P. Thiemann, P. Linkenheil Sommersemester 2005

**Programmanalyse**
http://proglang.informatik.uni-freiburg.de/teaching/programanalysis/2005/

# Übungsblatt 5

Abgabe: 2.6.2005 vorm Tutorat oder per Mail an linkenhe@info...

## Aufgabe 1

Eingabe: $z, n$. Ergebnis: $(z+1) * n$.

$[result := 0]^1$;
while $[n > 0]^2$ do
    if $[n > 1]^3$ then
        $[x := z + 1]^4$;
        $[result := result + x]^5$;
        $[n := n - 1]^{\mathbf{9}}$;
    else
        $[x := z + 1]^6$;
        $[result := result + (x \ll 1)]^7$;
        $[n := n - 2]^8$;
    fi;
od;

1. Führen Sie eine Available Expression Analyse für das oben angegebene Programm exakt durch.
2. Führen Sie ein Very Busy Expression Analyse durch. In Aufgabe 1 auf Blatt 1 wurde diese Analyse schon intuitiv behandelt. Führen Sie nun die Analyse exakt so durch wie im Buch, mit Angabe aller Zwischenergebnisse, wie z.B. den $kill_{VB}$ und $gen_{VB}$ Mengen.

### Anmerkung

Das Label 9 wurde bei der Aufgabenstellung vergessen! Die Reihenfolge der Labels deshalb etwas ungewöhnlich und aus dem Grund wird die 9 rot hervorgehoben.

## Lösungsskizze

Für das Program gilt

$$\mathbf{AExp}_\star = \{z+1, result + x, n-1, x \ll 1, result + (x \ll 1), n-2\}$$

### Available Expression Analyse

Aus Menge $\mathbf{AExp}_\star$ ergeben sich nun die $kill_{AE}$ und $gen_{AE}$ Mengen durch die aus der Vorlesung bekannten Regeln zu:

| $l$ | $kill_{AE}(l)$ | $gen_{AE}(l)$ |
|---|---|---|
| 1 | $\{result + x, result + (x \ll 1)\}$ | $\emptyset$ |
| 2 | $\emptyset$ | $\emptyset$ |
| 3 | $\emptyset$ | $\emptyset$ |
| 4 | $\{result + x, x \ll 1, result + (x \ll 1)\}$ | $\{z+1\}$ |
| 5 | $\{result + x, result + (x \ll 1)\}$ | $\emptyset$ |
| 9 | $\{n-1, n-2\}$ | $\emptyset$ |
| 6 | $\{result + x, x \ll 1, result + (x \ll 1)\}$ | $\{z+1\}$ |
| 7 | $\{result + x, result + (x \ll 1)\}$ | $\{x \ll 1\}$ |
| 8 | $\{n-1, n-2\}$ | $\emptyset$ |

Die Gleichungen für die AExp Analyse lauten deshalb:

$$\begin{aligned}
AE_{entry}(1) &= \emptyset \\
AE_{entry}(2) &= AE_{exit}(1) \cap AE_{exit}(8) \cap AE_{exit}(9) \\
AE_{entry}(3) &= AE_{exit}(2) \\
AE_{entry}(4) &= AE_{exit}(3) \\
AE_{entry}(5) &= AE_{exit}(4) \\
AE_{entry}(9) &= AE_{exit}(5) \\
AE_{entry}(6) &= AE_{exit}(3) \\
AE_{entry}(7) &= AE_{exit}(6) \\
AE_{entry}(8) &= AE_{exit}(7) \\
AE_{exit}(1) &= AE_{entry}(1) \backslash kill_{AE}(1) \\
AE_{exit}(2) &= AE_{entry}(2) \\
AE_{exit}(3) &= AE_{entry}(3) \\
AE_{exit}(4) &= \big(AE_{entry}(4) \backslash kill_{AE}(4)\big) \cup gen_{AE}(4) \\
AE_{exit}(5) &= AE_{entry}(5) \\
AE_{exit}(9) &= AE_{entry}(9)
\end{aligned}$$

$$AE_{exit}(6) = \big(AE_{entry}(6) \backslash kill_{AE}(6)\big) \cup gen_{AE}(6)$$
$$AE_{exit}(7) = \big(AE_{entry}(7) \backslash kill_{AE}(7)\big) \cup gen_{AE}(7)$$
$$AE_{exit}(8) = AE_{entry}(8)$$

Das Anwenden der Gleichungen auf $\mathbf{AExp}_\star$ führt zur Lösung der AExp Analyse:

| $l$ | $AE_{entry}(l)$ | $AE_{exit}(l)$ |
|---|---|---|
| 1 | $\emptyset$ | $\emptyset$ |
| 2 | $\emptyset$ | $\emptyset$ |
| 3 | $\emptyset$ | $\emptyset$ |
| 4 | $\emptyset$ | $\{z+1\}$ |
| 5 | $\{z+1\}$ | $\{z+1\}$ |
| 9 | $\{z+1\}$ | $\{z+1\}$ |
| 6 | $\emptyset$ | $\{z+1\}$ |
| 7 | $\{z+1\}$ | $\{z+1, x \ll 1\}$ |
| 8 | $\{z+1, x \ll 1\}$ | $\{z+1, x \ll 1\}$ |

**Very Busy Expression Analyse**

Mit $\mathbf{AExp}_\star$ ergibt sich:

| $l$ | $kill_{VB}(l)$ | $gen_{VB}(l)$ |
|---|---|---|
| 1 | $\{result + x, result + (x \ll 1)\}$ | $\emptyset$ |
| 2 | $\emptyset$ | $\emptyset$ |
| 3 | $\emptyset$ | $\emptyset$ |
| 4 | $\{result + x, x \ll 1, result + (x \ll 1)\}$ | $\{z+1\}$ |
| 5 | $\{result + x, result + (x \ll 1)\}$ | $\emptyset$ |
| 9 | $\{n-1, n-2\}$ | $\{n-1\}$ |
| 6 | $\{result + x, x \ll 1, result + (x \ll 1)\}$ | $\{z+1\}$ |
| 7 | $\{result + x, result + (x \ll 1)\}$ | $\{x \ll 1\}$ |
| 8 | $\{n-1, n-2\}$ | $\{n-2\}$ |

Als Gleigungen ergeben sich dann:

| $l$ | $VB_{entry}(l)$ | $VB_{exit}(l)$ |
|---|---|---|
| 1 | $VB_{exit}(1)\backslash kill_{VB}(1)$ | $VB_{entry}(2)$ |
| 2 | $VB_{exit}(2)$ | $\emptyset$ |
| 3 | $VB_{exit}(3)$ | $VB_{entry}(4) \cap VB_{entry}(6)$ |
| 4 | $(VB_{exit}(4)\backslash kill_{VB}(4)) \cup gen_{VB}(4)$ | $VB_{entry}(5)$ |
| 5 | $VB_{exit}(5)\backslash kill_{VB}(5)$ | $VB_{entry}(9)$ |
| 9 | $(VB_{exit}(9)\backslash kill_{VB}(9)) \cup gen_{VB}(9)$ | $VB_{entry}(2)$ |
| 6 | $(VB_{exit}(6)\backslash kill_{VB}(6)) \cup gen_{VB}(6)$ | $VB_{entry}(7)$ |
| 7 | $(VB_{exit}(7)\backslash kill_{VB}(7)) \cup gen_{VB}(7)$ | $VB_{entry}(8)$ |
| 8 | $(VB_{exit}(8)\backslash kill_{VB}(8)) \cup gen_{VB}(8)$ | $VB_{entry}(2)$ |

Das Anwenden der Gleichungen auf $\mathbf{AExp}_\star$ führt zur Lösung der VB Analyse:

| $l$ | $VB_{entry}(l)$ | $VB_{exit}(l)$ |
|---|---|---|
| 1 | $\emptyset$ | $\emptyset$ |
| 2 | $\emptyset$ | $\emptyset$ |
| 3 | $\{z+1\}$ | $\{z+1\}$ |
| 4 | $\{n-1, z+1\}$ | $\{n-1\}$ |
| 5 | $\{n-1\}$ | $\{n-1\}$ |
| 9 | $\{n-1\}$ | $\emptyset$ |
| 6 | $\{n-2, z+1\}$ | $\{n-2, x \ll 1\}$ |
| 7 | $\{n-2, x \ll 1\}$ | $\{n-2\}$ |
| 8 | $\{n-2\}$ | $\emptyset$ |

## Aufgabe 2

Ein *Basic Block* ist eine maximale Folge von Statements, so dass

- alle Transfers in diesen Block auf das erste Statement gehen und
- alle Transfers aus diesem Block im letzten Statement geschehen.

Das heißt, falls der Basic Block ausgeführt wird, werden alle Statements der Reihe nach sequentiell abgearbeitet. Ein Basic Block hat also die Form

$$[x_1 := a_1; \dots x_n := a_n; B]^l$$

mit $n \leq 0$ und $B$ gleich $x := a$, `skip` oder $b$. Formulieren Sie die Reaching Definitions Analyse so um, dass immer ein ganzer Basic Block auf einmal analysiert wird. Überlegen Sie dazu wie sich die *gen* und *kill* Mengen durch einen Basic Block hindurch propagieren lassen.

## Lösungsskizze

Der Fall das $B$ gleich $x := a$ muss nicht behandelt werden, er kann durch Erhöhen des $n$ behandelt werden.

$$
\begin{aligned}
kill_{RD}([x_1 := a_1; \dots x_n := a_n; \texttt{skip}]^l) &= \bigcup_{1 \le i \le n} \{(x_i, l') \mid l' \in \mathbf{Lab}_\star\} \\
kill_{RD}([x_1 := a_1; \dots x_n := a_n; b]^l) &= \bigcup_{1 \le i \le n} \{(x_i, l') \mid l' \in \mathbf{Lab}_\star\} \\
gen_{RD}([x_1 := a_1; \dots x_n := a_n; \texttt{skip}]^l) &= \bigcup_{1 \le i \le n} \{(x_i, l)\} \\
gen_{RD}([x_1 := a_1; \dots x_n := a_n; b]^l) &= \bigcup_{1 \le i \le n} \{(x_i, l)\}
\end{aligned}
$$