

第 11 章 代码优化

第 1 题

何谓代码优化？进行优化所需要的基础是什么？

答案：

对代码进行等价变换，使得变换后的代码运行结果与变换前代码运行结果相同，而运行速度加快或占用存储空间减少，或两者都有。

优化所需要的基础是在中间代码生成之后或目标代码生成之后。

第 2 题

编译过程中可进行的优化如何分类？

答案：

依据优化所涉及的程序范围，可以分为：局部优化、循环优化和全局优化。

第 3 题

最常用的代码优化技术有哪些？

答案：

1. 删除多余运算
2. 代码外提
3. 强度削弱
4. 变换循环控制条件
5. 合并已知量与复写传播
6. 删除无用赋值

第 4 题

图 11.23 是图 11.22 的 C 代码的部分三地址代码序列。

```
void quicksort(m,n)
int m,n;
{ int i,j;
  int v,x; if (n<=m) return;
  /* fragment begins here */
  i = m-1;
  j = n;
  v = a[n];
  while(1) {
    do i = i+1; while (a[i]<v);
    do j = j-1; while (a[j]>v);
    if (i>=j) break;
    x = a[i];
    a[i] = a[j];
    a[j] = x;
  }
  x = a[i];
  a[i] = a[n];
  a[n] = x;
  /* fragment ends here */
  quicksort (m,j);
  quicksort(i+1,n);
}
```

图 11.22

- (1) i:=m-1
- (2) j:=n
- (3) t1:=4*n
- (4) v:=a[t1]
- (5) i:=i+1
- (6) t2:=4*i
- (7) t3:=a[t2]
- (8) if t3< v goto (5)
- (9) j:=j-1
- (10) t5:=4*j
- (11) t5:=a[t4]
- (12) if t5> v goto (9)
- (13) if i >= j goto (23)

```

(14) t6:=4*i
(15) x:=a[t6] (16) t7:=4*i
(17) t6:=4*j
(18) t9:=a[t8]
(19) a[t7]:=t9
(20) t10:=4*j
(21) a[t10]:=x
(22) goto (5)
(23) t11:=4*i
(24) x:=a[t11]
(25) t12:=4*i
(26) t13:=4*n
(27) t14:=a[t13]
(28) a[t12]:=t14
(29) t15:=4*n
(30) a[t15]:=x

```

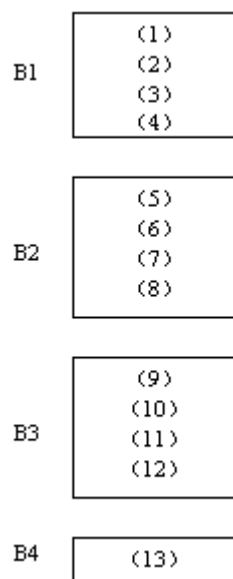
图 11.23

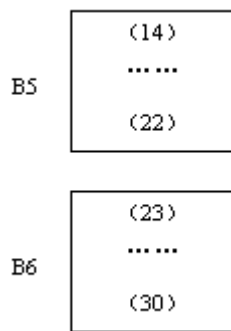
- (1) 请将图 11.23 的三地址代码序列划分为基本块并做出其流图。
- (2) 将每个基本块的公共子表达式删除。
- (3) 找出流图中的循环,将循环不变量计算移出循环外。
- (4) 找出每个循环中的归纳变量,并在可能的地方删除它们。

答案:

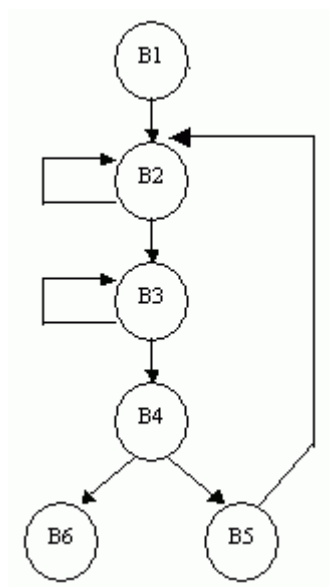
(1)

基本块





流图



(2)

B5 中 (14) 和 (16) 是公共子表达式、(17) 和 (20) 是公共子表达式, B5 变为

(14) $t_6 := 4 * I$

(15)

(16) $t_7 := t_6$

(17) $t_8 := 4 * J$

...

(20) $t_{10} := t_8$

(21)

(22)

B6 中 (23) 和 (25) 是公共子表达式、(26) 和 (29) 是公共子表达式, B6 变为

(23) $t_{11} := 4 * I$

(24)

(25) $t_{12} := t_{11}$

(26) $t_{13} := 4 * n$

...

(29) $t_{15} := t_{13}$

(3)

循环

① {B2}

② {B3}

③ {B2, B3, B4, B5}

(4)

在循环{B2, B3, B4, B5}中，原来的(14)(17)都可以删除。

第5题:

如下程序流图(图 11.24)中, B3 中的 $i:=2$ 是循环不变量, 可以将其提到前置结点吗? 你还能举出一些例子说明循环不变量外移的条件吗?

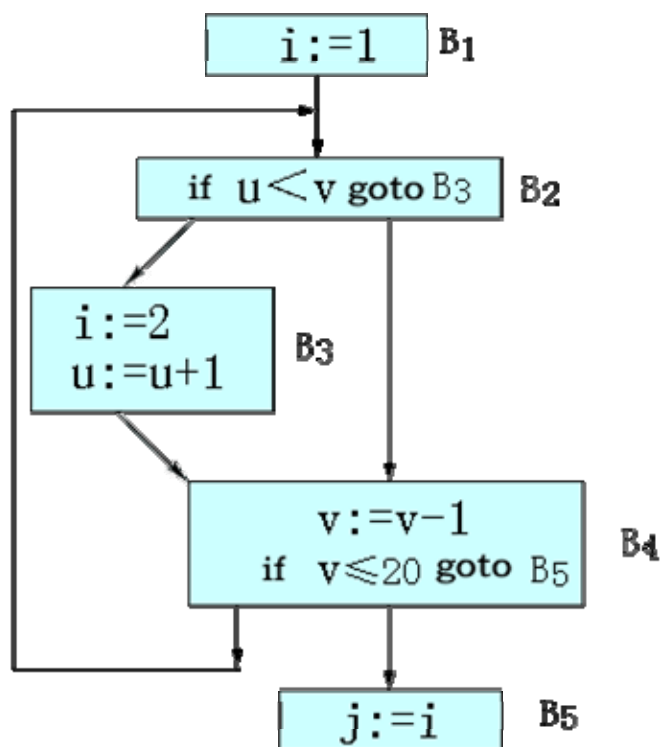


图 11.24

答案:

不能。因为 B3 不是循环出口 B4 的必经结点。

循环不变量外移的条件外有:

(a) (I)s 所在的结点是 L 的所有出口结点的必经结点

(II)A 在 L 中其他地方未再定值

(III)L 中所有 A 的引用点只有 s 中 A 的定值才能到达

(b) A 在离开 L 之后不再是活跃的, 并且条件(a)的(II)和(III)成立。所谓 A 在离开 L 后不再是活跃的是指, A 在 L 的任何出口结点的后继结点的入口处不是活跃的(从此点后不被引用)(3)按步骤(1)所找出的不变运算的顺序, 依次把符合(2)的条件(a)或(b)的不变运算 s 外提到 L 的前置结点中。如果 s 的运算对象(B 或 C)是在 L 中定值的, 则只有当这些定值四元式都已外提到前置结点中时, 才可把 s 也外提到前置结点。

第 6 题

试对以下基本块 B1 和 B2:

B1:

A: =B*C

D: =B/C

E: =A+D

F: =2*E

G: =B*C

H: =G*G

F: =H*G

L: =F

M: =L

B2:

B: =3

D: =A+C

E: =A*C

F: =D+E

G: =B*F

H: =A+C

I: =A*C

J: =H+I

K: =B*5

L: =K+J

M: =L

分别应用 DAG 对它们进行优化, 并就以下两种情况分别写出优化后的四元式序列:

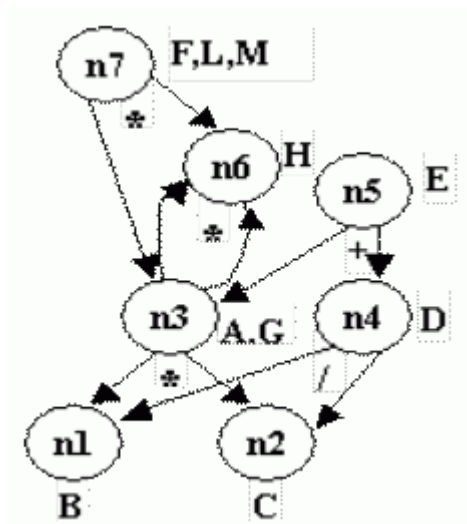
(1) 假设只有 G、L、M 在基本块后面还要被引用。

(2) 假设只有 L 在基本块后面还要被引用。

答案:

B1:

基本块对应的 DAG 如下:



根据 DAG 图,优化后的语句序列为

A: $=B * C$
 G: $=A$
 D: $=B / C$
 E: $=A + D$
 H: $=A * A$
 F: $=A * H$
 L: $=F$
 M: $=F$

(1) 假设只有 G、L、M 在基本块后面还要被引用;

S1: $=B * C$
 G: $=S1$
 S2: $=S1 * S1$
 S3: $=S1 * S2$
 L: $=S3$
 M: $=S3$

(2) 假设只有 L 在基本块后面还要被引用;

S1: $=B * C$
 S2: $=S1 * S1$
 S3: $=S1 * S2$
 L: $=S3$

(备注: S1, S2, S3 为新引入的临时变量)

或者:

优化后的四元式序列：

对假设(1)有

$G := B * C$

$H := G * G$

$L := H * G$

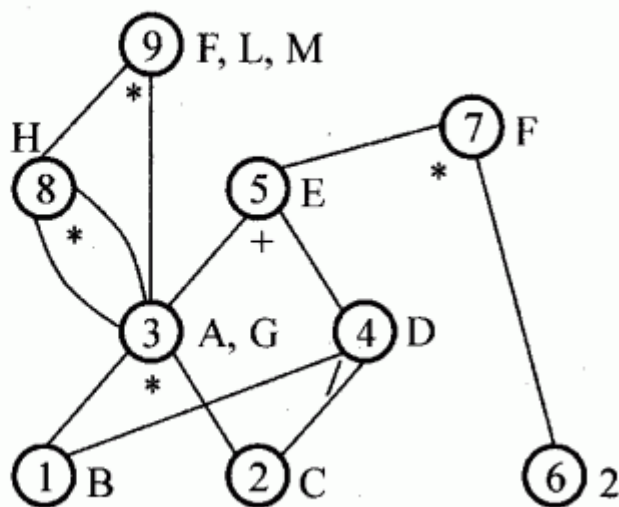
$M := L$

对假设(2)有

$G := B * C$

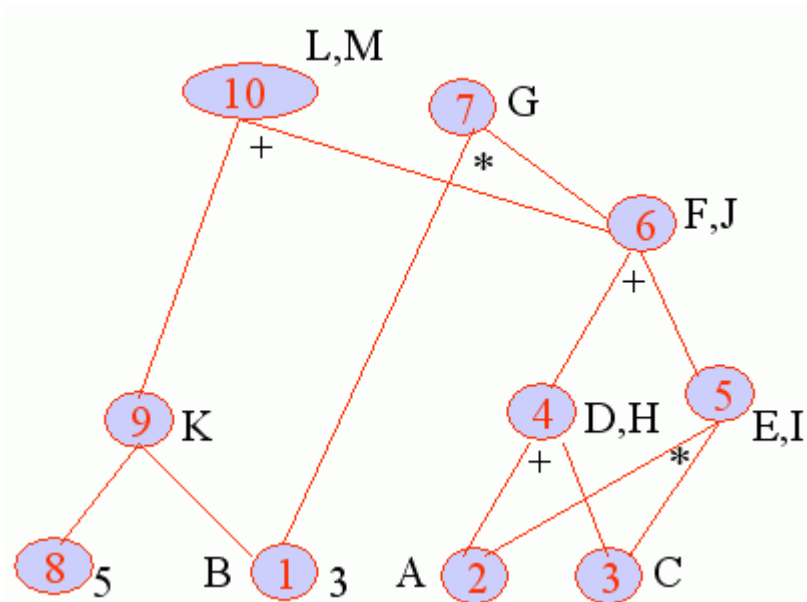
$H := G * G$

$L := H * G$



B2:

基本块对应的 DAG 如下：



优化后的四元式序列：

对假设 (1)

$B := 3$

D:=A+C
E:=A*C
F:=D+E
G:=B*F
K:=B*5
L:=K+F
M:=L

对假设（2）

B:=3
D:=A+C
E:=A*C
F:=D+E
K:=B*5
L:=K+F

第 7 题

分别对图 11.25 和 11.26 的流图：

- (1) 求出流图中各结点 n 的必经结点集 $D(n)$ 。
- (2) 求出流图中的回边。
- (3) 求出流图中的循环。

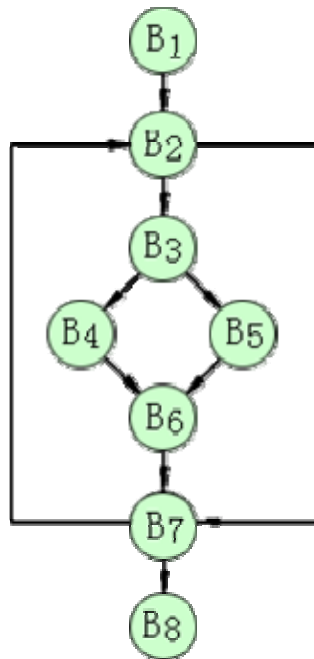


图 11.25

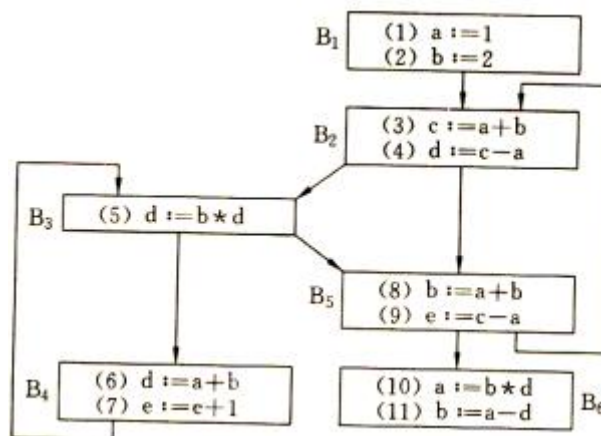


图 11.26

答案:

对图 11.25:

(1) 流图中各结点 N 的必经结点集 $D(n)$:

$D(1)=\{1\}$

$D(2)=\{1,2\}$

$D(3)=\{1,2,3\}$

$D(4)=\{1,2,3,4\}$

$D(5)=\{1,2,3,5\}$

$D(6)=\{1,2,3,6\}$

$D(7)=\{1,2,7\}$

$D(8)=\{1,2,7,8\}$

(2) 回边: $7 \rightarrow 2$

(3) 循环: $\{2, 3, 4, 5, 6, 7\}$

对图 11.26:

(1) 流图中各结点 N 的必经结点集 $D(n)$:

$D(1)=\{1\}$

$D(2)=\{1,2\}$

$D(3)=\{1,2,3\}$

$D(4)=\{1,2,3,4\}$

$D(5)=\{1,2,5\}$

$D(6)=\{1,2,5,6\}$

(2) 求出流图中的回边:

$5 \rightarrow 2, 4 \rightarrow 3$

(3) 求出流图中的循环:

回边 $5 \rightarrow 2$ 对应的循环: $\{2, 5, 3, 4\}$

回边 $4 \rightarrow 3$ 对应的循环: $\{3, 4\}$

附加题

问题 1:

给出如下 4 元式序列:

- (1) J:=0;
- (2)L1:I:=0;
- (3) IF I<8, goto L3;
- (4)L2:A:=B+C;
- (5) B:=D*C;
- (6)L3:IF B=0, goto L4;
- (7) Write B;
- (8) goto L5;
- (9)L4:I:=I+1;
- (10) IF I<8, goto L2;
- (11)L5:J:=J+1;
- (12) IF J<=3, goto L1;
- (13) STOP

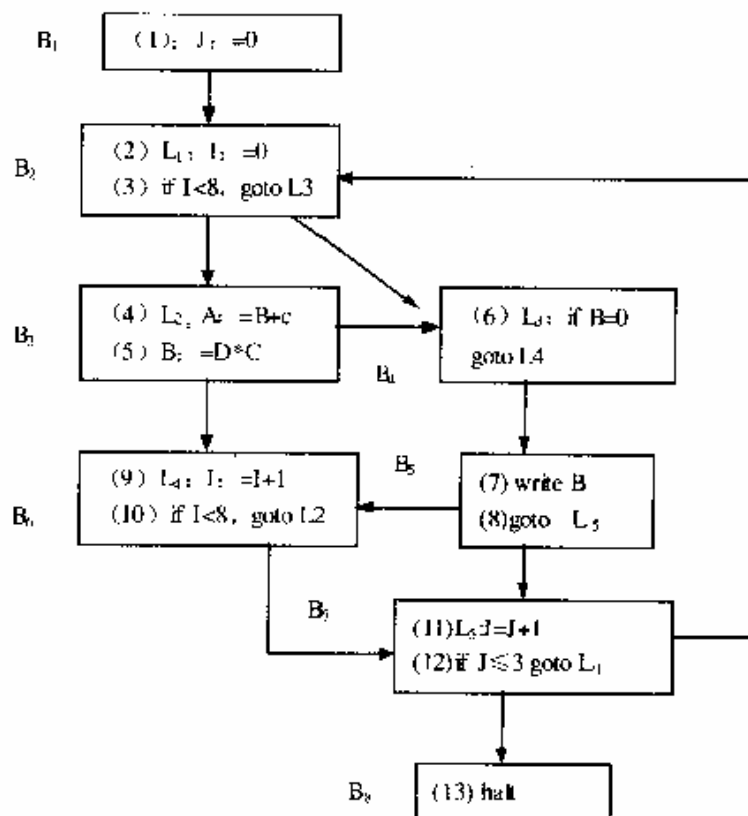
- ①画出上述 4 元式序列的程序流程图 G,
- ②求出 G 中各结点 N 的必经结点集 D(n),
- ③求出 G 中的回边与循环。

答案:

①四元式程序基本块入口语句的条件是:

- (1)它们是程序的第一个语句; 或,
- (2)能由条件转移语句或无条件转移语句转移到的语句; 或,
- (3)紧跟在条件转移语句后的语句。
- (4)根据这 3 个条件, 可以判断, 设 1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 11, 13 为入口语句, 故基本块为 1, 2/3, 4/5, 6, 7/8, 9/10, 11/12, 13,

故可画出程序流程图如下图所示:



② $D(1)=\{1\}$, $D(2)=\{1, 2\}$, $D(3)=\{1, 2, 3\}$, $D(4)=\{1, 2, 4\}$, $D(5)=\{1, 2, 4, 5\}$, $D(6)=\{1, 2, 4, 6\}$, $D(7)=\{1, 2, 4, 7\}$, $D(8)=\{1, 2, 4, 7, 8\}$, 即为所求必经结点集。

③回边的定义为: 假设 $a \rightarrow b$ 为流图中一条有向边, 若 $b \text{ DOM } a$, 则 $a \rightarrow b$ 为流图中一条回边。故当已知必经结点集时, 可立即求出所有回边。

易知本题回边只有 $7 \rightarrow 2$ 。(按递增顺序考察所有回边。)

称满足如下两个条件的结点序列为一个循环。

(1)它们强连通, 即任意两个结点, 必有一通路, 且该通路上各结点都属于该结点序列, 如序列只包含一个结点, 则必有一有向边从该结点引到自身。

(2)它们中间有一个而且只有一个是入口结点。所谓入口结点, 是指序列中具有下列性质的结点, 从序列外某结点有一有向边引到它, 或它就是程序流图的首结点。

求出回边 $7 \rightarrow 2$, 可知循环为 234567, 即为所求。

问题 2:

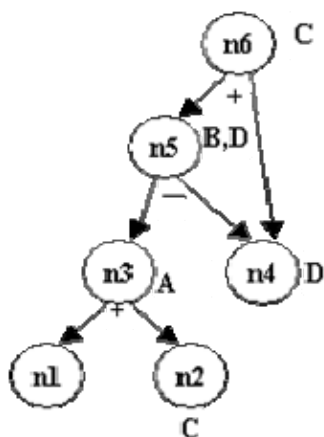
基本块的 DAG 如下图所示, 若(1)B 在该基本块出口处不活跃,(2)B 在该基本块出口处活跃的, 请分别给出以下代码经过优化后的代码。

A:=B+C

B:=A-D

C:=B+C

D:=A-D



答案:

①当 B 在出口不活跃时, 则 B 在外面就无用了, 故 B:=A-D 这条赋值语句可删去, 另外, 由于代码生成方面的关系, 可把 D 的赋值语句提前到 C 的赋值语句以前。

故得到:

A:=B+C

D:=A-D

C:=D+C

②当 B 在出口活跃时, 则 B 在出口处要引用, B 的赋值语句就不可删去了, 然而 D 与 B 完全一样, 故 D 的赋值语句可简化, 得:

A:=B+C

B:=A-D

D:=B

C:=B+C