1}^{miss} & x_1 &= x_{1,2} = x_{1,2}^{hit} + x_{1,2}^{miss} \\
 x_2 &= x_{2,1} = x_{2,1}^{hit} + x_{2,1}^{miss} & x_2 &= x_{2,2} = x_{2,2}^{hit} + x_{2,2}^{miss} \\
 x_3 &= x_{3,1} = x_{3,1}^{hit} + x_{3,1}^{miss} & x_3 &= x_{3,2} = x_{3,2}^{hit} + x_{3,2}^{miss} \\
 x_4 &= x_{4,1} = x_{4,1}^{hit} + x_{4,1}^{miss} & x_4 &= x_{4,2} = x_{4,2}^{hit} + x_{4,2}^{miss}
 \end{aligned}$$

c) Zeichnen Sie den Cachekonfliktgraphen (CCG) für die zweite Cache-Zeile.



d) Geben Sie die aus dem CCG ableitbaren strukturellen Constraints der zweiten Cache-Zeile an.

|                      |   |
|----------------------|---|
| Flussgleichungen     | $x_2 = x_{2,1} = p_{s,21} + p_{31,21} + p_{21,21} = p_{21,31} + p_{21,e} + p_{21,21}$ $x_3 = x_{3,1} = p_{s,31} + p_{21,31} + p_{31,31} = p_{31,21} + p_{31,e} + p_{31,31}$ |
| Cache-Hits           | $x_{2,1}^{hit} = p_{21,21}$ $x_{3,1}^{hit} = p_{31,31}$   |
| Cache-Miss           | $x_{2,1}^{miss} = p_{s,21} + p_{31,21}$ $x_{3,1}^{miss} = p_{s,31} + p_{21,31}$   |
| Einmalige Ausführung | $p_{s,21} + p_{s,31} + p_{s,e} = 1$   |

e) Geben Sie die strukturellen Constraints für die Cache-Zeilen 0, 1, 4 und 5 an.

$$\begin{aligned}
 x_{1,1}^{miss} &\leq 1 \\
 x_{1,2}^{miss} &\leq 1 \\
 x_{4,1}^{miss} &\leq 1 \\
 x_{4,2}^{miss} &\leq 1
 \end{aligned}$$