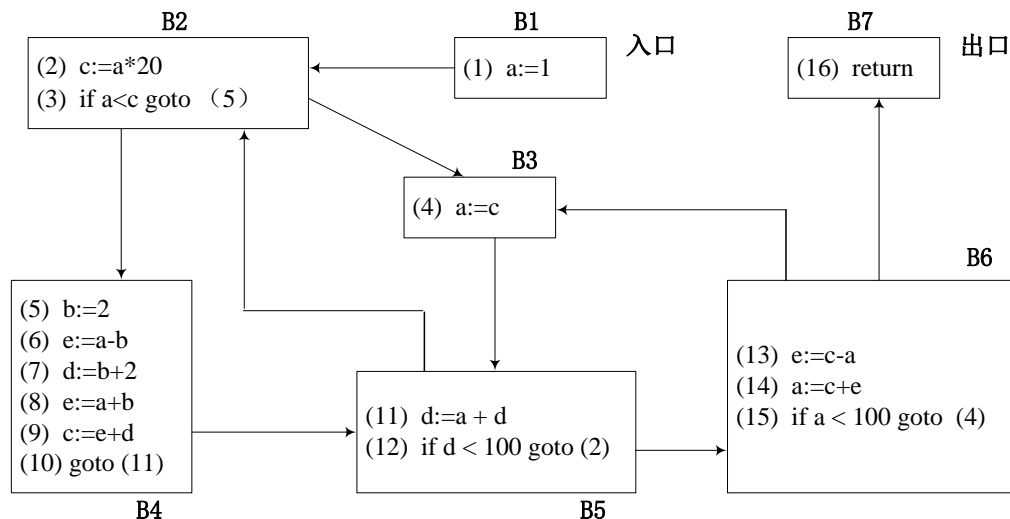


第 12 讲书面作业包括两部分。第一部分为 **Lecture12.pdf** 中课后作业题目中的 5（仅考虑图 31）和 11（仅考虑图 33）题。第二部分为以下题目：

A1. 下图是包含 7 个基本块的流图，其中 B1 为入口基本块，B7 为出口基本块：



- 指出在该流图中存在的回边，以及该回边所对应的自然循环（即指出循环中所包含的基本块）。
- 已知基本块 B2 和 B6 入口处的活跃变量（live variables）信息分别为

$$\text{LiveIn}(\text{B2}) = \{a, d\} \quad \text{和} \quad \text{LiveIn}(\text{B6}) = \{a, c, d\}$$

试计算 $\text{LiveIn}(\text{B5}) = ?$ 并指出在基本块 B4 内第 (7) 条语句之前处的活跃变量信息。

- 已知基本块 B2 出口处的到达-定值（reaching definitions）信息为

$$\text{Out}(\text{B2}) = \{1, 2, 4, 5, 8, 11, 13\}$$

试指出在基本块 B4 内第 (8) 条语句使用变量 a 的 UD 链，以及变量 c 的 DU 链。

- 试从基本块 B4 的 DAG 图，导出一个算术表达式，用来表示结点 c 的计算结果。要求该表达式中的运算数仅包含 DAG 图的叶子结点。（注：基本块入口处活跃变量所对应的叶子结点可表示为 a_0, b_0, c_0, \dots ）

参考解答：

如下两张表仅供评阅时参考（答题时并非必需）：

	LiveUse	DEF	LiveIn	LiveOut
B1	\emptyset	{a}	{d}	{a, d}

B2	{a}	{c}	{a, d}	{a, c, d}
B3	{c}	{a}	{c, d}	{a, c, d}
B4	{a}	{b, c, d, e}	{a}	{a, c, d}
B5	{a, d}	\emptyset	{a, c, d}	{a, c, d}
B6	{a, c}	{e}	{a, c, d}	{c, d}
B7	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset

	GEN	KILL	IN	OUT
B1	{1}	\emptyset	\emptyset	{1}
B2	{2}	{9}	{1, 2, 4, 5, 8, 9, 11, 13}	{1, 2, 4, 5, 8, 11, 13}
B3	{4}	{1, 14}	{1, 2, 4, 5, 8, 9, 11, 13, 14}	{2, 4, 5, 8, 9, 11, 13}
B4	{5, 7, 8, 9}	{2, 11, 13}	{1, 2, 4, 5, 8, 11, 13}	{1, 4, 5, 7, 8, 9}
B5	{11}	{7}	{1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 13}	{1, 2, 4, 5, 8, 9, 11, 13}
B6	{13, 14}	{1, 4, 8}	{1, 2, 4, 5, 8, 9, 11, 13}	{2, 5, 9, 11, 13, 14}
B7	\emptyset	\emptyset	{2, 5, 9, 11, 13, 14}	{2, 5, 9, 11, 13, 14}

1. (3分) 该流图中存在唯一的回边 $B5 \rightarrow B2$ ，该回边所对应的自然循环包含基本块 B2, B3, B4, B5和B6。
2. (4分) $LiveIn(B5) = \{a, c, d\}$ 。在基本块 B4 内第 (7) 条语句之前处的活跃变量信息为{a, b}。
3. (3分) 在基本块 B4 内第 (8) 条语句使用变量 a 的 UD 链为{1, 4}，变量 c 的 DU 链为{4, 13, 14}。
4. (3分) $(a_0+2)+4$

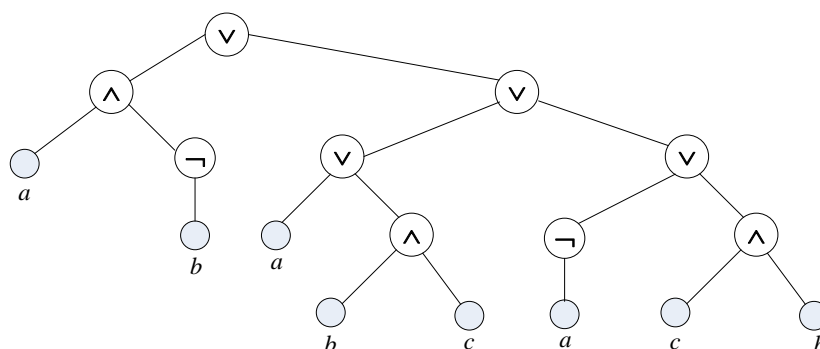
A2. 给定如下文法 $G[S]$:

$$(1) S \rightarrow P$$

- (2) $P \rightarrow P P \wedge$
 (3) $P \rightarrow P P \vee$
 (4) $P \rightarrow P \neg$
 (5) $P \rightarrow id$

其中， \wedge 、 \vee 、 \neg 分别代表逻辑与、或、非等运算符单词， id 代表标识符单词。

文法 $G[S]$ 可用于识别后缀形式（逆波兰式）的命题表达式。输入串 $ab\neg\wedge ab c\wedge\neg a\neg cb\wedge\neg\neg\neg$ 对应于中缀式 $a\wedge\neg b\vee((a\vee b\wedge c)\vee(\neg a\vee(c\wedge b)))$ ，
 以下是该命题表达式对应的表达式树：



假设在一个简单的基于寄存器的机器 M 上进行表达式求值，除了load/store指令用于寄存器值的装入和保存外，其余操作均由下列格式的指令完成：

OP reg0, reg1, reg2

OP reg0, reg1

其中，reg0, reg1, reg2处可以是任意的寄存器，OP 为运算符。运行这些指令时，对reg1和reg2的值做二元运算，或者对reg1的值做一元运算，结果存入reg0。对于load/store指令，假设其格式为：

LD reg, mem /* 取内存或立即数 mem 的值到寄存器 reg */

ST reg, mem /* 存寄存器 reg 的值到内存量 mem */

我们假设M机器指令中，逻辑运算 \wedge 、 \vee 、 \neg 分别用助记符 AND、OR、NOT 表示。

试说明，为上述表达式树生成机器 M 指令序列时，需要寄存器书目的最小值 $n = ?$ 假设这些寄存器分别用助记符 R_0, R_1, \dots 和 R_{n-1} 表示，试采用课程中所介绍的方法生成该命题表达式的目标代码（仅含指令AND、OR、NOT、LD和ST，以及仅用寄存器 R_0, R_1, \dots 和 R_{n-1} ）。（给出算法执行结果即可，不必进行目标代码优化）

参考解答：

$n=3$ 。

假设这些寄存器分别用 R_0 , R_1 , 和 R_2 表示, 生成该命题表达式的目标代码如下:

```
LD    R0, b
LD    R1, c
AND   R0, R0, R1
LD    R1, a
OR    R0, R1, R0
LD    R1, c
LD    R2, b
AND   R1, R1, R2
LD    R2, a
NOT   R2, R2
OR    R1, R2, R1
OR    R0, R1, R0
LD    R1, a
LD    R2, b
NOT   R2, R2
AND   R1, R1, R2
OR    R0, R1, R0
```

.....

以下是 Lecture12 文档中的题目

.....

5. 分别对图31和图32的流图:

- (1) 求出流图中各结点 n 的支配结点集 $D(n)$;
- (2) 求出流图中的回边;
- (3) 求出流图中的循环。

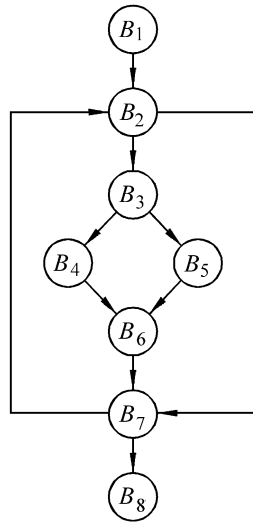


图31

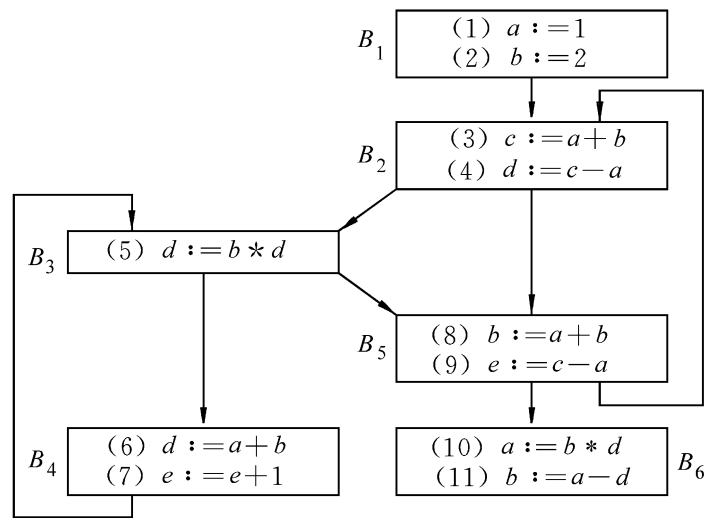


图32

参考解答: 对于图 31 的流图

(1) 流图中各结点的支配结点集;

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

$$D(B_2) = \{B_1, B_2\}$$

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

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

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

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

$$D(B_7) = \{B_1, B_2, B_7\}$$

$$D(B_8) = \{B_1, B_2, B_7, B_8\}$$

(2) 求出流图中的回边:

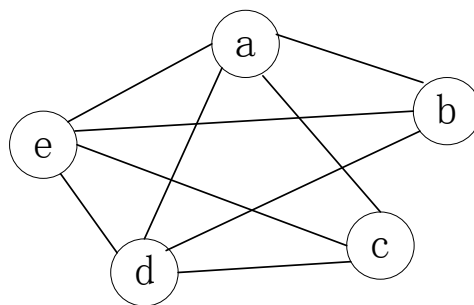
$(B_7 \rightarrow B_2)$

(3) 流图中的循环: 只有对应 $(B_7 \rightarrow B_2)$ 的循环

$B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7$

11. 对于图32和图33中的流图, 分别给出相应的寄存器相干图。若要保证图着色过程中不会出现将寄存器泄漏到内存中的情形, 那么可供分配的物理寄存器的最小数目分别是多少?。

参考解答: 对于图 33 的流图, 寄存器相干图为



若要保证图着色过程中不会出现将寄存器泄漏到内存中的情形, 那么可供分配的物理寄存器的最小数目是4。