

---

# 编译原理与技术课程作业

---

## ————作业 1 ~ 9 合集

Choimoe

<https://github.com/Choimoe/SDUCompilerPrinciplesHomework>

SDU 编译原理与技术课程作业

2024.12.31

## Contents

<b>1</b>	<b>作业 1</b>	<b>4</b>
1.1	作业 1.1 . . . . .	4
1.1.1	题目描述 . . . . .	4
1.1.2	解答 . . . . .	4
1.2	作业 1.2 . . . . .	5
1.2.1	题目描述 . . . . .	5
1.2.2	解答 . . . . .	5
1.3	作业 1.3 . . . . .	5
1.3.1	题目描述 . . . . .	5
1.3.2	解答 . . . . .	5
<b>2</b>	<b>作业 2</b>	<b>7</b>
2.1	作业 2.1 . . . . .	7
2.1.1	题目描述 . . . . .	7
2.1.2	解答 . . . . .	7
2.2	作业 2.2 . . . . .	8
2.2.1	题目描述 . . . . .	8
2.2.2	解答 . . . . .	8
2.3	作业 2.3 . . . . .	8
2.3.1	题目描述 . . . . .	8
2.3.2	解答 . . . . .	8
<b>3</b>	<b>作业 3</b>	<b>10</b>
3.1	作业 3.1 . . . . .	10
3.1.1	题目描述 . . . . .	10
3.1.2	解答 . . . . .	10
<b>4</b>	<b>作业 4</b>	<b>13</b>
4.1	作业 4.1 . . . . .	13
4.1.1	题目描述 . . . . .	13
4.1.2	解答 . . . . .	13
4.2	作业 4.2 . . . . .	14
4.2.1	题目描述 . . . . .	14
4.2.2	解答 . . . . .	14
<b>5</b>	<b>作业 5</b>	<b>15</b>
5.1	作业 5.1 . . . . .	15
5.1.1	题目描述 . . . . .	15
5.1.2	解答 . . . . .	15
<b>6</b>	<b>作业 6</b>	<b>17</b>
6.1	作业 6.1 . . . . .	17
6.2	作业 6.2 . . . . .	22
6.3	作业 6.3 . . . . .	22

<b>7 作业 7</b>	<b>24</b>
7.1 作业 7.1 . . . . .	24
7.1.1 题目描述 . . . . .	24
7.1.2 解答 . . . . .	24
7.2 作业 7.2 . . . . .	25
7.2.1 题目描述 . . . . .	25
7.2.2 解答 . . . . .	25
<b>8 作业 8</b>	<b>27</b>
8.1 作业 8.1 . . . . .	27
8.1.1 题目描述 . . . . .	27
8.1.2 解答 . . . . .	27
8.2 作业 8.2 . . . . .	28
8.2.1 题目描述 . . . . .	28
8.2.2 解答 . . . . .	28
<b>9 作业 9</b>	<b>30</b>
9.1 题目描述 . . . . .	30
9.2 解答 . . . . .	30

# 1 作业 1

## 1.1 作业 1.1

### 1.1.1 题目描述

画图表示编译过程的各个阶段，并简要说明各阶段的功能。

### 1.1.2 解答

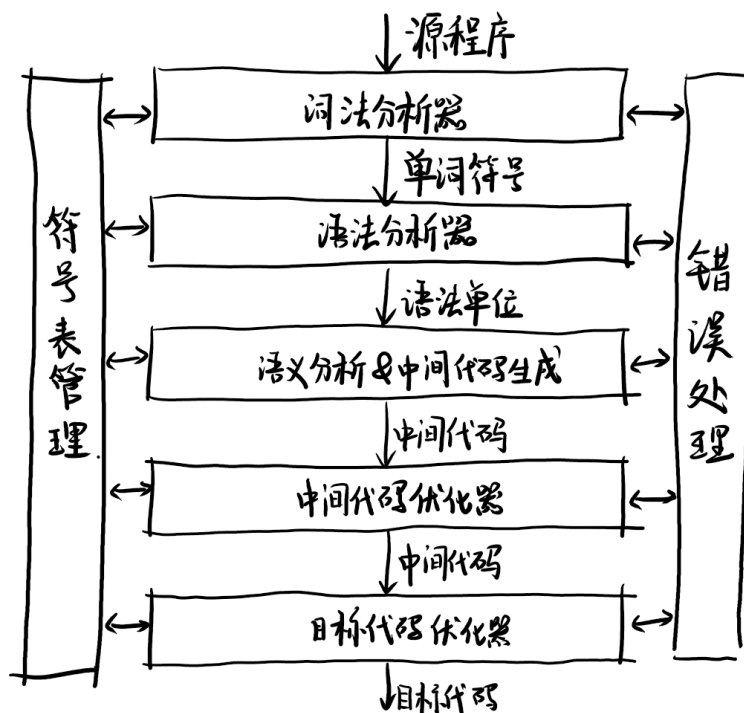


Figure 1: 编译过程的阶段

1. **词法分析器**：又称扫描器，输入源程序，进行词法分析，输出单词符号。
2. **语法分析器**：又称扫描器，对单词符号串进行语法分析，识别出各类语法单位，最终判断输入串是否构成语法上正确的“程序”。
3. **语义分析与中间代码生成**：按照语义规则对语法分析器归约（或推导）出的语法单位进行语义分析，并把它们翻译成一定形式的中间代码。
4. **中间代码优化器**：对中间代码进行优化处理。
5. **目标代码生成器**：把中间代码翻译成目标代码。
6. **错误处理**：发现各种错误、准确指出错误的性质和发生错误的地点、将错误所造成的影响限制在尽可能小的范围、自动校正错误（如果可能）。
7. **符号表**：用于登记源程序的各类信息和编译各阶段的进展状况。

## 1.2 作业 1.2

### 1.2.1 题目描述

求表达式 “ $a \vee b \neq c + d \wedge a * b < f$ ” 的后缀式。

### 1.2.2 解答

类别	算符	符号	结合性
位运算符	按位取反	$\sim$	右结合
算术算符	幂、负	$**$ , $-(@)$	右结合
	乘除、取余	$*(\times)$ , $/(÷)$ , $\%$	左结合
	加减	$+$ , $-$	左结合
位运算符	左移、右移	$\ll$ , $\gg$	左结合
关系算符	大于小于	$<$ , $\leq$ , $>$ , $\geq$	不可结合
	等于不等	$=$ , $\neq$	不可结合
位运算符	按位与	$\&$	左结合
	按位异或	$\oplus$	左结合
	按位或	$ $	左结合
逻辑算符	非	$\neg$ , $!$ , 或 <b>not</b>	右结合
	与	$\wedge$ , $\&\&$ , 或 <b>and</b>	左结合
	或	$\vee$ , $  $ , 或 <b>or</b>	左结合
三目算符	三目算符	$?:$	右结合
赋值算符	赋值等	$=$ 或 $:=$	右结合

按照算符优先级，有：

$$\begin{aligned}
 & \langle a \vee b \neq c + d \wedge a * b < f \rangle \\
 &= \langle a \rangle \langle b \neq c + d \wedge a * b < f \rangle \vee \\
 &= a \langle b \neq c + d \rangle \langle a * b < f \rangle \wedge \vee \\
 &= a \langle b \rangle \langle c + d \rangle \neq \langle a * b \rangle \langle f \rangle < \wedge \vee \\
 &= abcd + \neq ab * f < \wedge \vee
 \end{aligned}$$

## 1.3 作业 1.3

### 1.3.1 题目描述

编写汇编程序：

1. 在静态数据区声明 3 个 32 位变量 a、b、c，其中 a、b 初始化为 10 和 20，c 不初始化；
2. 在代码区编写代码，将 a + b 的结果保存到变量 c。

### 1.3.2 解答

使用在 1.3.6 传送指令与 1.3.7 基本运算指令中学到的指令：

## 指令集

- 1 `add reg, imm/reg/mem` ;两个操作数相加, 结果存入第一个操作数的寄存器。
- 2 `mov mem, imm/reg` ;第一个操作数是目的操作数, 第二个操作数是源操作数。

不难写出:

## addition.s

```
1 section .data
2     a dd 10
3     b dd 20
4     c dd 0
5 section .text
6 global _start
7 _start:
8     mov eax, [a]
9     add eax, [b]
10    mov [c], eax
11    mov eax, 1
12    int 0x80
```

这里使用 `sys_exit` 信号退出程序, 可以使用 `nasm` 编译链接并执行:

## bash

```
1 $ nasm -f elf64 -o addition.o addition.s
2 $ ld -o addition addition.o
3 $ ./addition
4 $
```

因为只有简单的相加所以没有输出, 写输出程序有点麻烦, 于是可以通过 `gdb` 来查看具体的值:

## gdb

```
1 (gdb) break _start
2 Breakpoint 1 at 0x401000
3 (gdb) run
4 Starting program: /home/choimoe/Desktop/asm_learn/addition
5 Breakpoint 1, 0x0000000000401000 in _start ()
6 (gdb) stepi
7 0x0000000000401007 in _start ()
8 (gdb) stepi
9 0x000000000040100e in _start ()
10 (gdb) p (int)c
11 $1 = 0
12 (gdb) stepi
13 0x0000000000401015 in _start ()
14 (gdb) p (int)c
15 $2 = 30
```

## 2 作业 2

### 2.1 作业 2.1

#### 2.1.1 题目描述

令文法为

$$E \rightarrow E \vee T \mid T$$

$$T \rightarrow T \wedge F \mid F$$

$$F \rightarrow \neg F \mid (E) \mid i$$

1. 写出  $i \wedge (E)$  的最左推导和最右推导。
2. 画出  $i_1 \wedge \neg(i_2 \vee i_3)$  的语法树。
3. 写出  $i_1 \wedge \neg(i_2 \vee i_3)$  的所有短语、直接短语和句柄

#### 2.1.2 解答

**题目 2.1.1** 若推导过程中，总是最先替换最右（左）的非终结符，则称为最右（左）推导：

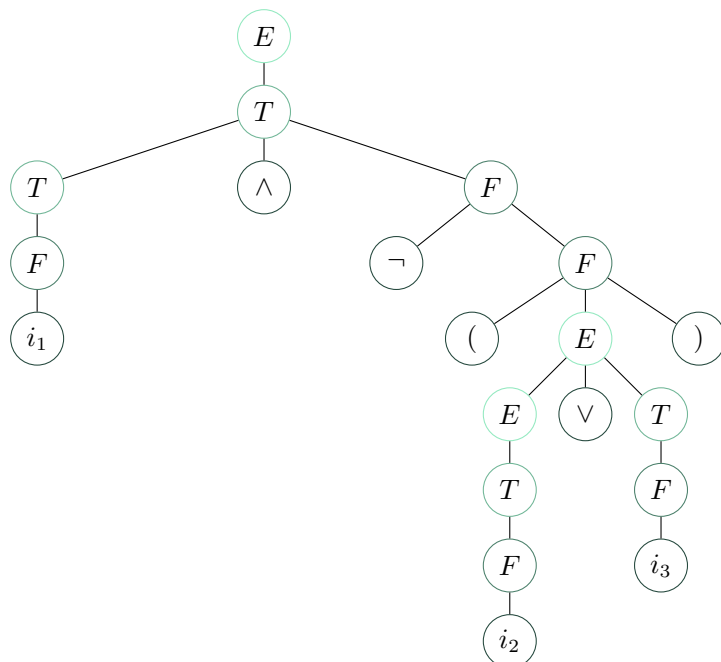
$$E \Rightarrow T \Rightarrow T \wedge F \Rightarrow F \wedge F \Rightarrow i \wedge F \Rightarrow i \wedge (E)$$

$$E \Rightarrow T \Rightarrow T \wedge F \Rightarrow T \wedge (E) \Rightarrow F \wedge (E) \Rightarrow i \wedge (E)$$

**题目 2.1.2** 首先写出一个推导：

$$E \Rightarrow T \Rightarrow T \wedge F \Rightarrow F \wedge \neg F \Rightarrow i_1 \wedge \neg(E) \Rightarrow i_1 \wedge \neg(E \vee T) \Rightarrow i_1 \wedge \neg(i_2 \vee i_3)$$

于是可以画出语法树：



**题目 2.1.3** 由于 (3) 与 (2) 的语句相同，于是可以看图说话：

1. 短语： $i_1 \wedge \neg(i_2 \vee i_3)$ 、 $i_1$ 、 $\wedge$ 、 $\neg(i_2 \vee i_3)$ 、 $(i_2 \vee i_3)$ 、 $i_2 \vee i_3$ 、 $i_2$ 、 $\vee$ 、 $i_3$ ；
2. 直接短语： $i_1$ 、 $i_2$ 、 $i_3$ ；
3. 句柄： $i_1$ 。

## 2.2 作业 2.2

### 2.2.1 题目描述

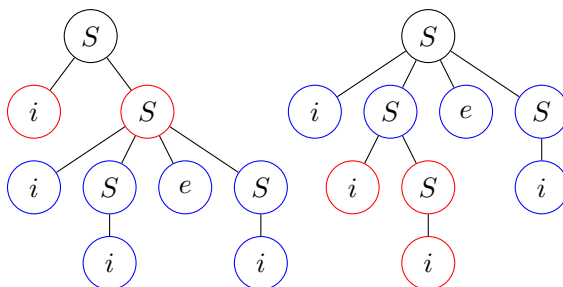
证明下面的文法是二义的： $S \rightarrow iSeS \mid iS \mid i$

### 2.2.2 解答

和 if-else 长得差不多，类似课件中的上下文无关文法表示条件语句，可以采用两个  $i$  对应一个  $e$  的方式来构造，也就是  $iiSeS$  这种形式：

- $S \Rightarrow iS \Rightarrow iiSeS$ ；
- $S \Rightarrow iSeS \Rightarrow iiSeS$ 。

右侧以  $iiiiei$  为例子画出不同的语法树：



## 2.3 作业 2.3

### 2.3.1 题目描述

类 Lisp 程序文法

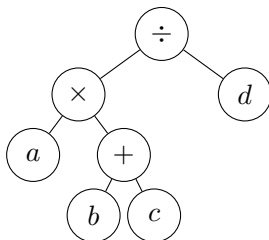
$$G[E] : E \rightarrow (A, E, E) \mid i$$

$$A \rightarrow + \mid - \mid \times \mid \div$$

1. 任意变量与  $i$  匹配， $(\theta, a, b)$  表示  $a\theta b$  的结果，其中  $\theta$  为运算符，试写出  $a \times (b + c) \div d$  的类 Lisp 程序形式；
2. 画出上述句子的语法树；
3. 写出上述句子的短语、直接短语和句柄。

### 2.3.2 解答

**题目 2.3.1** 首先不难画出  $a \times (b + c) \div d$  的表达式树：



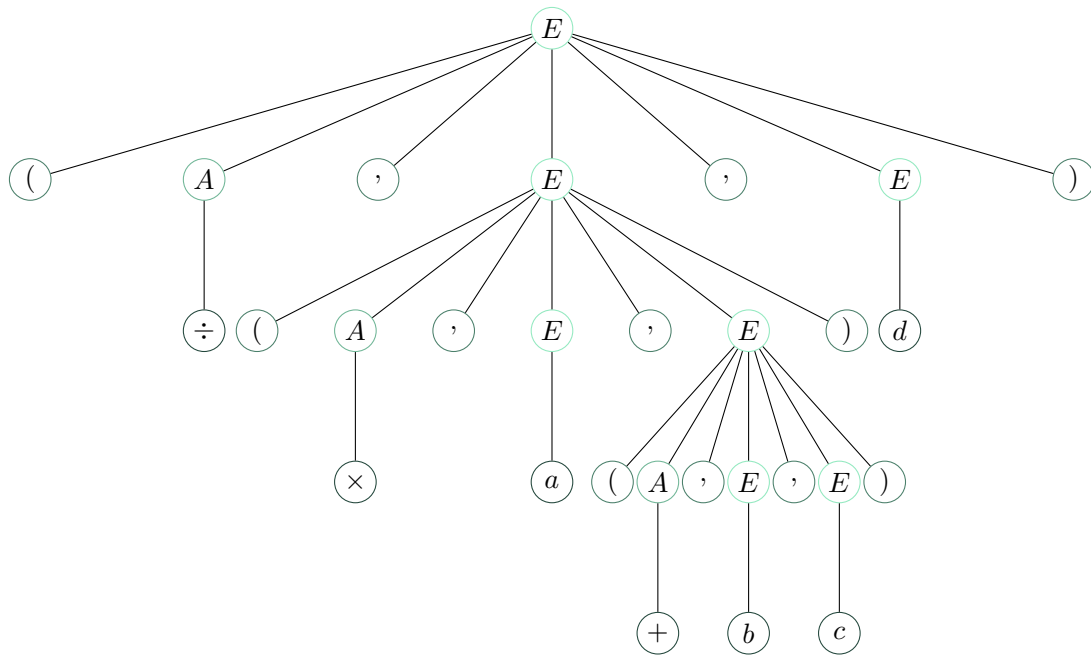
于是可以写出类 Lisp 程序形式（实际上是前序遍历的形式？）为： $(\div, (\times, a, (+, b, c)), d)$ 。



题目 2.3.2 根据上面的程序形式可以写出推导过程：

$$\begin{aligned}
 E &\Rightarrow (A, E, E) \\
 &\Rightarrow (\div, (A, E, E), d) \\
 &\Rightarrow (\div, (\times, a, (A, E, E)), d) \\
 &\Rightarrow (\div, (\times, a, (+, b, c)), d)
 \end{aligned}$$

不难画出语法树：



题目 2.3.3 根据上图看图写话：

1. 短语： $(\div, (\times, a, (+, b, c)), d)$ 、 $(\div, \div, \div, (\times, a, (+, b, c)), d, \div, \div)$ 、 $\times$ 、 $a$ 、 $(+, b, c)$ 、 $+$ 、 $b$ 、 $c$ ；
2. 直接短语： $\div$ 、 $\times$ 、 $a$ 、 $+$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ ；
3. 句柄： $\div$ 。

### 3 作业 3

#### 3.1 作业 3.1

##### 3.1.1 题目描述

C 风格变量声明的正规式：

$$(i|r)v(,v)^*;$$

其中  $i$  和  $r$  分别表示整型和实型数据类型， $v$  表示变量名。

1. 构造 NFA，并单符化。
2. 确定化。
3. 最小化。

##### 3.1.2 解答

构造 NFA，并单符化。 按照给出的步骤，不难画出：

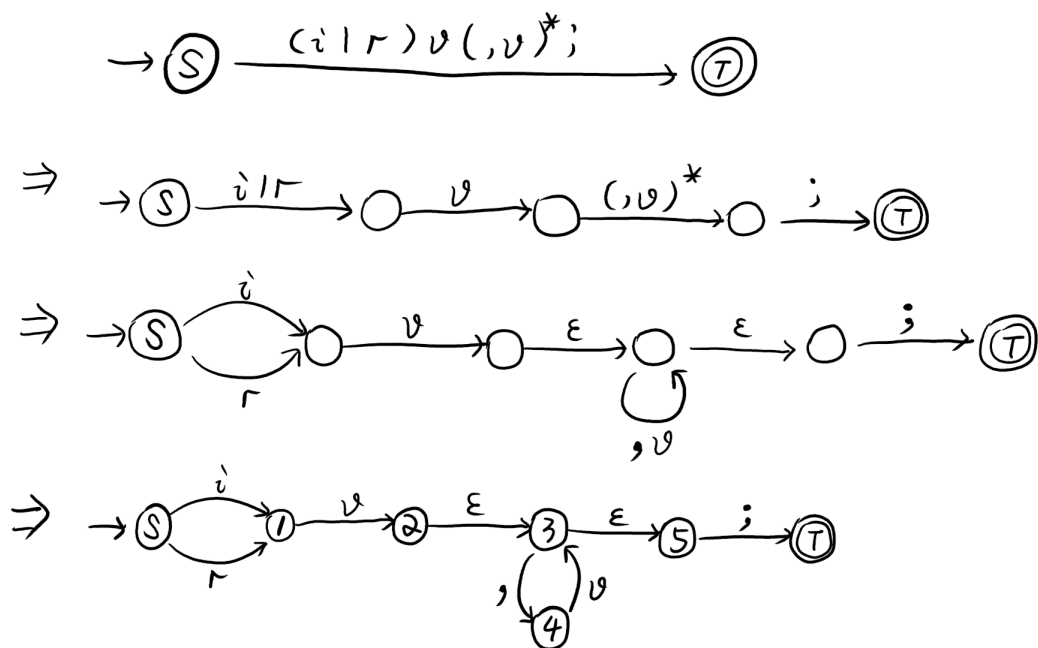
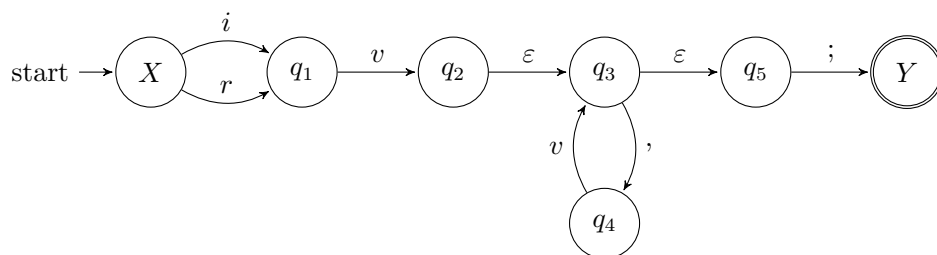


Figure 2: 正则  $r \Rightarrow$  NFA  $M$

确定化。 对于上面画出的 NFA，首先设字母表为  $\Sigma = \{i, r, ', v, ', '\}$ ，初态为  $X$ ，可以写出闭包：



$I$	$I_r$	$I_i$	$I_v$	$I_;$	$I_;$
$\{X\}$	$\{q_1\}$	$\{q_1\}$	$\Phi$	$\Phi$	$\Phi$
$\{q_1\}$	$\Phi$	$\Phi$	$\{q_2, q_3, q_5\}$	$\Phi$	$\Phi$
$\{q_2, q_3, q_5\}$	$\Phi$	$\Phi$	$\Phi$	$\{q_4\}$	$\{Y\}$
$\{q_4\}$	$\Phi$	$\Phi$	$\{q_3, q_5\}$	$\Phi$	$\Phi$
$\{q_3, q_5\}$	$\Phi$	$\Phi$	$\Phi$	$\{q_4\}$	$\{Y\}$
$\{Y\}$	$\Phi$	$\Phi$	$\Phi$	$\Phi$	$\Phi$

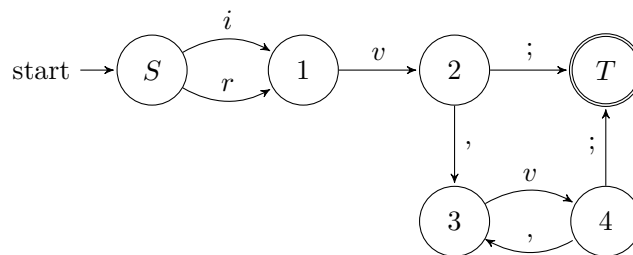
Table 1:  $\delta' : S \times \Sigma \rightarrow S$ 

可以按次序编号为：

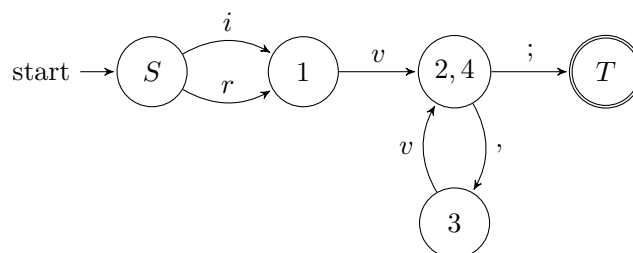
$I$	$I_r$	$I_i$	$I_v$	$I_;$	$I_;$
$S$	1	1			
1			2		
2				3	$T$
3			4		
4				3	$T$
$T$					

Table 2:  $\delta' : S \times \Sigma \rightarrow S$ 

根据  $\delta'$  可以画出：



**最小化。** 在上表中可以看出 2 与 4 对应的列完全相同，故其为等价状态，可以合并为：

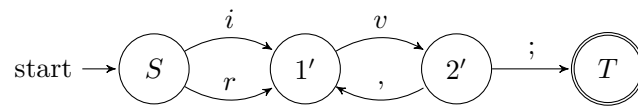


此时将 2,4 编号为 2'，编号表格为：

$I$	$I_r$	$I_i$	$I_v$	$I_;$	$I_;$
$S$	1	1			
1			2'		
2'				3	$T$
3			2'		
$T$					

Table 3:  $\delta' : S \times \Sigma \rightarrow S$

可以看到 1 与 3 完全相同，记为 1'，可以化简为：



此时编号表格为：

	$I$	$I_r$	$I_i$	$I_v$	$I_{,}$	$I_{;}$
$S$		1	1			
$1'$				$2'$		
$2'$					3	$T$
$T$						

Table 4:  $\delta' : S \times \Sigma \rightarrow S$

每列有且仅有一种转移，是最小化的充分条件，故此时为最小化 DFA。

## 4 作业 4

### 4.1 作业 4.1

#### 4.1.1 题目描述

将右线性文法  $G[S]: S \rightarrow xA \mid yB \mid \varepsilon, A \rightarrow yA \mid y, B \rightarrow xB \mid x$ , 转换为:

1. 有限自动机。
2. 正则式。

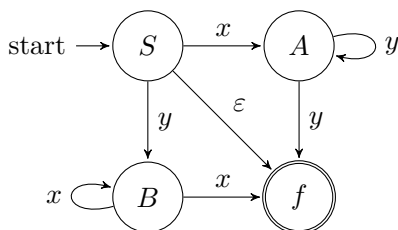
#### 4.1.2 解答

**有限自动机。** 令有限自动机  $M = (\{S, A, B, f\}, \{x, y\}, \delta, \{S\}, \{f\})$ , 其中  $f$  为添加的终态符号。

类似例题 3.15 的步骤, 构造  $\delta$ :

1. 对于产生式  $S \rightarrow xA$ , 由  $S$  向  $A$  引  $x$  弧。
2. 对于产生式  $S \rightarrow yB$ , 由  $S$  向  $B$  引  $y$  弧。
3. 对于产生式  $S \rightarrow \varepsilon$ , 由  $S$  向  $f$  引  $\varepsilon$  弧。
4. ...

不难画出:



**正规式** 正规式可以直接与线性文法转换, 于是就不借助有限自动机了 (虽然这个题使用自动机转换也很简单)。

首先改写:

1.  $S \rightarrow xA \mid yB \mid \varepsilon$  不包含本身, 直接写为:  $S \rightarrow (xA|yB|\varepsilon)$ ;
2.  $A \rightarrow yA \mid y$  改写为  $A \rightarrow (yA|y)$ , 也就是  $A \rightarrow y^*y$ ,  $B$  完全同理, 改写为  $B \rightarrow x^*x$ ;
3. 将第二步的结果代入第一步, 得到  $S \rightarrow (xy^*y|yx^*x|\varepsilon)$ 。

最终得到正规式为  $(xy^*y|yx^*x|\varepsilon)$ , 如果允许使用  $+$  与  $?$ , 可以简写为  $(xy^+|yx^+)?$ 。

## 4.2 作业 4.2

### 4.2.1 题目描述

给定右线性文法  $G[S]$ , 求其等价的左线性文法:

$$S \rightarrow 0S \mid 1S \mid 1A \mid 0B$$

$$A \rightarrow 1C \mid 1$$

$$B \rightarrow 0C \mid 0$$

$$C \rightarrow 0C \mid 1C \mid 0 \mid 1$$

### 4.2.2 解答

字符数较少, 似乎用正则比较方便?, 下面通过右线性文法转正规式, 再将正规式转左线性文法来实现转换:

**转正规式** 与上题类似, 首先改写: (下方便起见, 记  $\Sigma = \{0, 1\}$ )

- $S \rightarrow 0S \mid 1S \mid 1A \mid 0B$  首先写为  $S \rightarrow (\Sigma S \mid 1A \mid 0B)$ , 也就是  $S \rightarrow \Sigma^*(1A \mid 0B)$ ;
- $A \rightarrow 1C \mid 1$  简写为  $A \rightarrow 1C?$ ,  $B$  同理简写为  $0C?$ ;
- $C \rightarrow 0C \mid 1C \mid 0 \mid 1$  首先写为  $C \rightarrow (\Sigma C \mid \Sigma)$ , 也就是  $\Sigma^+$ ;
- 依次代入上面式子, 得到  $S \rightarrow \Sigma^*(11 \mid 00)\Sigma^+?$

得到正规式为  $(0|1)^*(11|00)((1|0)(1|0)^*)|\varepsilon$ 。

**左线性文法** 类似上文, 进行逐步拆解:

1.  $\Sigma^*(11|00)\Sigma^+?$  替换为  $S \rightarrow S_1\Sigma^+?$ 、 $S_1 \rightarrow S_21|S_30$ 、 $S_2 \rightarrow S_41$ 、 $S_3 \rightarrow S_40$ 、 $S_4 \rightarrow \Sigma^*$ ;
2.  $S \rightarrow S_1\Sigma^+?$  可写为  $S \rightarrow S_10 \mid S_11 \mid S0 \mid S1$ ;
3.  $S_4 \rightarrow \Sigma^*$  可写为  $S_4 \rightarrow S_40 \mid S_41 \mid 0 \mid 1 \mid \varepsilon$ ;

总伤, 该正规式  $\Sigma^*(11|00)\Sigma^+?$ , 也就是给出的右线性文法对应的左线性文法为:

$$S \rightarrow S_21 \mid S_30 \mid S_10 \mid S_11 \mid S0 \mid S1$$

$$S_1 \rightarrow S_21 \mid S_30$$

$$S_2 \rightarrow S_41$$

$$S_3 \rightarrow S_40$$

$$S_4 \rightarrow S_40 \mid S_41 \mid 0 \mid 1 \mid \varepsilon$$

## 5 作业 5

### 5.1 作业 5.1

#### 5.1.1 题目描述

C 风格声明语句文法为  $G[L] = (\{L, D, T\}, \{;, ,, id, int, double\}, P, L)$  , 产生式如下:

$L \rightarrow L; D \quad L \rightarrow D \quad D \rightarrow T id \quad D \rightarrow D, id \quad T \rightarrow int \quad T \rightarrow double$

1. 消除文法产生式的左递归;
2. 构造所有非终结符号的首符集 First;
3. 构造所有非终结符号的后继符集 Follow;
4. 构造  $LL(1)$  分析表;
5. 给出句子  $int\ i; double\ x, y$  的分析过程。

#### 5.1.2 解答

消除文法产生式的左递归 转为右递归文法:

$L \rightarrow L; D \quad L \rightarrow D$  替换为:

- $L \rightarrow DL'$
- $L' \rightarrow ; DL' \mid \varepsilon$

$D \rightarrow T id \quad D \rightarrow D, id$  替换为:

- $D \rightarrow T id D'$
- $D' \rightarrow , id D' \mid \varepsilon$

**First** 可以直接写出:

First

```
1 First(T)={int, double}
2 First(D)={, , ε}
3 First(D')={int, double}
4 First(L')={; , ε}
5 First(L)={int, double}
```

**Follow** 由于不存在隐式左递归, 可以整理为:

- $L \rightarrow DL'$
- $L' \rightarrow ; DL' \mid \varepsilon$
- $D \rightarrow T id D'$
- $D' \rightarrow , id D' \mid \varepsilon$

- $T \rightarrow \text{int} \mid \text{double}$

Follow

```

1 First(T)={id, #}
2 First(D)={; , #}
3 First(D')={; , #}
4 First(L')={#}
5 First(L)={#}

```

**LL(1) 分析表** 不难画出：

Table 5: LL(1) 分析表

	,	;	id	int	double	#
$L$				$\#L \rightarrow DL'$	$\#L \rightarrow DL'$	
$L'$		$\#L' \rightarrow; DL'$				$\#L' \rightarrow \varepsilon$
$D$				$D \rightarrow T \text{ id } D'$	$D \rightarrow T \text{ id } D'$	
$D'$	$D' \rightarrow, \text{id } D'$	$D' \rightarrow \varepsilon$				$D' \rightarrow \varepsilon$
$T$				$T \rightarrow \text{int}$	$T \rightarrow \text{double}$	

**int i; double x,y 分析过程：** 可以写出：

1	$\#E$	int i; double x, y#
2	$\#L'D'$	int i; double x, y#
3	$\#L'D' \text{ id } T$	int i; double x, y#
4	$\#L'D' \text{ id } \text{int}$	int i; double x, y#
5	$\#L'D' \text{ id}$	i; double x, y#
6	$\#L'D'$	; double x, y#
7	$\#L'$	; double x, y#
8	$\#L'D;$	; double x, y#
9	$\#L'D$	double x, y#
10	$\#L'D' \text{ id } T$	double x, y#
11	$\#L'D' \text{ id } \text{double}$	double x, y#
12	$\#L'D' \text{ id}$	x, y#
13	$\#L'D'$	, y#
14	$\#L'D' \text{ id},$	, y#
15	$\#L'D' \text{ id}$	y#
16	$\#L'D'$	#
17	$\#L'$	#
18	#	#



## 6 作业 6

文法  $G[E]: E \rightarrow E \circ E \mid EE \mid E * \mid (E) \mid i$  是生成正规式的二义文法，为了避免与文法元语言符号“|”冲突，或运算用符号  $\circ$  表示；连接运算则省略； $*$  为闭包运算； $i$  表示单词，既任何表示单词的终结符号均可与之匹配：

1. 构造 LR(1) 项目集规范族；
2. 构造 LR(1) 分析表，如有冲突，请根据正规式的运算规则消除之；
3. 用 LR(1) 分析表分析有两个连续  $a$  或两个连续  $b$  的句子： $(a \circ b) * (aa \circ bb)(a \circ b) *$ 。

### 6.1 作业 6.1

首先拓广文法，加入  $S \rightarrow E$ ，不难写出 First 与 Follow：

- E: First={ (, i }, Follow={ #, o, (, i, \* }
- S: First={ (, i }, Follow={ # }

首先尝试直接转换：

State	Items	Lookaheads	Transitions
0	$S \rightarrow \cdot E$	{ # }	$E \rightarrow 1$
	$E \rightarrow \cdot E \circ E$	{ #, o, (, i, * }	$( \rightarrow 2$
	$E \rightarrow \cdot E E$	{ #, o, (, i, * }	$i \rightarrow 3$
	$E \rightarrow \cdot E *$	{ #, o, (, i, * }	
	$E \rightarrow \cdot ( E )$	{ #, o, (, i, * }	
	$E \rightarrow \cdot i$	{ #, o, (, i, * }	
1	$S \rightarrow E \cdot$	{ # }	$( \rightarrow 2$
	$E \rightarrow E \cdot \circ E$	{ #, o, (, i, * }	$i \rightarrow 3$
	$E \rightarrow E \cdot E$	{ #, o, (, i, * }	$E \rightarrow 14$
	$E \rightarrow E \cdot *$	{ #, o, (, i, * }	$* \rightarrow 15$
	$E \rightarrow \cdot E \circ E$	{ #, o, (, i, * }	$o \rightarrow 16$
	$E \rightarrow \cdot E E$	{ #, o, (, i, * }	
	$E \rightarrow \cdot E *$	{ #, o, (, i, * }	
	$E \rightarrow \cdot ( E )$	{ #, o, (, i, * }	
2	$E \rightarrow ( \cdot E )$	{ #, o, (, i, * }	$E \rightarrow 4$
	$E \rightarrow \cdot E \circ E$	{ }, o, (, i, * }	$( \rightarrow 5$
	$E \rightarrow \cdot E E$	{ }, o, (, i, * }	$i \rightarrow 6$
	$E \rightarrow \cdot E *$	{ }, o, (, i, * }	
	$E \rightarrow \cdot ( E )$	{ }, o, (, i, * }	
	$E \rightarrow \cdot i$	{ }, o, (, i, * }	
3	$E \rightarrow i \cdot$	{ #, o, (, i, * }	
4	$E \rightarrow ( E \cdot )$	{ #, o, (, i, * }	$( \rightarrow 5$
	$E \rightarrow E \cdot \circ E$	{ }, o, (, i, * }	$i \rightarrow 6$
	$E \rightarrow E \cdot E$	{ }, o, (, i, * }	$E \rightarrow 9$

	$E \rightarrow E . *$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$* \rightarrow 10$
	$E \rightarrow . E \circ E$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$o \rightarrow 11$
	$E \rightarrow . E E$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$) \rightarrow 13$
	$E \rightarrow . E *$	$\{ ), o, (, i, * \}$	
	$E \rightarrow . ( E )$	$\{ ), o, (, i, * \}$	
	$E \rightarrow . i$	$\{ ), o, (, i, * \}$	
5	$E \rightarrow ( . E )$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$( \rightarrow 5$
	$E \rightarrow . E \circ E$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$i \rightarrow 6$
	$E \rightarrow . E E$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$E \rightarrow 7$
	$E \rightarrow . E *$	$\{ ), o, (, i, * \}$	
	$E \rightarrow . ( E )$	$\{ ), o, (, i, * \}$	
	$E \rightarrow . i$	$\{ ), o, (, i, * \}$	
6	$E \rightarrow i .$	$\{ ), o, (, i, * \}$	
7	$E \rightarrow ( E . )$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$( \rightarrow 5$
	$E \rightarrow E . \circ E$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$i \rightarrow 6$
	$E \rightarrow E . E$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$) \rightarrow 8$
	$E \rightarrow E . *$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$E \rightarrow 9$
	$E \rightarrow . E \circ E$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$* \rightarrow 10$
	$E \rightarrow . E E$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$o \rightarrow 11$
	$E \rightarrow . E *$	$\{ ), o, (, i, * \}$	
	$E \rightarrow . ( E )$	$\{ ), o, (, i, * \}$	
	$E \rightarrow . i$	$\{ ), o, (, i, * \}$	
8	$E \rightarrow ( E ) .$	$\{ ), o, (, i, * \}$	
9	$E \rightarrow E E .$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$( \rightarrow 5$
	$E \rightarrow E . \circ E$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$i \rightarrow 6$
	$E \rightarrow E . E$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$E \rightarrow 9$
	$E \rightarrow E . *$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$* \rightarrow 10$
	$E \rightarrow . E \circ E$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$o \rightarrow 11$
	$E \rightarrow . E E$	$\{ ), o, (, i, * \}$	
	$E \rightarrow . E *$	$\{ ), o, (, i, * \}$	
	$E \rightarrow . ( E )$	$\{ ), o, (, i, * \}$	
	$E \rightarrow . i$	$\{ ), o, (, i, * \}$	
10	$E \rightarrow E * .$	$\{ ), o, (, i, * \}$	
11	$E \rightarrow E \circ . E$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$( \rightarrow 5$
	$E \rightarrow . E \circ E$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$i \rightarrow 6$
	$E \rightarrow . E E$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$E \rightarrow 12$
	$E \rightarrow . E *$	$\{ ), o, (, i, * \}$	
	$E \rightarrow . ( E )$	$\{ ), o, (, i, * \}$	
	$E \rightarrow . i$	$\{ ), o, (, i, * \}$	
12	$E \rightarrow E \circ E .$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$( \rightarrow 5$
	$E \rightarrow E . \circ E$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$i \rightarrow 6$
	$E \rightarrow E . E$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$E \rightarrow 9$
	$E \rightarrow E . *$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$* \rightarrow 10$
	$E \rightarrow . E \circ E$	$\{ ), o, (, i, * \}$	$o \rightarrow 11$
	$E \rightarrow . E E$	$\{ ), o, (, i, * \}$	

	$E \rightarrow . E *$	$\{ ), o, (, i, * \}$	
	$E \rightarrow . ( E )$	$\{ ), o, (, i, * \}$	
	$E \rightarrow . i$	$\{ ), o, (, i, * \}$	
13	$E \rightarrow ( E ) .$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	
14	$E \rightarrow E E .$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	$( \rightarrow 2$
	$E \rightarrow E . o E$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	$i \rightarrow 3$
	$E \rightarrow E . E$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	$E \rightarrow 14$
	$E \rightarrow E . *$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	$* \rightarrow 15$
	$E \rightarrow . E o E$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	$o \rightarrow 16$
	$E \rightarrow . E E$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	
	$E \rightarrow . E *$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	
	$E \rightarrow . ( E )$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	
	$E \rightarrow . i$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	
15	$E \rightarrow E * .$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	
16	$E \rightarrow E o . E$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	$( \rightarrow 2$
	$E \rightarrow . E o E$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	$i \rightarrow 3$
	$E \rightarrow . E E$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	$E \rightarrow 17$
	$E \rightarrow . E *$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	
	$E \rightarrow . ( E )$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	
	$E \rightarrow . i$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	
17	$E \rightarrow E o E .$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	$( \rightarrow 2$
	$E \rightarrow E . o E$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	$i \rightarrow 3$
	$E \rightarrow E . E$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	$E \rightarrow 14$
	$E \rightarrow E . *$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	$* \rightarrow 15$
	$E \rightarrow . E o E$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	$o \rightarrow 16$
	$E \rightarrow . E E$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	
	$E \rightarrow . E *$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	
	$E \rightarrow . ( E )$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	
	$E \rightarrow . i$	$\{ \#, o, (, i, * \}$	

直接这样转换会在状态 9 处会因为 o 的冲突无法进行，需要计算闭包：（由于横向空间紧张导致排版困难，Transitions 放在每个 Lookaheads 后的括号内）

State	CORE Items	CORE Lookaheads	CLOSURE Items	CLOSURE Lookaheads
1	$S \rightarrow . E$	$\{ \# \} (2)$	$E \rightarrow . E o E$	$\{ i, (, o, *, \# \} (2)$
			$E \rightarrow . EE$	$\{ i, (, o, *, \# \} (2)$
			$E \rightarrow . E*$	$\{ i, (, o, *, \# \} (2)$
			$E \rightarrow . (E)$	$\{ i, (, o, *, \# \} (3)$
			$E \rightarrow . i$	$\{ i, (, o, *, \# \} (4)$
2	$S \rightarrow E .$	$\{ \# \} (-)$	$E \rightarrow . E o E$	$\{ i, (, o, *, \# \} (6)$
	$E \rightarrow E . o E$	$\{ i, (, o, *, \# \} (5)$	$E \rightarrow . EE$	$\{ i, (, o, *, \# \} (6)$
	$E \rightarrow E . E$	$\{ i, (, o, *, \# \} (6)$	$E \rightarrow . E *$	$\{ i, (, o, *, \# \} (6)$
	$E \rightarrow E . *$	$\{ i, (, o, *, \# \} (7)$	$E \rightarrow . (E)$	$\{ i, (, o, *, \# \} (8)$

		$E \rightarrow . i$	$\{ i, (, o, * \} (9)$
3	$E \rightarrow ( . E) \quad \{ i, (, o, *, \# \} (10)$	$E \rightarrow . E o E \quad \{ i, (, ), o, * \} (10)$ $E \rightarrow . EE \quad \{ i, (, ), o, * \} (10)$ $E \rightarrow . E^* \quad \{ i, (, ), o, * \} (10)$ $E \rightarrow . (E) \quad \{ i, (, ), o, * \} (11)$ $E \rightarrow . i \quad \{ i, (, ), o, * \} (12)$	
4	$E \rightarrow i . \quad \{ i, (, o, *, \# \} (-)$		
5	$E \rightarrow E o . E \quad \{ i, (, o, *, \# \} (13)$	$E \rightarrow . E o E \quad \{ i, (, o, * \} (13)$ $E \rightarrow . EE \quad \{ i, (, o, * \} (13)$ $E \rightarrow . E^* \quad \{ i, (, o, * \} (13)$ $E \rightarrow . (E) \quad \{ i, (, o, * \} (8)$ $E \rightarrow . i \quad \{ i, (, o, * \} (9)$	
6	$E \rightarrow EE . \quad \{ i, (, o, *, \# \} (-)$ $E \rightarrow E . o E \quad \{ i, (, o, * \} (14)$ $E \rightarrow E . E \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow E . * \quad \{ i, (, o, * \} (16)$	$E \rightarrow . E o E \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow . EE \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow . E^* \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow . (E) \quad \{ i, (, o, * \} (8)$ $E \rightarrow . i \quad \{ i, (, o, * \} (9)$	
7	$E \rightarrow E^* . \quad \{ i, (, o, *, \# \} (-)$		
8	$E \rightarrow ( . E) \quad \{ i, (, o, * \} (17)$	$E \rightarrow . E o E \quad \{ i, (, o, * \} (17)$ $E \rightarrow . EE \quad \{ i, (, o, * \} (17)$ $E \rightarrow . E^* \quad \{ i, (, o, * \} (17)$ $E \rightarrow . (E) \quad \{ i, (, o, * \} (11)$ $E \rightarrow . i \quad \{ i, (, o, * \} (12)$	
9	$E \rightarrow i . \quad \{ i, (, o, * \} (-)$		
10	$E \rightarrow (E . ) \quad \{ i, (, o, *, \# \} (18)$ $E \rightarrow E . o E \quad \{ i, (, o, * \} (19)$ $E \rightarrow E . E \quad \{ i, (, o, * \} (20)$ $E \rightarrow E . * \quad \{ i, (, o, * \} (21)$	$E \rightarrow . E o E \quad \{ i, (, o, * \} (20)$ $E \rightarrow . EE \quad \{ i, (, o, * \} (20)$ $E \rightarrow . E^* \quad \{ i, (, o, * \} (20)$ $E \rightarrow . (E) \quad \{ i, (, o, * \} (8)$ $E \rightarrow . i \quad \{ i, (, o, * \} (9)$	
11	$E \rightarrow ( . E) \quad \{ i, (, ), o, * \} (22)$	$E \rightarrow . E o E \quad \{ i, (, ), o, * \} (22)$ $E \rightarrow . EE \quad \{ i, (, ), o, * \} (22)$ $E \rightarrow . E^* \quad \{ i, (, ), o, * \} (22)$ $E \rightarrow . (E) \quad \{ i, (, ), o, * \} (11)$ $E \rightarrow . i \quad \{ i, (, ), o, * \} (12)$	
12	$E \rightarrow i . \quad \{ i, (, ), o, * \} (-)$		
13	$E \rightarrow E o E . \quad \{ i, (, o, *, \# \} (-)$ $E \rightarrow E . o E \quad \{ i, (, o, * \} (14)$ $E \rightarrow E . E \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow E . * \quad \{ i, (, o, * \} (16)$	$E \rightarrow . E o E \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow . EE \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow . E^* \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow . (E) \quad \{ i, (, o, * \} (8)$ $E \rightarrow . i \quad \{ i, (, o, * \} (9)$	
14	$E \rightarrow E o . E \quad \{ i, (, o, * \} (23)$	$E \rightarrow . E o E \quad \{ i, (, o, * \} (23)$ $E \rightarrow . EE \quad \{ i, (, o, * \} (23)$ $E \rightarrow . E^* \quad \{ i, (, o, * \} (23)$ $E \rightarrow . (E) \quad \{ i, (, o, * \} (8)$	

		$E \rightarrow . i$	$\{ i, (, o, * \} (9)$
15	$E \rightarrow EE . \quad \{ i, (, o, * \} (-)$ $E \rightarrow E . o E \quad \{ i, (, o, * \} (14)$ $E \rightarrow E . E \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow E . * \quad \{ i, (, o, * \} (16)$	$E \rightarrow . E o E \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow . EE \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow . E^* \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow . (E) \quad \{ i, (, o, * \} (8)$ $E \rightarrow . i \quad \{ i, (, o, * \} (9)$	
16	$E \rightarrow E^* . \quad \{ i, (, o, * \} (-)$		
17	$E \rightarrow (E . ) \quad \{ i, (, o, * \} (24)$ $E \rightarrow E . o E \quad \{ i, (, ), o, * \} (19)$ $E \rightarrow E . E \quad \{ i, (, ), o, * \} (20)$ $E \rightarrow E . * \quad \{ i, (, ), o, * \} (21)$	$E \rightarrow . E o E \quad \{ i, (, o, * \} (20)$ $E \rightarrow . EE \quad \{ i, (, o, * \} (20)$ $E \rightarrow . E^* \quad \{ i, (, o, * \} (20)$ $E \rightarrow . (E) \quad \{ i, (, o, * \} (8)$ $E \rightarrow . i \quad \{ i, (, o, * \} (9)$	
18	$E \rightarrow (E) . \quad \{ i, (, o, *, \# \} (-)$		
19	$E \rightarrow E o . E \quad \{ i, (, ), o, * \} (26)$	$E \rightarrow . E o E \quad \{ i, (, o, * \} (26)$ $E \rightarrow . EE \quad \{ i, (, o, * \} (26)$ $E \rightarrow . E^* \quad \{ i, (, o, * \} (26)$ $E \rightarrow . (E) \quad \{ i, (, o, * \} (8)$ $E \rightarrow . i \quad \{ i, (, o, * \} (9)$	
20	$E \rightarrow EE . \quad \{ i, (, ), o, * \} (-)$ $E \rightarrow E . o E \quad \{ i, (, o, * \} (14)$ $E \rightarrow E . E \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow E . * \quad \{ i, (, o, * \} (16)$	$E \rightarrow . E o E \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow . EE \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow . E^* \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow . (E) \quad \{ i, (, o, * \} (8)$ $E \rightarrow . i \quad \{ i, (, o, * \} (9)$	
21	$E \rightarrow E^* . \quad \{ i, (, ), o, * \} (-)$		
22	$E \rightarrow (E . ) \quad \{ i, (, ), o, * \} (25)$ $E \rightarrow E . o E \quad \{ i, (, ), o, * \} (19)$ $E \rightarrow E . E \quad \{ i, (, ), o, * \} (20)$ $E \rightarrow E . * \quad \{ i, (, ), o, * \} (21)$	$E \rightarrow . E o E \quad \{ i, (, o, * \} (20)$ $E \rightarrow . EE \quad \{ i, (, o, * \} (20)$ $E \rightarrow . E^* \quad \{ i, (, o, * \} (20)$ $E \rightarrow . (E) \quad \{ i, (, o, * \} (8)$ $E \rightarrow . i \quad \{ i, (, o, * \} (9)$	
23	$E \rightarrow E o E . \quad \{ i, (, o, * \} (-)$ $E \rightarrow E . o E \quad \{ i, (, o, * \} (14)$ $E \rightarrow E . E \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow E . * \quad \{ i, (, o, * \} (16)$	$E \rightarrow . E o E \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow . EE \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow . E^* \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow . (E) \quad \{ i, (, o, * \} (8)$ $E \rightarrow . i \quad \{ i, (, o, * \} (9)$	
24	$E \rightarrow (E) . \quad \{ i, (, o, * \} (-)$		
25	$E \rightarrow (E) . \quad \{ i, (, ), o, * \} (-)$		
26	$E \rightarrow E o E . \quad \{ i, (, ), o, * \} (-)$ $E \rightarrow E . o E \quad \{ i, (, o, * \} (14)$ $E \rightarrow E . E \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow E . * \quad \{ i, (, o, * \} (16)$	$E \rightarrow . E o E \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow . EE \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow . E^* \quad \{ i, (, o, * \} (15)$ $E \rightarrow . (E) \quad \{ i, (, o, * \} (8)$ $E \rightarrow . i \quad \{ i, (, o, * \} (9)$	

## 6.2 作业 6.2

修正冲突后的分析表如下：

状态	Action						Goto	
	i	(	)	o	*	#	S	E
1	s4	s3						2
2	s9	s8		s5	s7	acc		6
3	s12	s11						10
4	$E \rightarrow i$	$E \rightarrow i$		$E \rightarrow i$	$E \rightarrow i$	$E \rightarrow i$		
5	s9	s8						13
6	$E \rightarrow EE$	$E \rightarrow EE$		$E \rightarrow EE$	s16	$E \rightarrow EE$		
7	$E \rightarrow E*$	$E \rightarrow E*$		$E \rightarrow E*$	$E \rightarrow E*$	$E \rightarrow E*$		
8	s12	s11						17
9	$E \rightarrow i$	$E \rightarrow i$		$E \rightarrow i$	$E \rightarrow i$			
10	s9	s8	s18	s19	s21			20
11	s12	s11						22
12	$E \rightarrow i$	$E \rightarrow i$	$E \rightarrow i$	$E \rightarrow i$	$E \rightarrow i$			
13	s9	s8		$E \rightarrow E \circ E$	s16	$E \rightarrow E \circ E$		15
14	s9	s8						23
15	$E \rightarrow EE$	$E \rightarrow EE$		$E \rightarrow EE$	s16			15
16	$E \rightarrow E*$	$E \rightarrow E*$		$E \rightarrow E*$	$E \rightarrow E*$			
17	s9	s8	s24	s19	s21			20
18	$E \rightarrow (E)$	$E \rightarrow (E)$		$E \rightarrow (E)$	$E \rightarrow (E)$	$E \rightarrow (E)$		
19	s9	s8						26
20	$E \rightarrow EE$	$E \rightarrow EE$	$E \rightarrow EE$	$E \rightarrow EE$	s16			15
21	$E \rightarrow E*$	$E \rightarrow E*$	$E \rightarrow E*$	$E \rightarrow E*$	$E \rightarrow E*$			
22	s9	s8	s25	s19	s21			20
23	s9	s8		$E \rightarrow E \circ E$	s16			15
24	$E \rightarrow (E)$	$E \rightarrow (E)$		$E \rightarrow (E)$	$E \rightarrow (E)$			
25	$E \rightarrow (E)$	$E \rightarrow (E)$	$E \rightarrow (E)$	$E \rightarrow (E)$	$E \rightarrow (E)$			
26	s9	s8	$E \rightarrow E \circ E$	$E \rightarrow E \circ E$	s16			15

## 6.3 作业 6.3

分析  $(a \circ b) * (aa \circ bb)(a \circ b) *$  的过程为：

	符号栈	输入串
1	#	$(a \circ b) * (aa \circ bb)(a \circ b) * \#$
2	# (	$a \circ b) * (aa \circ bb)(a \circ b) * \#$
3	# ( a	$o b) * (aa \circ bb)(a \circ b) * \#$
4	# ( a o	$b) * (aa \circ bb)(a \circ b) * \#$

5	# ( a o b ) * ( a a o b b ) ( a o b ) * #
6	# ( E ) * ( a a o b b ) ( a o b ) * #
7	# ( E ) * ( a a o b b ) ( a o b ) * #
8	# E * ( a a o b b ) ( a o b ) * #
9	# E * ( a a o b b ) ( a o b ) * #
10	# E ( a a o b b ) ( a o b ) * #
11	# E ( a a o b b ) ( a o b ) * #
12	# E ( a a o b b ) ( a o b ) * #
13	# E ( E o b b ) ( a o b ) * #
14	# E ( E o b b ) ( a o b ) * #
15	# E ( E o b b ) ( a o b ) * #
16	# E ( E o b b ) ( a o b ) * #
17	# E ( E o E ) ( a o b ) * #
18	# E ( E ) ( a o b ) * #
19	# E ( E ) ( a o b ) * #
20	# E E ( a o b ) * #
21	# E # ( a o b ) * #
22	# E ( a o b ) * #
23	# E ( a o b ) * #
24	# E ( a o b ) * #
25	# E ( a o b ) * #
26	# E ( E ) * #
27	# E ( E ) * #
28	# E E * #
29	# E * #
30	# E * #
31	# E #
32	acc

## 7 作业 7

### 7.1 作业 7.1

#### 7.1.1 题目描述

本章中，关系式  $i^{(1)} < i^{(2)}$  被翻译成相继的两个四元式：

$$i^{(1)} < i^{(2)}$$

```
1  (j <, i(1), i(2), -) // 真出口
2  (j, -, -, -) // 假出口
```

这种翻译常常浪费一个四元式。如果我们翻译成如下四元式：

$(j \geq, i^{(1)}, i^{(2)}, -)$  // 假出口跳转，真出口自动滑到下一个四元式

那么，在  $i^{(1)} < i^{(2)}$  的情况下就不发生跳转（自动滑下来）。但若这个关系后有一个或运算，则另一个无条件转移指令是不可省的，例如：

$$\text{if } A < B \vee C < D \text{ then } x = y$$

```
1  100: (j ≥, A, B, 102)
2  101: (j, -, -, 103) // 或运算前的无条件跳转不能省略
3  102: (j ≥, C, D, 104)
4  103: (=, y, -, x)
```

请按上述要求改写翻译布尔表达式的语义动作。

#### 7.1.2 解答

$E \rightarrow A \vee M E_1$	{ backpatch(A.falselist, M.quad); E.truelist = merge(A.truelist, E <sub>1</sub> .truelist); E.falselist = E <sub>1</sub> .falselist; }
$E \rightarrow E_1 \wedge M E_2$	{ backpatch(E.truelist, M.quad); A.falselist = merge(E <sub>1</sub> .falselist, E <sub>2</sub> .falselist); E.truelist = E <sub>2</sub> .truelist; }
$M \rightarrow \varepsilon$	{ M.quad = nextquad; }
$E \rightarrow \neg E$	{ E.truelist = E <sub>1</sub> .falselist E.falselist = E <sub>1</sub> .truelist }
$E \rightarrow (E_1)$	{ E.truelist = E <sub>1</sub> .truelist E.falselist = E <sub>1</sub> .falselist }
$A \rightarrow A_1 \vee M A_2$	{ backpatch(A.falselist, M.quad); A.truelist = merge(A <sub>1</sub> .truelist, A <sub>2</sub> .truelist); A <sub>1</sub> .falselist = A <sub>2</sub> .falselist; }
$A \rightarrow E \wedge M A_1$	{ backpatch(E.truelist, M.quad); A.falselist = merge(E.falselist, A <sub>1</sub> .falselist); }
$A \rightarrow \neg A_1$	{ A.truelist = A <sub>1</sub> .falselist; A.falselist = A <sub>1</sub> .truelist; }



$A \rightarrow (A)$	{ A.truelist = A <sub>1</sub> .truelist; A.falselist = A <sub>1</sub> .falselist; }
$E \rightarrow id_1 \theta id_2$	{ E.truelist = makelist(); E.falselist = makelist(nextquad); gen( j $\theta$ , id <sub>1</sub> .name, id <sub>2</sub> .name, 0); }
$A \rightarrow id_1 \theta id_2$	{ A.truelist = makelist(nextquad + 1); A.falselist = makelist(nextquad); gen( j $\theta$ , id <sub>1</sub> .name, id <sub>2</sub> .name, 0); gen(j, -, -, 0); }

## 7.2 作业 7.2

### 7.2.1 题目描述

根据本章所述翻译模式，将如下声明语句填符号表（名字、类型、偏移量三项），其他语句翻译为四元式。

#### 四元式翻译

```

1  int i, j;
2  real x, y;
3  i = 1;
4  j = 1;
5  while (i <= 9)
6  {
7      while (j <= 9)
8      {
9          a[i, j] = i * j;
10         j = j + 1;
11     }
12     i = i + 1;
13 }
```

### 7.2.2 解答

可以写出符号表：

i	int	0
j	int	4
x	real	8
y	real	12
a	array	16

Table 11: 符号表

不难翻译出：

## 四元式翻译

```
1  100: (=,1,-,T0_i)
2  101: (=,T0_i,-,TB0)
3  102: (=,1,-,T1_i)
4  103: (=,T1_i,-,TB1)
5  104: (=,9,-,T2_i)
6  105: (j<=,TB0,T2_i,107)
7  106: (j,-,-,120)
8  107: (=,9,-,T3_i)
9  108: (j<=,TB1,T3_i,110)
10 109: (j,-,-,116)
11 110: (*,TB0,TB1,T4_i)
12 111: (=,T4_i,-,TB2)
13 112: (=,1,-,T5_i)
14 113: (+,TB1,T5_i,T6_i)
15 114: (=,T6_i,-,TB1)
16 115: (j,-,-,107)
17 116: (=,1,-,T7_i)
18 117: (+,TB0,T7_i,T8_i)
19 118: (=,T8_i,-,TB0)
20 119: (j,-,-,104)
21 120: (End,-,-,-)
```

## 8 作业 8

### 8.1 作业 8.1

#### 8.1.1 题目描述

##### 【作业8-1】

对如下代码：

100.( <i>proc</i> , <i>fun</i> , −, −)	109.(=, 1, −, <i>j</i> )	118.(+, <i>sum1</i> , <i>j</i> , \$4)
101.(=, 0, −, <i>sum1</i> )	110.( <i>j</i> ≤, <i>j</i> , <i>i</i> , 115)	119.(=, \$4, −, <i>sum1</i> )
102.(=, 0, −, <i>sum2</i> )	111.( <i>j</i> , −, −, 106)	120.( <i>j</i> , −, −, 112)
103.(=, 1, −, <i>i</i> )	112.(+, <i>j</i> , 1, \$2)	121.(+, <i>sum2</i> , <i>j</i> , \$5)
104.( <i>j</i> ≤, <i>i</i> , <i>n</i> , 109)	113.(=, \$2, −, <i>j</i> )	122.(=, \$5, −, <i>sum2</i> )
105.( <i>j</i> , −, −, 124)	114.( <i>j</i> , −, −, 110)	123.( <i>j</i> , −, −, 112)
106.(+, <i>i</i> , 1, \$1)	115.(%, <i>j</i> , 2, \$3)	124.(*, <i>sum1</i> , <i>sum2</i> , \$6)
107.(=, \$1, −, <i>i</i> )	116.( <i>j</i> =, \$3, 0, 118)	125.( <i>ret</i> , \$6, −, −)
108.( <i>j</i> , −, −, 104)	117.( <i>j</i> , −, −, 121)	126.( <i>endp</i> , <i>fun</i> , −, −)

- |                  |              |
|------------------|--------------|
| (1) 划分基本块；       | (4) 识别回边；    |
| (2) 构造流图；        | (5) 识别循环；    |
| (3) 计算各基本块支配结点集； | (6) 计算各循环层次； |
|                  | (7) 构造支配树。   |

Figure 3: 作业 8.1——题目

#### 8.1.2 解答

求出基本块入口：

100.( <i>proc</i> , <i>fun</i> , −, −)	109.(=, 1, −, <i>j</i> )	118.(+, <i>sum1</i> , <i>j</i> , \$4)
101.(=, 0, −, <i>sum1</i> )	110.( <i>j</i> ≤, <i>j</i> , <i>i</i> , 115)	119.(=, \$4, −, <i>sum1</i> )
102.(=, 0, −, <i>sum2</i> )	111.( <i>j</i> , −, −, 106)	120.( <i>j</i> , −, −, 112)
103.(=, 1, −, <i>i</i> )	112.(+, <i>j</i> , 1, \$2)	121.(+, <i>sum2</i> , <i>j</i> , \$5)
104.( <i>j</i> ≤, <i>i</i> , <i>n</i> , 109)	113.(=, \$2, −, <i>j</i> )	122.(=, \$5, −, <i>sum2</i> )
105.( <i>j</i> , −, −, 124)	114.( <i>j</i> , −, −, 110)	123.( <i>j</i> , −, −, 112)
106.(+, <i>i</i> , 1, \$1)	115.(%, <i>j</i> , 2, \$3)	124.(*, <i>sum1</i> , <i>sum2</i> , \$6)
107.(=, \$1, −, <i>i</i> )	116.( <i>j</i> =, \$3, 0, 118)	125.( <i>ret</i> , \$6, −, −)
108.( <i>j</i> , −, −, 104)	117.( <i>j</i> , −, −, 121)	126.( <i>endp</i> , <i>fun</i> , −, −)

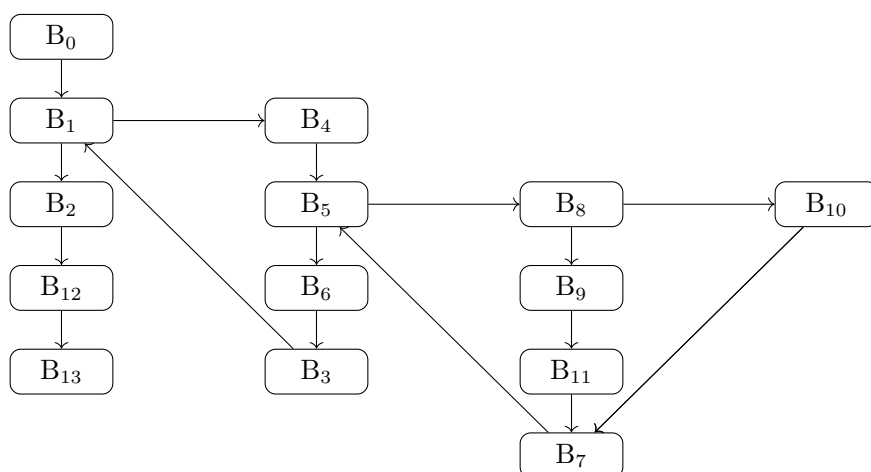
Figure 4: 作业 8.1——基本块入口

划分基本块：

<b>0</b> 100.(proc, fun, -, -)	<b>4</b> 109.(=, 1, -, j)	<b>10</b> 118.(+, sum1, j, \$4)
101.(=, 0, -, sum1)	<b>5</b> 110.(j ≤, j, i, 115)	119.(=, \$4, -, sum1)
102.(=, 0, -, sum2)	<b>6</b> 111.(j, -, -, 106)	120.(j, -, -, 112)
103.(=, 1, -, i)	<b>7</b> 112.(+, j, 1, \$2)	<b>11</b> 121.(+, sum2, j, \$5)
<b>1</b> 104.(j ≤, i, n, 109)	113.(=, \$2, -, j)	122.(=, \$5, -, sum2)
<b>2</b> 105.(j, -, -, 124)	114.(j, -, -, 110)	123.(j, -, -, 112)
<b>3</b> 106.(+, i, 1, \$1)	<b>8</b> 115.(%, j, 2, \$3)	<b>12</b> 124.(*, sum1, sum2, \$6)
107.(=, \$1, -, i)	116.(j =, \$3, 0, 118)	125.(ret, \$6, -, -)
108.(j, -, -, 104)	<b>9</b> 117.(j, -, -, 121)	<b>13</b> 126.(endp, fun, -, -)

Figure 5: 作业 8.1——基本块

构造流图：



## 8.2 作业 8.2

### 8.2.1 题目描述

#### 【作业8-2】

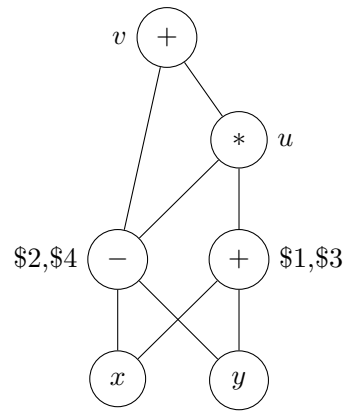
对如下代码进行 DAG 优化：

100.(+, x, y, \$1)	103.(+, x, y, \$3)	106.(+, \$1, u, v)
101.(-, x, y, \$2)	104.(-, x, y, \$4)	107.(+, \$2, v, u)
102.(*, \$1, \$2, u)	105.(*, \$3, \$4, v)	108.(*, \$3, \$4, u)

Figure 6: 作业 8.2——题目

### 8.2.2 解答

使用 DAG 优化：



- 100.  $(+, x, y, \$1)$
- 101.  $(=, \$1, -, \$3)$
- 102.  $(-, x, y, \$2)$
- 103.  $(=, \$2, -, \$4)$
- 104.  $(*, \$1, \$2, u)$
- 105.  $(+, \$1, u, v)$

## 9 作业 9

### 9.1 题目描述

【作业9-1】有如下基本块代码：

(1)(+, x, y, \$1) (2)(-, x, y, \$2) (3)(\*, \$1, \$2, u) (4)(-, x, y, \$1)  
(5)(+, x, y, \$2) (6)(\*, x, y, \$3) (7)(\*, \$2, \$1, \$1) (8)(\*, \$1, \$3, v)

(1) 构造DAG图；

(2) 写出优化后的代码；

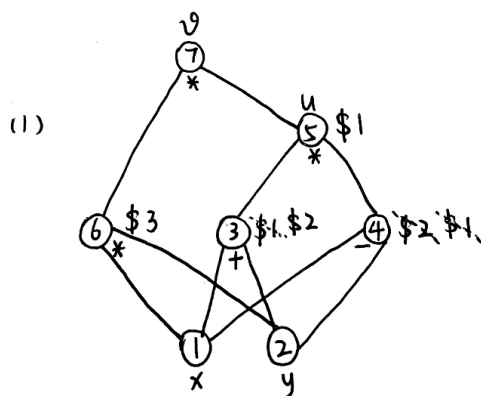
(3) 写出DAG目标代码优化后的中间代码；

(4) 假设所有局部变量在基本块出口处都不活跃，所有非局部变量在基本块出口处都活跃；有两个寄存器 $R_0$ 和 $R_1$ ，写出目标代码。

Figure 7: 作业 9.1——题目

### 9.2 解答

**构造 DAG 图、写出优化后的代码** 注意到两次计算  $x + y$  与  $x - y$ ，分别赋给 \$1、\$2 与 \$2、\$1，可以重排 DAG 节点，同时不难对照 DAG 图写出代码：



- (1) (+, x, y, \$1)
- (2) (-, x, y, \$2)
- (3) (\*, \$1, \$2, u)
- (4) (\*, x, y, \$3)
- (5) (\*, u, \$3, v)

**写出 DAG 目标代码优化后的中间代码** 可以写出：

- (1) (\*, x, y, \$3)
- (2) (+, x, y, \$2)
- (3) (-, x, y, \$1)
- (4) (\*, \$2, \$1, u)
- (5) (\*, \$3, u, v)

**写出目标代码** 可以写出：

(1)	$(*, x, y, \$3)$	MOV R0 [ebp- $\hat{\delta}_x$ ] IMUL R0 [ebp- $\hat{\delta}_y$ ]
(2)	$(+, x, y, \$2)$	MOV R1 [ebp- $\hat{\delta}_x$ ] ADD R1 [ebp- $\hat{\delta}_y$ ]
(3)	$(-, x, y, \$\$1)$	MOV [ebp- $\hat{\delta}_{\$3}$ ] R0 MOV R0 [ebp- $\hat{\delta}_x$ ] SUB R0 [ebp- $\hat{\delta}_y$ ]
(4)	$(*, \$2, \$\$1, u)$	IMUL R0 R1
(5)	$(*, \$3, u, v)$	MOV [ebp- $\hat{\delta}_{\$3}$ ] R1 MOV [ebp- $\hat{\delta}_u$ ] R1 IMUL R0 R1 MOV [ebp- $\hat{\delta}_v$ ] R0