Kapitel 10: Maschinenunabhängige Optimierungen

Optimierungen

Automatische Optimierungen sind nötig, weil

- unoptimierter Code meist besser lesbar ist.

```
x = 5 * y;          <=> x = (y >> 2) + y;
```

- höhere Programmiersprachen oft Redundanz erzwingen (z.B. Arrayzugriffe).

```
                        offset1 = i * sizeof(int);
                        *a_i1 = &a + offset1;
x = a[i] + a[i];    ==> offset2 = i * sizeof(int);
                        *a_i2 = &a + offset2;
                        x = *a_i1 + *a_i2;
```

Gesucht sind sematikerhaltende Transformationen die bezüglich eines Kostenmodels optimieren.

Prinzip von Kostenmodellen bei Optimierungen

Kostenmodell: Laufzeit eines Programms, eventuell kombiniert mit Energieverbrauch

- Speicherbedarf kann in Laufzeit umgerechnet werden
  - daher ist oft auch Verkürzung des Codes Laufzeitoptimierung
- Statisch nur konservativ abschätzbar wegen Unkenntnis der
  - Anzahl Wiederholungen von Schleifen
  - Sprungbedingungen
- Selbst bei linearem Code nicht statisch bekannt
  - Befehlsanordnung durch Prozessor
  - Pufferspeicher (Cache): Zugriffe auf Speicher sind datenabhängig
  - Fließbandverarbeitung im Prozessor

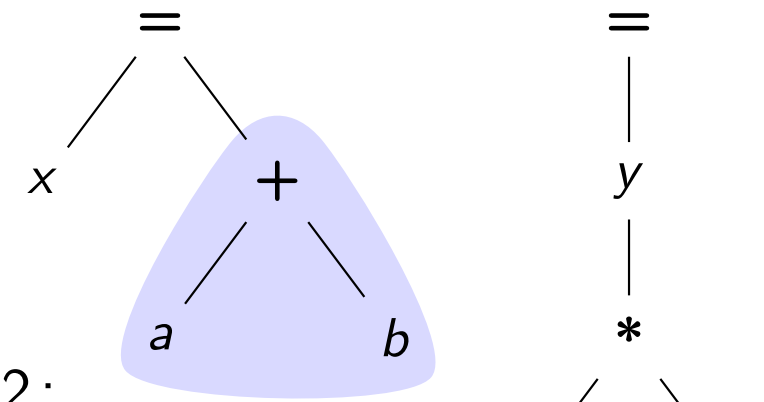
Laufzeit gewöhnlich $\neq$ Summe der Laufzeiten der einzelnen Befehle!

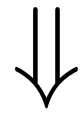
Optimierungen

- Gemeinsame Teilausdrücke
- Kopiepropagation
- Konstanten Falten
- Eliminieren von totem Code
- Codeverschiebung
- Induktionsvariablen und Kostenreduktion
- Load/Store Optimierung
- Arithmethische Vereinfachung
- Ausrollen von Schleifen
- Offener Einbau von Prozeduren (Inlining)
- If Konversion
- ...

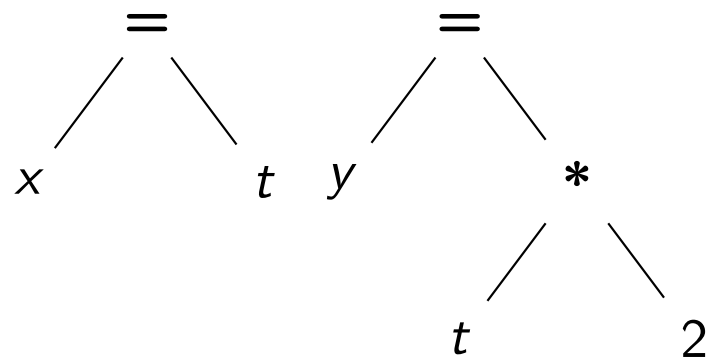
Gemeinsame Teilausdrücke

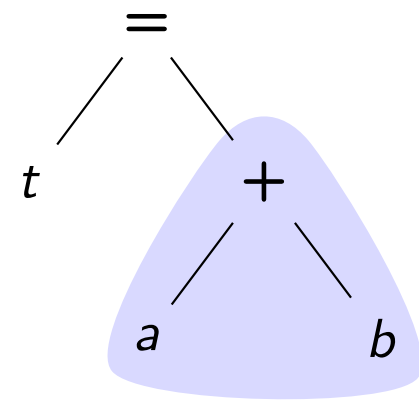
```
x = a + b;
y = (a + b) * 2;
```





```
t = a + b;
x = t;
y = t * 2;
```





Kopiepropagation

- Entfernt Kopieranweisungen der Form u = v
- Kopien entstehen z.B. durch entfernen gemeinsamer Teilausdrücke

$$\begin{array}{l} u = v \\ w = u + 3 \end{array} \quad \Longrightarrow \quad w = v + 3$$

Konstanten Falten

- Berechne (Teil-)Ausdrücke mit konstanten Operanden
- Wert von Variablen zur Übersetzungszeit bekannt $\Rightarrow$ Kontrollkonstrukte statisch auswerten
- Zu faltende Konstanten werden zu 80 bis 90% bei der Adreßrechnung erzeugt.

```
debug = FALSE
if (debug) {
   print "foo"
} else {
   print "bar"
}
```

$\Longrightarrow$

```
if (FALSE) {
   print "foo"
} else {
   print "bar"
}
```

Eliminieren von totem Code

Toter Code : Anweisungen die niemals ausgeführt werden können

- kann als Ergebnis vorangegangener Transformationen auftreten

```
if (FALSE) {
   print "foo"
} else {
   print "bar"
}
```

$\Rightarrow$ `print "bar"`

Codeverschiebung

- Optimierung für Schleifen
- Verringert die Anzahl der Befehle einer inneren Schleife
- Zieht schleifeninvariante Berechnungen vor die Schleife

```
while (i <= limit - 2) {
  /* Anweisung aendert limit nicht */
}
```

```
t = limit - 2
while (i <= t) {
  /* Anweisung aendert limit oder t nicht */
}
```

Induktionsvariablen und Kostenreduktion

Induktionsvariable v: Der Wert der Variable v erhöht sich bei jeder Anweisung um eine positive oder negative Konstante c

Kostenreduzierung (strength reduction) : Transformation von aufwändigen durch preiswertere Operationen (z.B. Multiplikation durch Addition)

```
                                    x = 0
for (i=0; i<10; ++i) {  ⟹   for (i=0; i<10; ++i) {
    x = 13 * i                      x = x + 13
}                                   }
```

Load/Store Optimierung

- Entfernen unnötiger Zugriffe auf den Heap
- Vorsicht: Aliase, Threads, ...

```
                                    t = Q
// store a.x                        // store a.x
a.x = Q                             a.x = t

/* a.x wird nicht */  ⟹            /* a.x wird nicht */
/* veraendert                       /* veraendert
*/                                  */

// load a.x
x = a.x                             x = t
```

Arithmetische Vereinfachung

- Vereinfachung arithmetischer Ausdrücke
- Bevorzugen preiswerter Operationen

$$
\begin{array}{lll}
x = -a + b & & x = a - b \\
y = c * a + c * b & & y = c * (a + b) \\
z = a + b + c - (a + b) & \Rightarrow & z = c \\
v = 0 + v & & v = v \\
w = 1 \,\&\, w & & w = w
\end{array}
$$

Ausrollen von Schleifen

- Das Auswerten der Abbruchbedingung ist ein Kostenfaktor
- Verbesserung der Geschwindigkeit auf Kosten der Größe

```
for (i=1; i<=3; i++) {
  print i
}
```

$\Rightarrow$

```
print 1
print 2
print 3
```

```
for (x=1; x<=1000; x++) {
  foo(x)
}
```

$\Rightarrow$

```
for (x=1; x<=1000; x+=5) {
  foo(x)
  foo(x + 1)
  foo(x + 2)
  foo(x + 3)
  foo(x + 4)
}
```

Offener Einbau von Prozeduren (Inlining)

- In Prozedur p, ersetze Prozeduraufruf an q durch den Rumpf von q unter Ersetzung der formalen Parameter durch die Argumente des Aufrufs.
- Verwaltungsaufwand für Prozeduraufruf:
  - Ablage der Argumente durch den Aufrufer
  - Sichern des Kontextes des Aufrufers
  - Erstellen des Stackframes der aufgerufenen Prozedur
  - Abbau des Stackframes der aufgerufenen Prozedur
  - Wiederherstellen des Kontextes des Aufrufers
  - Rückgabe des Ergebnisses an den Aufrufer
- Wird q an allen Aufrufstellen offen eingebaut, dann ist q redundant
- Optimierung des offen eingebauten Codes im Kontext der Aufrufer

Offener Einbau von Prozeduren (Inlining)

```
int add(int a, int b) {
    return a + b;
}

int main() {
    return add(3, 4);
}
```

$\Longrightarrow$

```
int main() {
    return 3 + 4;
}
```

Offener Einbau von Prozeduren (Inlining)

```
_add:
    pushl %ebp
    movl %esp, %ebp
    subl $8, %esp
    movl 12(%ebp), %eax
    addl 8(%ebp), %eax
    leave
    ret
_main:
    pushl %ebp
    movl %esp, %ebp
    subl $24, %esp
    movl $4, 4(%esp)
    movl $3, (%esp)
    call _add
    leave
    ret
```

$\Rightarrow$

```
_main:
    pushl %ebp
    movl %esp, %ebp
    subl $8, %esp
    movl $4, %ebx
    movl $3, %eax
    addl %ebx, %eax
    leave
    ret
```

If Konversion

- Vermeiden falscher Sprungvorhersagen ($\rightarrow$ Verlust vieler Takte bei Fließbandverarbeitung)
- Parallele Berechnung + spätere Auswahl

```
if (<expr>) {
   x = 3 + y;
} else {
   x = 2 + z;
}
```

$\Longrightarrow$

```
flag = <expr>
x1 = 3 + y
x2 = 2 + z
x = (flag ? x1 : x2)
```