第七章 源程序的中间形式

- 波兰表示
- N - 元表示
- 抽象机代码

7.1 波兰表示

一般编译程序都生成中间代码，然后再生成目标代码，主要优点是可移植(与具体目标程序无关)，且易于目标代码优化。有多种中间代码形式：

波兰表示　　N - 元组表示　　抽象机代码

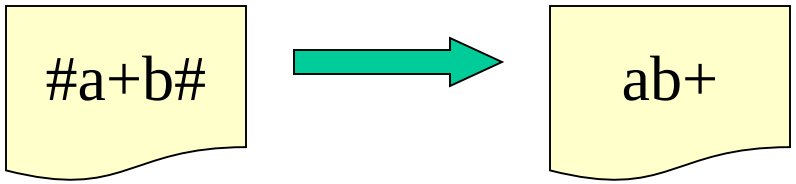
波兰表示

算术表达式：　　F*3.1416*R*(H+R)

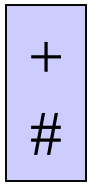
转换成波兰表示：　　F3.1416*R*HR+*

赋值语句：　　A := F * 3.1416 * R * (H + R)

波兰表示：　　AF3.1416 * R * HR + * :=



操作符栈



#优先级最低

算法：

设一个操作符栈；当读到操作数时，立即输出该操作数，当扫描到操作符时，与栈顶操作符比较优先级，若栈顶操作符优先级高于栈外，则输出该栈顶操作符，反之，则栈外操作符入栈。

转换算法

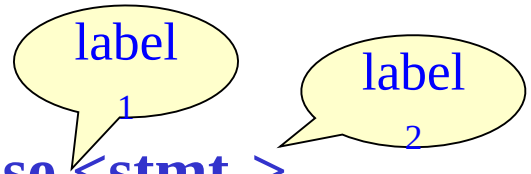
波兰表示

算术表达式：　F * 3.1416 * R * (H + R)

操作符栈		输入	输出
		F * 3.1416 * R * (H + R)	
		* 3.1416 * R * (H + R)	F
*		3.1416 * R * (H + R)	F
*	·	* R * (H + R)	F 3.1416
*	>	R * (H + R)	F 3.1416 *
*	·	* (H + R)	F 3.1416 * R
*	>	(H + R)	F 3.1416 * R *
*(	<·	H + R)	F 3.1416 * R *
*(		+ R)	F 3.1416 * R * H
*(+	<·	R)	F 3.1416 * R * H
*(+	·	)	F 3.1416 * R * HR
*(	>	)	F 3.1416 * R * HR +
			F 3.1416 * R * HR + *

波兰表示：　F3.1416 * R * HR + *

if 语句的波兰表示



if 语句 ： if <expr> then <stmt$_1$> else <stmt$_2$>

波兰表示为 ： <expr><label$_1$>BZ<stmt$_1$><label$_2$>BR<stmt$_2$>

BZ: 二目操作符
若<expr>的计算结果为0 (false)，
则产生一个到<label$_1$>的转移

BR: 一目操作符
产生一个到< label$_2$>的转移

波兰表示为 ： <expr><label$_1$>BZ<stmt$_1$><label$_2$>BR<stmt$_2$>

由if语句的波兰表示可生成如下的目标程序框架：

<expr>
BZ label$_1$
<stmt$_1$>
BR label$_2$
label$_1$： <stmt$_2$>
label$_2$：

其他语言结构也很容易将其翻译成波兰表示，使用波兰表示优化不是十分方便。

7.3 抽象机代码

许多pascal编译系统生成的中间代码是一种称为P - code的抽象代码，P - code的“P”即“Pseudo”

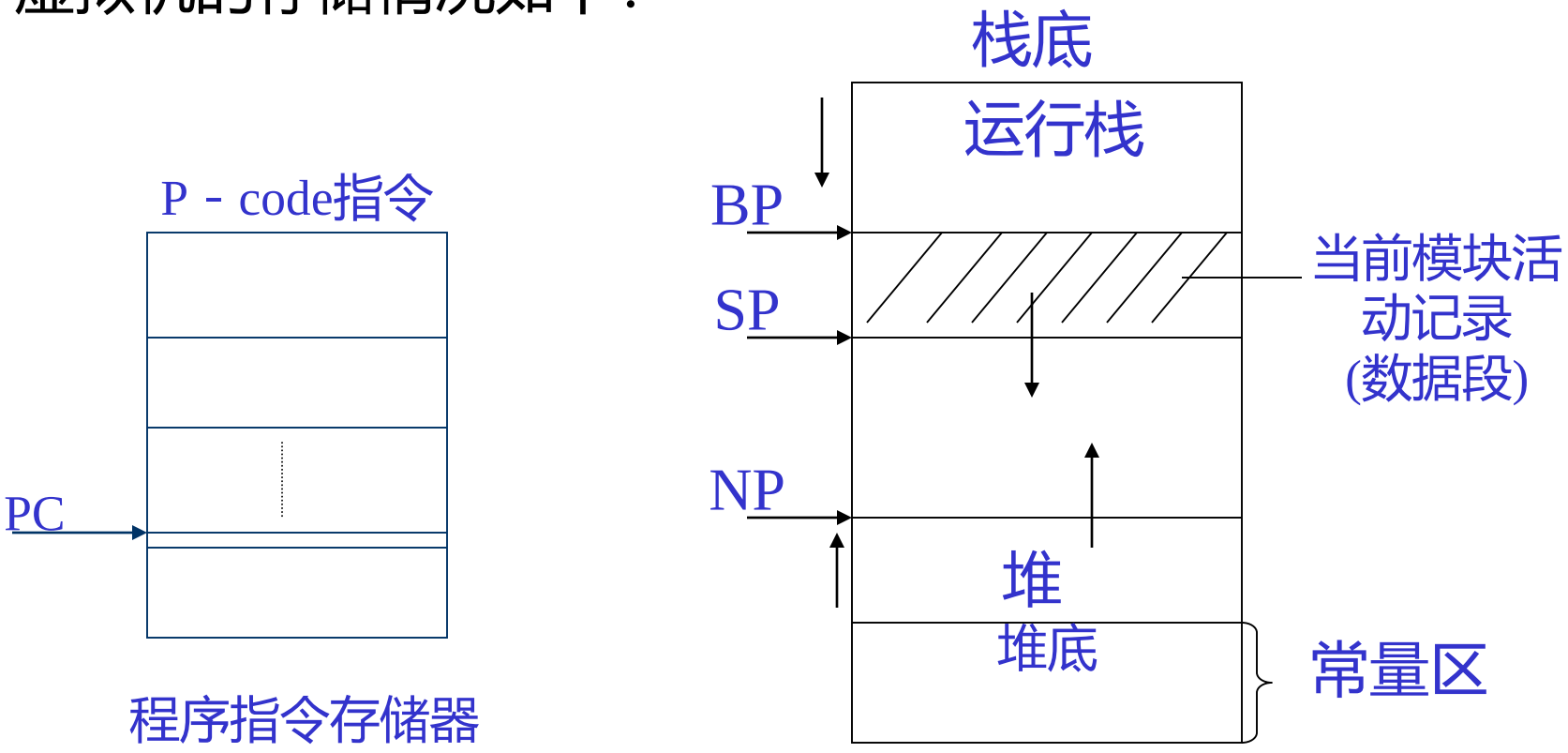
抽象机：

寄存器
保存程序指令的存储器
堆栈式数据及操作存储

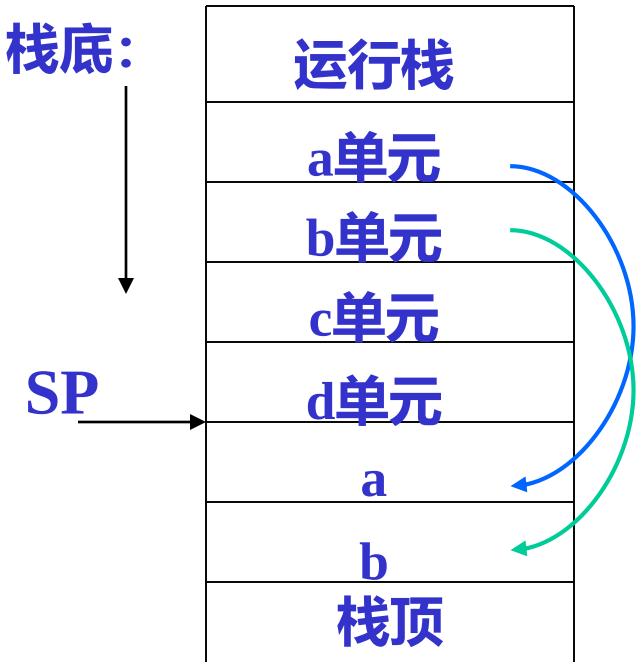
寄存器有：

1. PC - 程序计数器
2. NP - New指针，指向“堆”的顶部。“堆”用来存放由New生成的动态数据。
3. SP - 运行栈指针，存放所有可按源程序的数据声明直接寻址的数据。
4. BP - 基地址指针，即指向当前活动记录的起始位置指针。
5. 其他，（如MP - 栈标志指针，EP - 极限栈指针等）

虚拟机的存储情况如下：



运行P－code的抽象机没有专门的运算器或累加器，所有的运算(操作)都在运行栈的栈顶进行，如要进行d:=(a+b)*c的运算，生成P－code序列为：



取a	LOD a
取b	LOD b
+	ADD
取c	LOD c
*	MUL
送d	STO d

P－code实际上是波兰表示形式的中间代码

```
public class TestDate {

    private int count = 0;

    public static void main(String[] args) {
        TestDate testDate = new TestDate();
        testDate.test1();
    }

  ... ...

    public void  test4(){
        int a = 0;
        {
            int b = 0;
            b = a+1;
        }
        int c = a+1;
    }
}
```

```
public void test4();
  Code:
    0: iconst_0
    1: istore_1
    2: iconst_0
    3: istore_2
    4: iload_1
    5: iconst_1
    6: iadd
    7: istore_2
    8: iload_1
    9: iconst_1
   10: iadd
   11: istore_2
   12: return
```

编译程序生成P－code指令程序后，我们可以用一个虚拟机来解释或者即时编译执行P－code。

显然，生成抽象机P－code的编译程序是与平台无关的。

作业：P144　1,2,3,4

7.2 N - 元表示

在该表示中，每条指令由n个域组成，通常第一个域表示操作符，其余为操作数。

常用的n元表示是：　三元式　四元式

三元式

操作符	左操作数	右操作数

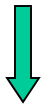
表达式的三元式：　w * x + (y + z)

(1) *, w, x
(2) +, y, z
(3) +, (1), (2)

第三个三元式中的操作数(1)(2)表示第(1)和第(2)条三元式的计算结果。

条件语句的三元式：

```
if  x > y  then
    z := x;
else   z := y+1;
```



(1)	- ,	x,	y
(2)	BMZ,	(1),	(5)
(3)	:=,	z,	x
(4)	BR,	,	(7)
(5)	+,	y,	1
(6)	:=,	z,	(5)
(7)			
	:		
	:		

其中：

BMZ：是二元操作符,测试第二个域的值，若≤0，则按第3个域的地址转移，若>0,则顺序执行。

BR：一元操作符，按第3个域作无条件转移。

使用三元式不便于代码优化，因为优化要删除一些三元式，或对某些三元式的位置要进行变更，由于三元式的结果(表示为编号)，可以是某个三元式的操作数，随着三元式位置的变更也将作相应的修改，很费事。

间接三元式：

为了便于在三元式上作优化处理，可使用间接三元式

三元式的执行次序用另一张表表示,这样在优化时，三元式可以不变，而仅仅改变其执行顺序表。

例： A:=B+C*D/E
F:=C*D

用间接三元式表示为：

操作	三元式
1. (1)	(1) * , C, D
2. (2)	(2) / , (1), E
3. (3)	(3) + , B, (2)
4. (4)	(4) := , A, (3)
5. (1)	(5) := , F, (1)
6. (5)	

四元式表示

操作符	操作数1	操作数2	结果

结果：通常是由编译引入的临时变量，可由编译程序分配一个寄存器或主存单元。

例：　　(A + B) * (C + D) - E

+, A, B, T1
+, C, D, T2
*, T1, T2, T3
—, T3, E, T4

式中T1，T2，T3，T4为临时变量，由四元式优化比较方便

一种特殊的四元式表达方式：SSA

Single Static Assignment form(SSA form)静态单一赋值形式的 IR 主要特征是每个变量只赋值一次。

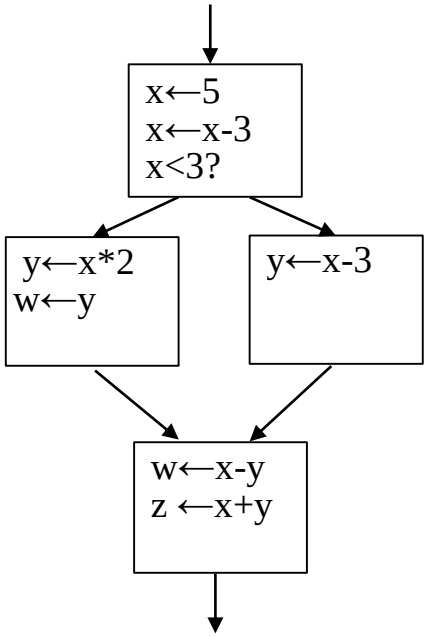
SSA的优点：1）可以简化很多优化的过程；2）可以获得更好的优化结果。

```
y := 1
...
y := 2
x := y + z
```

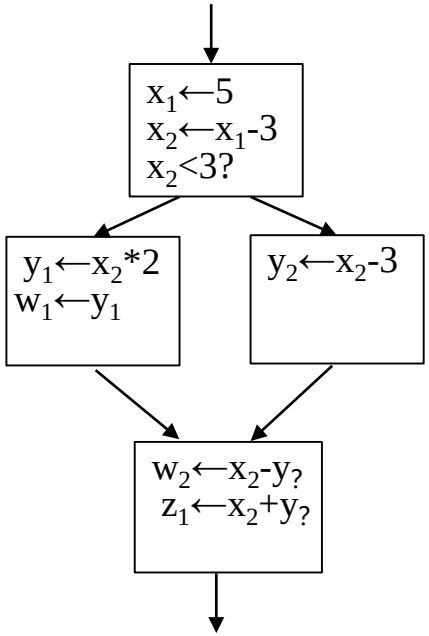
```
y1 := 1
...
y2 := 2
x := y2 + z
```

很容易分析出y1是可以优化掉的变量

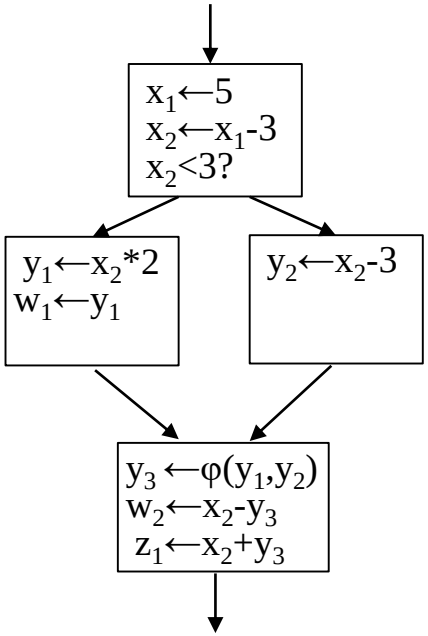
SSA可以从普通的四元式转化而来。如何转化?



原四元式和流图



转换SSA过程中...



加入Φ节点