

HW5 第八/九章

```
for (i=0; i<n; i++)
    for (j=0; j<n; j++)
        c[i][j] = 0.0;
for (i=0; i<n; i++)
    for (j=0; j<n; j++)
        for (k=0; k<n; k++)
            c[i][j] = c[i][j] + a[i][k]*b[k][j];
```

图 1. 一个矩阵相乘算法

问题 1. (原书8.4.1,薄书8.4.1)图1中是一个简单的矩阵乘法程序。

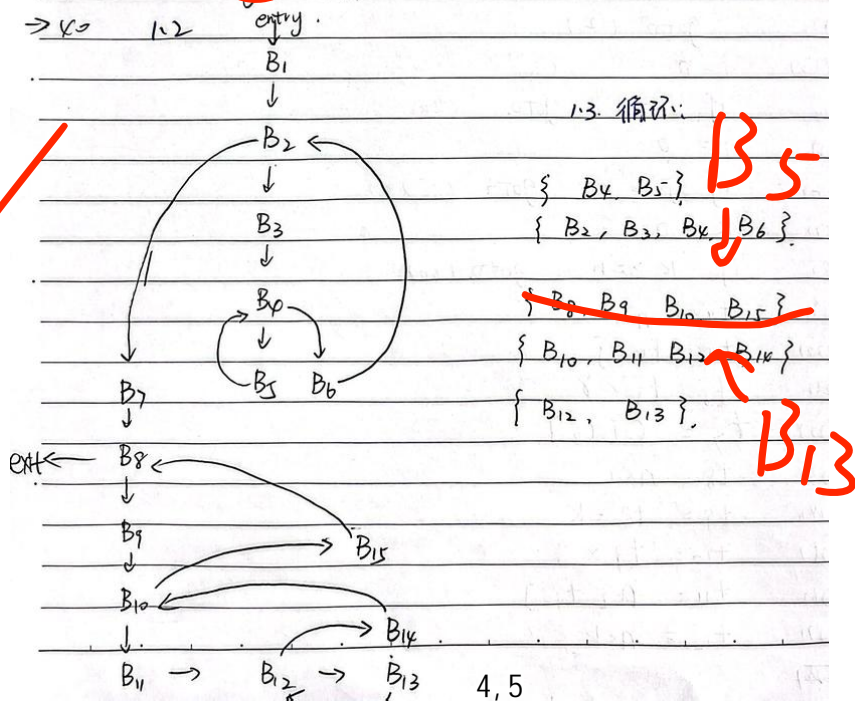
1. 假设矩阵元素是需要8个字节的数值，并且矩阵按行存放。把程序翻译成我们在本节中一直在使用的那种三地址语句。（可参考书中图8-7与图8-8）
2. 为上一小问中得到的代码构造流图
3. 找出上一小问中得到的流图的循环

•

问题1

(1) $i = 0$ B_1
 (2) if $i \geq n$ goto (13) B_2
 (3) $j = 0$ B_3
 (4) if $j \geq n$ goto (11) B_4
 (5) $t_1 = n \times i$ B_5
 (6) $t_2 = t_1 + j$
 (7) $t_3 = t_2 \times 8$
 (8) $C[t_3] = 0.0$
 (9) $j = j + 1$
 (10) goto (4) B_6
 (11) $i = i + 1$ B_6
 (12) goto (2) B_7
 (13) $i = 0$ B_7
 (14) if $i \geq n$ goto (40) B_8
 (15) $j = 0$ B_8
 (16) if $j \geq n$ goto (38) B_{10}
 (17) $k = 0$ B_{11}
 (18) if $k \geq n$ goto (36) B_{12}
 (19) $t_4 = n \times i$ B_{13}
 (20) $t_5 = t_4 + j$
 (21) $t_6 = t_5 \times 8$
 (22) $t_7 = C[t_6]$
 (23) $t_8 = n \times i$
 (24) $t_9 = t_8 + k$
 (25) $t_{10} = t_9 \times 8$
 (26) $t_{11} = A[t_{10}]$
 (27) $t_{12} = n \times k$

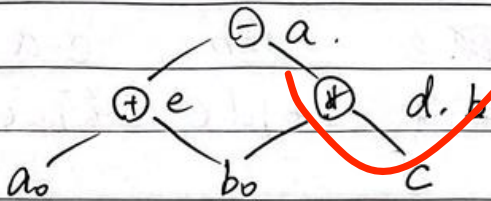
(28) $t_{13} = t_{12} + j$
 (29) $t_{14} = t_{13} \times 8$
 (30) $t_{15} = b[t_{14}]$
 (31) $t_{16} = t_{11} \times t_{15}$
 (32) $t_{17} = t_7 + t_{16}$
 (33) $C[t_6] = t_{17}$ --- 理论上这里还要再算一次 t_6
 (34) $k = k + 1$
 (35) goto (18) B_{14}
 (36) $j = j + 1$ B_{14}
 (37) goto (16) B_{15}
 (38) $i = i + 1$ B_{15}
 (39) goto (14) B_{15}
 (40) exit



问题2. (原书8.5.1, 薄书8.5.1) 为下面的基本块构造DAG

$d = b * c$
 $e = a + b$
 $b = b * c$
 $a = e - d$

问题2



4, 5
 2, 3, 4, 5, 6
 12, 13
 10, 11, 12, 13, 14
 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15

问题 3. (原书8.6.1(1),8.6.4(1);薄书8.6.1(1),8.6.4(1))

为下面的C语言赋值语句生成三地址代码

$$x = a + b * c$$

假设有三个可用的寄存器，使用8.6节给出的简单代码生成算法将三地址代码翻译为机器代码。请给出每个步骤之后的寄存器和地址描述符。

问题 3.

三地址代码.

$$t_1 = b * c$$

$$t_2 = a + t_1$$

$$x = t_2$$

$$x = a + t_1$$

机器代码.

R_1	R_2	R_3	a	b	c	x	t_1	t_2
			a	b	c	x		

$t_1 = b * c$
 $\left\{ \begin{array}{l} \text{LD } R_1, b \\ \text{LD } R_2, c \\ \text{MUL } R_3, R_1, R_2 \end{array} \right.$

b	c	t_1	a	b	c	x	R_3	
-----	-----	-------	-----	-----	-----	-----	-------	--

$t_2 = a + t_1$
 $\left\{ \begin{array}{l} \text{LD } R_1, a \\ \text{ADD } R_2, R_1, R_3 \end{array} \right.$

a	t_2	t_1	a	R_1	b	c	x	R_3
-----	-------	-------	-----	-------	-----	-----	-----	-------

$x = t_2$ ST x, R_2

a	t_2, x	t_1	a	R_1	b	c	x, R_2	R_3
-----	----------	-------	-----	-------	-----	-----	----------	-------

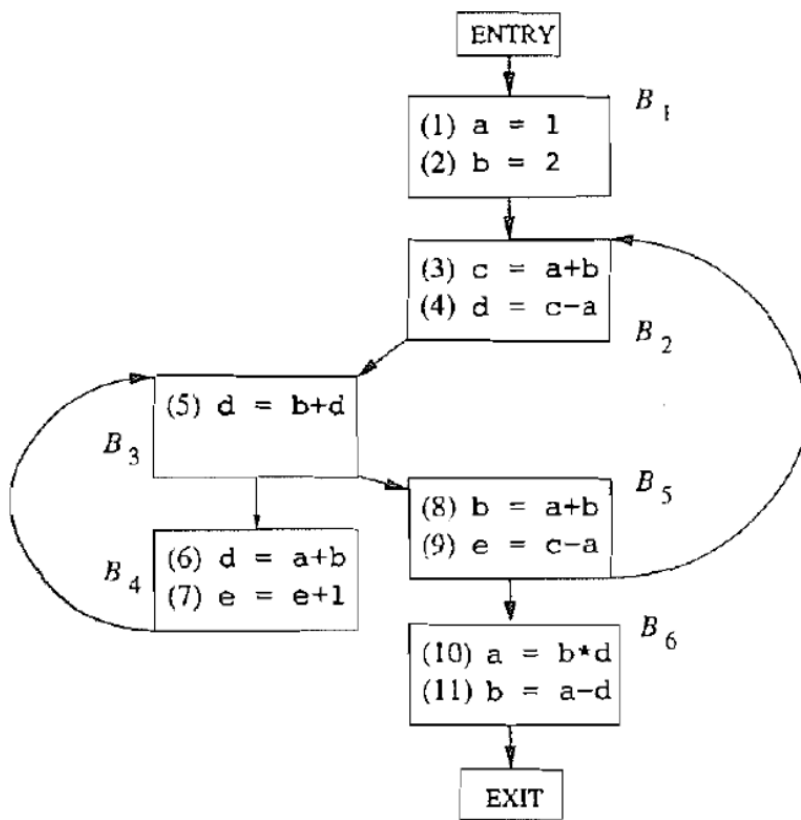


图2：一个流图

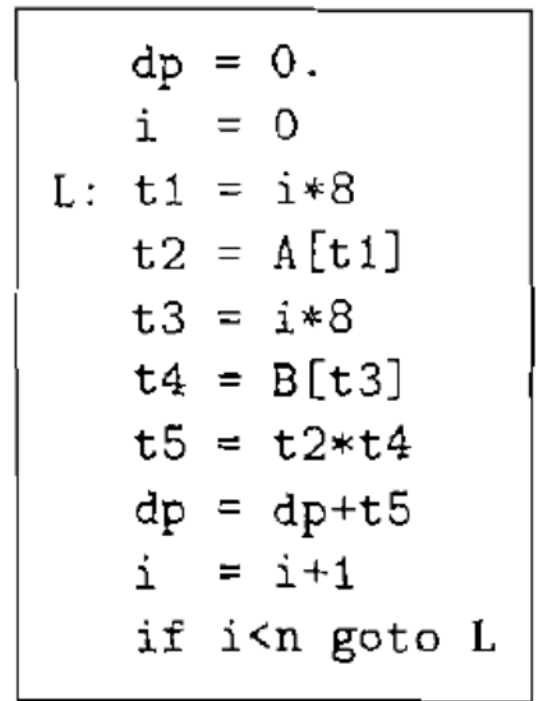


图 3. 计算点积的中间代码

问题 4. (原书9.1.1, 薄书9.1.1) 对于图2中的流图：

1. 找出流图中的循环。
2. B_1 中语句(1)和(2)都是复制语句。其中 a 和 b 都被赋予了常量值。我们可以对 a 和 b 的哪些使用进行复制传播，并把对它们的使用替换为对一个常量的使用？在所有可能的地方进行这种替换。
3. 对每个循环，找出所有的全局公共子表达式
4. 寻找每个循环中的归纳变量。同时要考虑在(2)中引入的所有常量。
5. 寻找每个循环的全部循环不变计算。

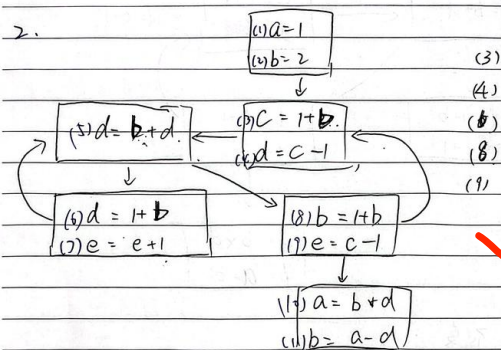
问题4

1. 循环:

$\{B_2, B_3, B_5\}$

$\{B_3, B_4\}$

2.



3. 对于 B_2, B_4 循环 $a+b$ 和 $c-a$ 即 a 和 $c-1$

B_2 中计算了 $a+b$ 和 $c-a$

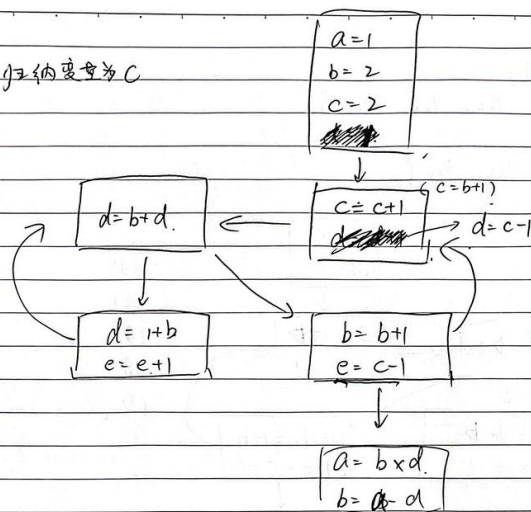
并在一次循环中使用 $a+b$ 和 $c-a$ 时, a, b, c 均未被重赋值。

4. (3) 对 c 赋值使 $c+1$ (4) ~~对 d 赋值使 $d+1$~~

内: e 外: b, c

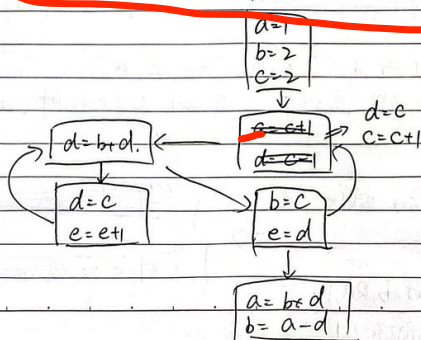
循环不变与公共表达式区分
概念上, 它们都是“冗余的计算”,
但是循环不变计算不需要说明它“是什么”
比如这里内层的不变计算是 $(5)a+b$, 与 c 无关
另外, 外层没有不变计算。

归纳变量为 c



5. 循环不变

内循环 $a+b$ 的计算就是 c , 外循环 $c-1$ 计算为 d



问题 5. (原书9.1.4, 薄书9.1.4) 图3中是用来计算两个向量 A 和 B 的点积的中间代码。尽你所能, 通过下列方式优化这个代码: 消除公共子表达式, 对归纳变量进行强度消减, 消除归纳变量。

问题 5.

$dp = 0$

公共子表达式: $i \times 8$

$i = 0$

$v = i \times 8$ 引入变量 v 每次 $+8$

$t_1 = v$

$t_1 = i \times 8$

$t_2 = A[t_1]$

$t_3 = i \times 8$

$t_3 = v$

$t_4 = B[t_3]$

$t_5 = t_2 \times t_4$

$dp = dp + t_5$

$i = i + 1$

if $i < n$ goto L

代码块

$dp = 0$

$v = 0$

$i = 0$

L: $t_2 = A[v]$

$t_4 = B[v]$

$t_5 = t_2 \times t_4$

$dp = dp + t_5$

$v = v + 8$

$i = i + 1$

if $i < n$ goto L

合并

问题 6. (原书9.2.1, 薄书9.2.1) 对图2中的流图, 计算下列值:

1. 每个基本块的gen和kill集合
2. 到达定值问题中, 每个基本块的IN和OUT集合

问题 6. 求定值.

1. gen, kill 集合.

	gen.	kill
B ₁	{d ₁ , d ₂ }	{d₈, d₁₀, d₁₁}
B ₂	{d ₃ , d ₄ }	{d₅, d₆}
B ₃	{d ₅ }	{d ₄ , d ₆ }
B ₄	{d ₆ , d ₇ }	{d ₄ , d ₅ , d ₉ }
B ₅	{d ₈ , d ₉ }	{d ₂ , d ₇ , d₄ }
B ₆	{d ₁₀ , d ₁₁ }	{d ₁ , d ₂ , d ₈ }

最终结果.

	IN	OUT
B ₁	∅	d ₁ , d ₂
B ₂	{d ₁ , d ₂ , d ₃ , d ₅ , d ₈ , d ₉ }	{d₁, d₂, d₃, d₄, d₆, d₉}
B ₃	{d ₁ , d ₂ , d ₃ , d ₄ , d ₆ , d ₇ , d ₈ , d ₉ }	{d ₁ , d ₂ , d ₃ , d ₅ , d ₇ , d ₈ , d ₉ }
B ₄	{d ₁ , d ₂ , d ₃ , d ₅ , d ₇ , d ₈ , d ₉ }	{d₁, d₂, d₃, d₆, d₇, d₈}
B ₅	同 B ₄	{d ₁ , d ₃ , d ₅ , d ₈ , d ₉ }
B ₆	{d ₁ , d ₃ , d ₅ , d ₈ , d ₉ }	{d₅, d₇, d₉, d₁₀, d₁₁}

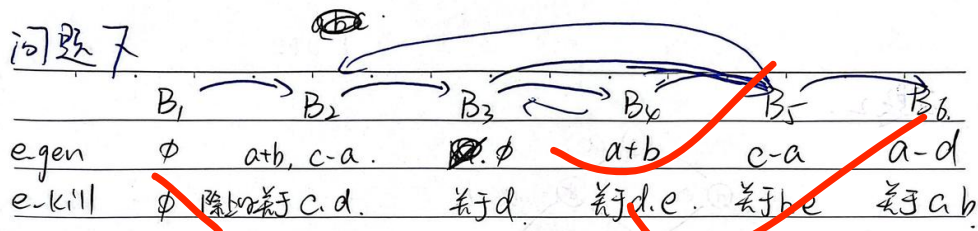
问题 7. (原书9.2.2, 薄书9.2.2) 对于图2中的流图, 计算可用表达式问题中的e_gen, e_kill, IN和OUT集合

问题 8. (原书9.2.3, 薄书9.2.3) 对于图2中的流图, 计算活跃变量分析中的def, use, IN和OUT集合

问题 9. (原书9.6.1, 薄书9.6.1) 对于图2中的流图:

1. 计算支配关系
2. 寻找每个节点的直接支配节点

问题 7

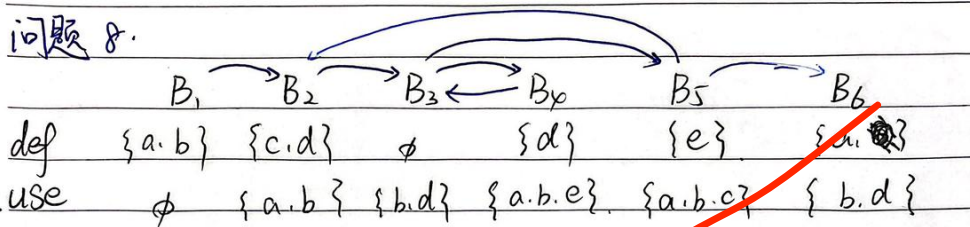


IN ₀	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset
OUT ₀	u	u	u	u	u	u

IN ₁	\emptyset	\emptyset	$\{a+b, c-a\}$	$\{a+b, c-a\}$	$\{a+b, c-a\}$	$\{c-a\}$
OUT ₁	\emptyset	$\{a+b, c-a\}$	$\{a+b, c-a\}$	$\{a+b, c-a\}$	$\{c-a\}$	$\{a-d\}$

IN ₂	\emptyset	\emptyset	$\{a+b, c-a\}$	$\{a+b, c-a\}$	$\{a+b, c-a\}$	$\{c-a\}$
OUT ₂	\emptyset	$\{a+b, c-a\}$	$\{a+b, c-a\}$	$\{a+b, c-a\}$	$\{c-a\}$	$\{a-d\}$

问题 8



IN ₁	00000	11000	11110	11101	11110	01010
OUT ₁	11000	11110	11110	11110	01010	00000

IN ₂	00001	11001	11111	11101	11110	01010
OUT ₂	11001	11111	11111	11111	11010	00000

IN ₃	00001	11001	11111	11101	11110	01010
OUT ₃	11001	11111	11111	11111	11011	00000

IN _x	00001	11001	11111	11101	11110	01010
OUT _x	11001	11111	11111	11111	11011	00000

题9 Dom.

支配关系

$$D(B_1) = \{B_1\}$$

$$D(B_2) = (D(B_1) \cap D(B_5)) \cup \{B_2\} = \{B_1, B_2\}$$

$$D(B_3) = (D(B_2) \cap D(B_4)) \cup \{B_3\} = \{B_1, B_2, B_3\}$$

$$D(B_4) = D(B_3) \cup \{B_4\} = \{B_1, B_2, B_3, B_4\}$$

$$D(B_5) = D(B_3) \cup \{B_5\} = \{B_1, B_2, B_3, B_5\}$$

$$D(B_6) = D(B_5) \cup \{B_6\} = \{B_1, B_2, B_3, B_5, B_6\}$$

二次迭代后. 不变 ($\forall m \in D(x) \quad m \text{ 支配 } x$)

直接支配.

B_1 不被任何直接支配.

B_2 ~~不被任何~~ 被 B_1 直接支配.

B_3 被 B_2 直接支配

B_4 被 B_3 直接支配

B_5 被 B_3 直接支配.

B_6 被 B_5 直接支配.