

# 《编译原理》第五次书面作业

截止日期：2024 年 12 月 24 日

若发现问题，或有任何想法（改进题目、调整任务量等等），请及时联系助教

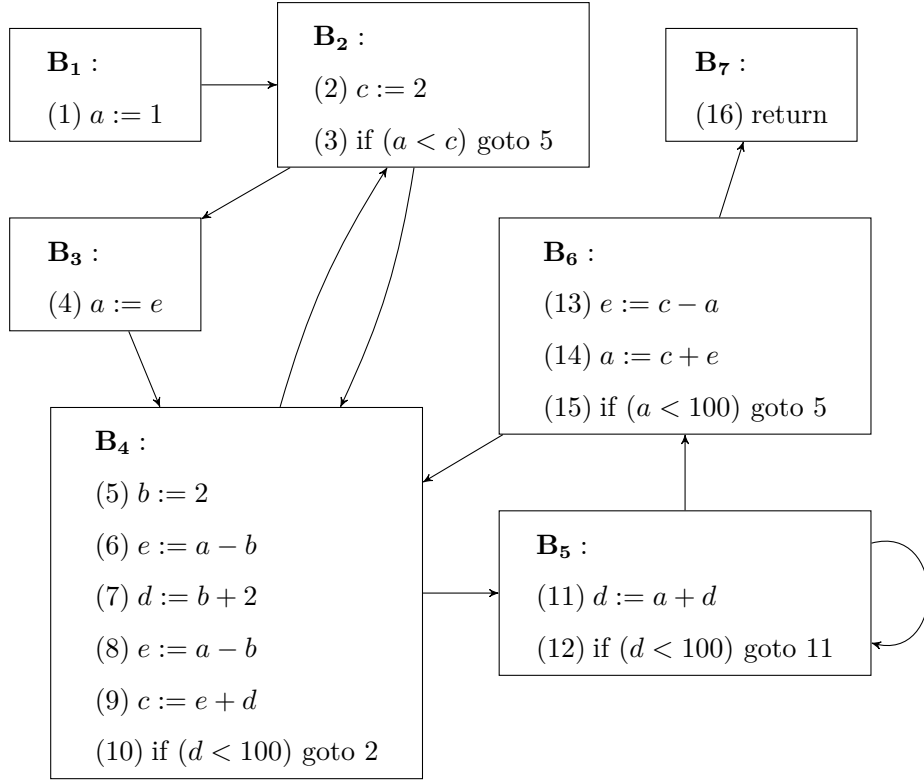
**Q1.** 考虑下面的中间代码。

1	a := 1	9	c := e + d
2	c := 2	10	if (d < 100) goto 2
3	if (a < c) goto 5	11	d := a + d
4	a := e	12	if (d < 100) goto 11
5	b := 2	13	e := c - a
6	e := a - b	14	a := c + e
7	d := b + 2	15	if (a < 100) goto 5
8	e := a - b	16	return

1. 请给出该代码的基本块划分和流图。使用  $B_1, B_2, \dots$  命名基本块，其中基本块编号与块内第一条代码的行号顺序一致。
2. 请写出该流图中，基本块  $B_4$  的支配节点集合、始于  $B_4$  的回边、以及基于该回边的自然循环。
3. 采用迭代求解数据流方程的方法对活跃变量数据流信息进行分析，写出每个基本块的 Def、LiveUse、LiveIn、LiveOut 集合。假设出口基本块的 LiveOut 为空集。
4. 采用迭代求解数据流方程的方法对到达-定值数据流信息进行分析，写出每个基本块的 Gen、Kill、In、Out 集合。假设入口基本块的 In 为空集。
5. 指出在该流图范围内，变量  $a$  在语句 11 处的 UD 链。
6. 指出在该流图范围内，变量  $c$  在语句 2 处的 DU 链。
7. 画出寄存器相干图。
8. 按照课堂上介绍的图着色全局寄存器分配算法，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？请给出一种合理的着色方案。

参考答案：

1. 如下所示。



2.  $B_4$  的支配节点集合为  $\{B_1, B_2, B_4\}$ ，始于  $B_4$  的回边为  $(B_4, B_2)$ ，基于该回边的自然循环包括  $\{B_2, B_3, B_4, B_5, B_6\}$ 。
3. 如下所示。

	Def	LiveUse	LiveIn	LiveOut
$B_1$	$\{a\}$	$\emptyset$	$\{e\}$	$\{a, e\}$
$B_2$	$\{c\}$	$\{a\}$	$\{a, e\}$	$\{a, e\}$
$B_3$	$\{a\}$	$\{e\}$	$\{e\}$	$\{a\}$
$B_4$	$\{b, c, d, e\}$	$\{a\}$	$\{a\}$	$\{a, c, d, e\}$
$B_5$	$\emptyset$	$\{a, d\}$	$\{a, c, d\}$	$\{a, c, d\}$
$B_6$	$\{e\}$	$\{a, c\}$	$\{a, c\}$	$\{a\}$
$B_7$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$

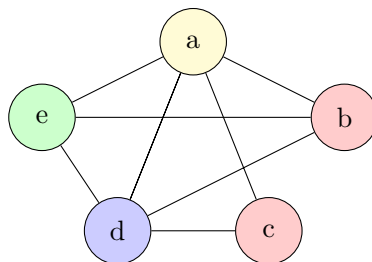
4. 如下所示。

	Gen	Kill	In	Out
$B_1$	$\{1\}$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\{1\}$
$B_2$	$\{2\}$	$\{9\}$	$\{1, 4, 5, 7, 8, 9, 14\}$	$\{1, 2, 4, 5, 7, 8, 14\}$
$B_3$	$\{4\}$	$\{1, 14\}$	$\{1, 2, 4, 5, 7, 8, 14\}$	$\{2, 4, 5, 7, 8\}$
$B_4$	$\{5, 7, 8, 9\}$	$\{2, 11, 13\}$	$\{1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 13, 14\}$	$\{1, 4, 5, 7, 8, 9, 14\}$
$B_5$	$\{11\}$	$\{7\}$	$\{1, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 14\}$	$\{1, 4, 5, 8, 9, 11, 14\}$
$B_6$	$\{13, 14\}$	$\{1, 4, 6, 8\}$	$\{1, 4, 5, 8, 9, 11, 14\}$	$\{5, 9, 11, 13, 14\}$
$B_7$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\{5, 9, 11, 13, 14\}$	$\{5, 9, 11, 13, 14\}$

5. UD 链  $\{1, 4, 14\}$ 。

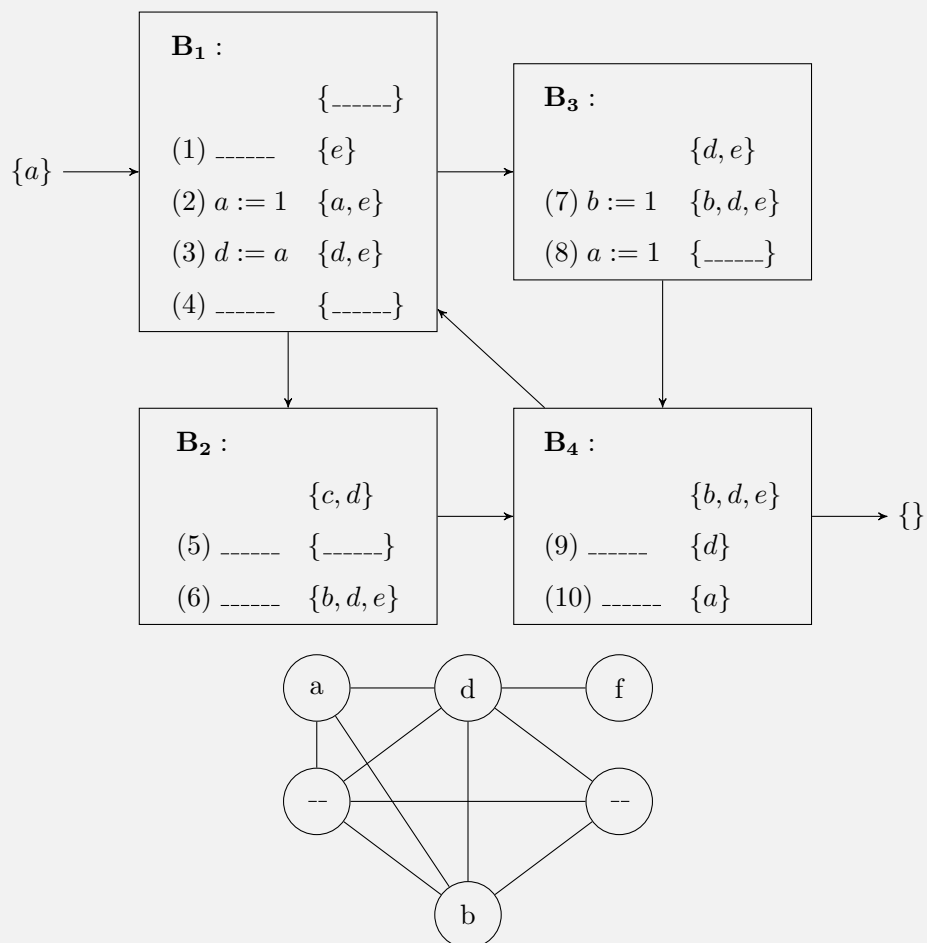
6. DU 链 {3}。

7. 如下所示。

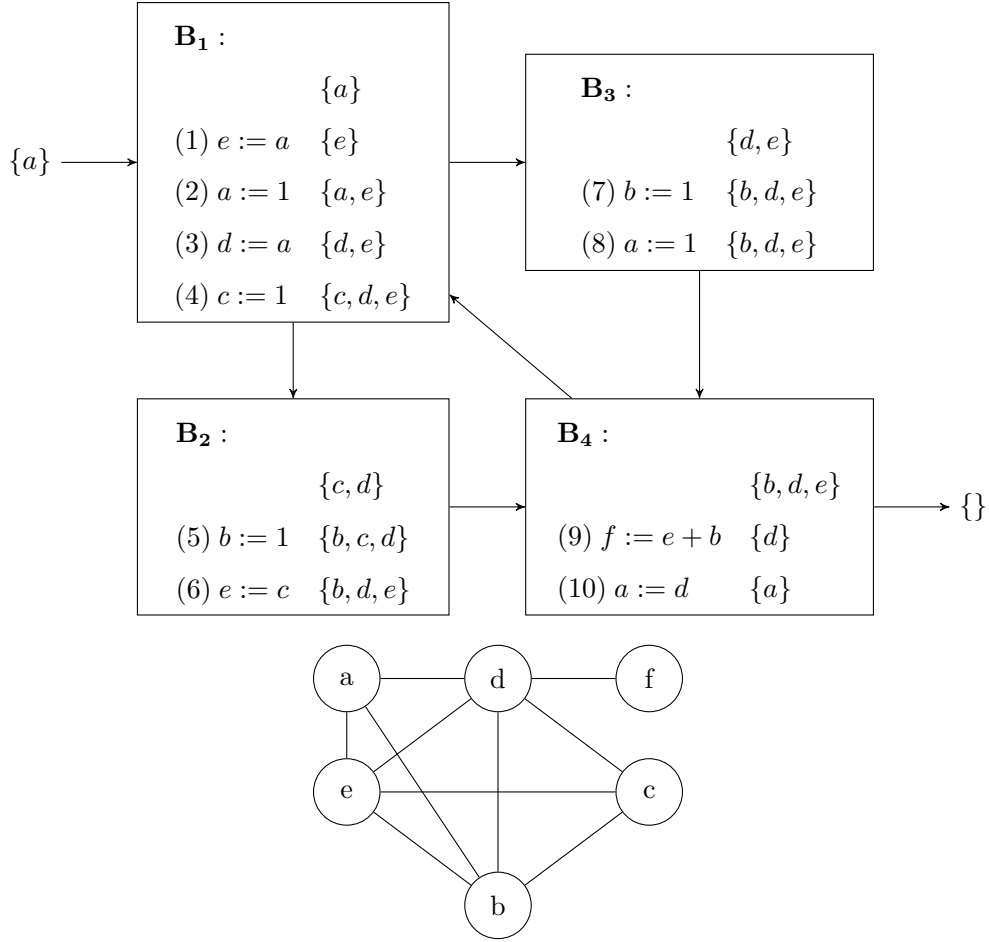


8. 可供分配的最小寄存器数目是 4。可行的染色方案已在上一问相干图中给出。

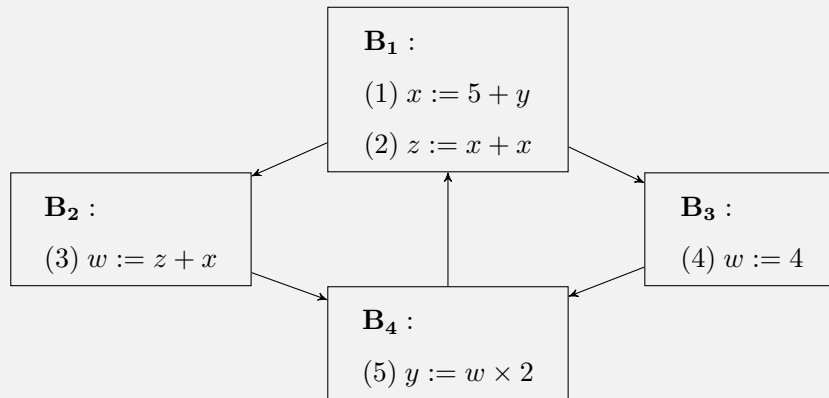
**Q2.** 下面给出了一个不完整的流图和寄存器相干图，流图中标注了每条语句执行过后的活跃变量列表，请补全图中缺失的部分。其中，缺失的语句请从  $x := 1$ 、 $x := y$ 、 $x := y + z$  三种形式中选择。



参考答案：



**Q3.** 在课堂上，我们学习了许多种数据流。现在，我们想设计一种新的数据流 “Always-Defined”，帮助我们分析一个变量  $x$  在被语句  $d$  使用时是否一定被定义过。比如考虑下面的控制流图， $x$  在语句 2 和 3 中总是被定义的， $w$  在语句 5 中也总是被定义的，但  $y$  在语句 1 中并不总是被定义的。



为了实现这样的 “Always-Defined” 分析，我们用函数  $AD(d, x, OUT)$  表示变量  $x$  在语句  $d$  刚好执行后是否一定被定义， $AD(d, x, IN)$  表示变量  $x$  在语句  $d$  即将执行前是否一定被定义。 $AD(\cdot, \cdot, \cdot)$  函数只有两个取值：True 和 False。

1. 应该用何值初始化  $AD(\cdot, \cdot, \cdot)$  函数？

2. 对于语句  $d: x := e$  ( $e$  为任意表达式), 如何计算  $AD(d, x, OUT)$ ?
3. 对于语句  $d: x := e$  ( $e$  为任意表达式), 如何计算  $AD(d, x, IN)$ ?

参考答案:

1. 将所有  $AD(\cdot, \cdot, \cdot)$  初始化为 False。
2.  $AD(d, x, OUT) = \text{True}$ 。
3.  $AD(d, x, IN) = \text{True}$  当且仅当对于所有直接到达  $d$  的语句  $p$ ,  $AD(p, x, OUT) = \text{True}$ 。

**Q4.** 考虑如下基本块。

<pre> 1   B := 32 2   D := A + C 3   E := A * C 4   F := D + E 5   G := B * F 6   H := A + C </pre>	<pre> 7   I := A * C 8   J := H + I 9   K := B * 5 10   L := K + J 11   M := L </pre>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------

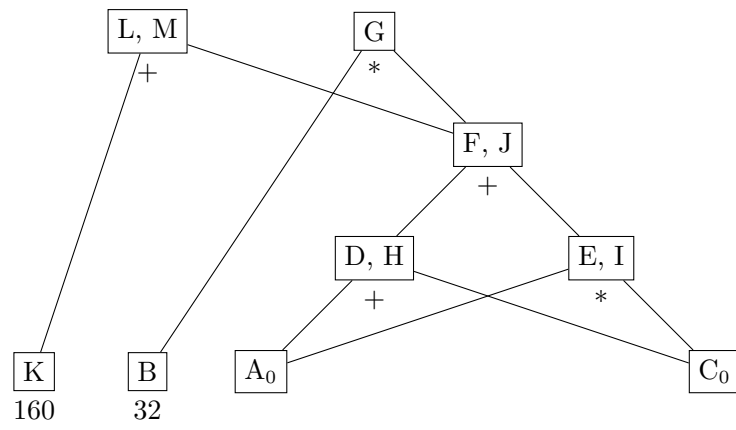
1. 依次对该基本块进行如下优化: 常量传播、强度削弱 (假定运算由快至慢分别为: 加减法、位移、乘法)、合并已知量、常量传播, 写出优化后的语句序列。(无需写出中间步骤)
2. 构造 DAG。(不考虑前一问的优化)
3. 基于上一问的 DAG, 假设只有 L 在基本块后面还要被使用, 写出优化后的语句序列。

参考答案:

1. 如下所示。

<pre> 1   B := 32 2   D := A + C 3   E := A * C 4   F := D + E 5   G := F &lt;&lt; 5 6   H := A + C </pre>	<pre> 7   I := A * C 8   J := H + I 9   K := 160 10   L := 160 + J 11   M := L </pre>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------

2. 如下所示。



3. 如下所示。

```

1 | D := A + C
2 | E := A * C
3 | F := D + E
4 | L := 160 + F

```