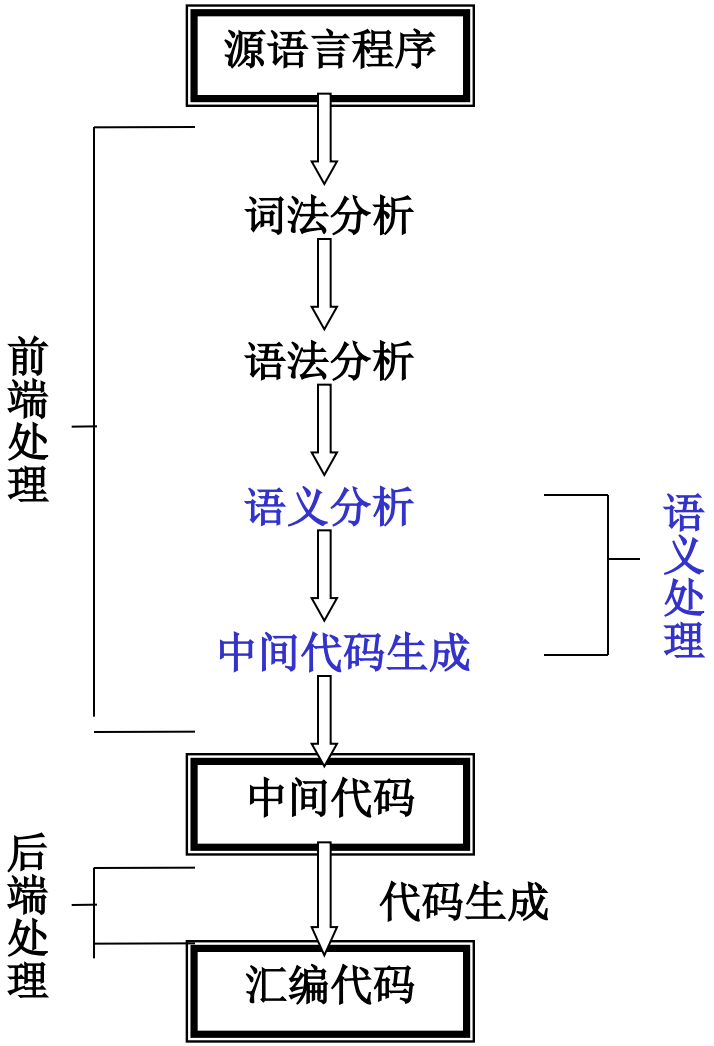
第7章 语法制导的语义计算

在编译中的逻辑阶段



语义处理

- **通常在词法分析和语法分析之后，**

可以由语法分析程序直接调用相应的语义子程序进行处理。

可以首先生成语法树或该结构的表示，再进行语义处理。

语义处理概述

- 编译中的语义处理包括两个功能：
  - 审查每个语法结构的静态语义，即验证语法结构合法的程序是否真正有意义。也称为静态语义分析或静态审查；

    例如：类型，维数，运算，越界
  - 如果静态语义正确，则执行真正的翻译，即生成中间代码或生成实际的目标代码。

    例如：变量的存储分配、表达式的求值，语句翻译
- 总的目标：

  生成等价的代码（中间代码）。

✧语法制导的（Syntax-Directed）语义计算

- 以语法定义（上下文无关文法）为基础

  用于各种语义分析与翻译过程：静态语义检查，中间代码（甚至目标代码）生成等

  用于语义计算规则及计算过程的定义

  用于自动构造工具的设计（如 Yacc）

- 原理与方法

  属性文法（侧重于语义计算规则的定义）

  翻译模式（侧重于语义计算过程的定义）

7.1 属性文法

- 属性文法(attribute grammar)是knuth在1968年提出的
- 属性文法的特点：
  - 是一种接近形式化的语义描述方法；
  - 便于描述静态语义，不利于描述动态语义；
  - 每个语法符号有相应的属性符号；
  - 每个产生式有相应计算属性的规则：

    属性变量：=属性表达式

7.1.1 属性文法

✧ 属性文法举例

– 识别语言 $L = \{ a^n b^n c^n \mid n \geq 1 \}$?

产生式	语义动作/限定条件
$S \rightarrow ABC$	{(A.num=B.num) and (B.num=C.num) }
$A \rightarrow A_1 a$	{ A.num := A_1.num + 1 }
$A \rightarrow a$	{ A.num := 1 }
$B \rightarrow B_1 b$	{ B.num := B_1.num + 1 }
$B \rightarrow b$	{ B.num := 1 }
$C \rightarrow C_1 c$	{ C.num := C_1.num + 1 }
$C \rightarrow c$	{ C.num := 1 }

属性文法的定义

- 属性文法：在文法G[S]的基础上，为文法符号关联有特定意义的属性，并为产生式管理相应的**语义动作**或**条件谓词**，称之为**属性文法**，并称G[S]是这一属性文法的**基础文法**。
- 属性：用来刻画一个文法符号的任何我们所关心的特性，如：符号的值，符号的名字串，符号的类型，符号的偏移地址，符号被赋予的寄存器，代码片断等等…
- 计法：文法符号 X 关联属性 a 的属性值可通过X.a访问

语义规则

在属性文法中，每个产生式 $A \rightarrow \alpha$ 都关联一个语义规则的集合，用于描述如何计算当前产生式中文法符号的属性值或附加的语义动作

- 属性文法中允许如下语义规则
  - 复写（*copy*）规则，形如*X.a := Y.b*
  - 基于语义函数（*semantic function*）的规则，形如 $b:=f(c_1, c_2, \ldots, c_k)$ 或 $f(c_1, c_2, \ldots, c_k)$

    其中，$b, c_1, c_2, \ldots, c_k$是该产生式中文法符号的属性
- 实践中，语义函数的形式可以更灵活

✧ 例7.1：属性文法举例

– 识别语言 $L = \{ a^i b^j c^k \mid i, j, k \geq 1 \}$
不含限定条件，但显示 $a^n b^n c^n$ $(n \geq 1)$ 是合法的

产生式	语义动作
$S \rightarrow ABC$	{ if (A.num=B.num) and (B.num=C.num) then print("Accepted!") else print("Refused!") }
$A \rightarrow A_1 a$	{ A.num := A_1.num + 1 }
$A \rightarrow a$	{ A.num := 1 }
$B \rightarrow B_1 b$	{ B.num := B_1.num + 1 }
$B \rightarrow b$	{ B.num := 1 }
$C \rightarrow C_1 c$	{ C.num := C_1.num + 1 }
$C \rightarrow c$	{ C.num := 1 }

综合属性和继承属性

- **综合属性**（*synthesized attribute*）

  用于“自下而上”传递信息

  对关联于产生式 $A\rightarrow\alpha$ 的语义规则 $b:=f(c_1, c_2, \ldots, c_k)$，如果 b 是 A 的某个属性，则称 b 是 A 的一个综合属性

- **继承属性**（*inherited attribute*）

  用于“自上而下”传递信息

  对关联于产生式 $A\rightarrow\alpha$ 的语义规则 $b:=f(c_1, c_2, \ldots, c_k)$，如果 b 是产生式右部某个文法符号 X 的某个属性，则称 b 是文法符号 X 的一个继承属性

例7.1：仅含综合属性的例子

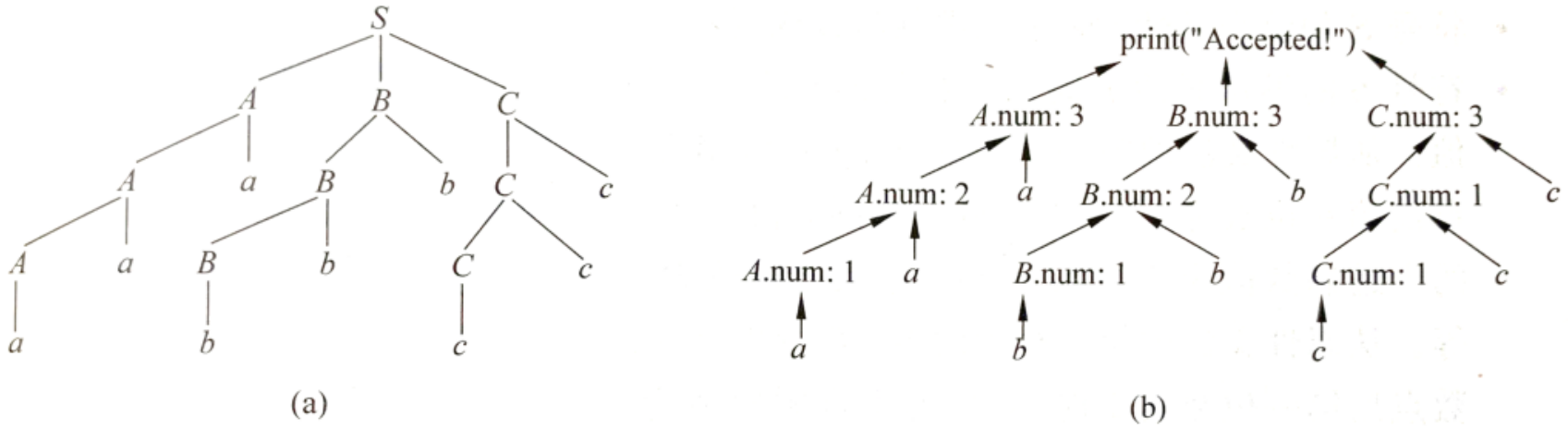


图 7.1　综合属性的计算：自底向上传递信息

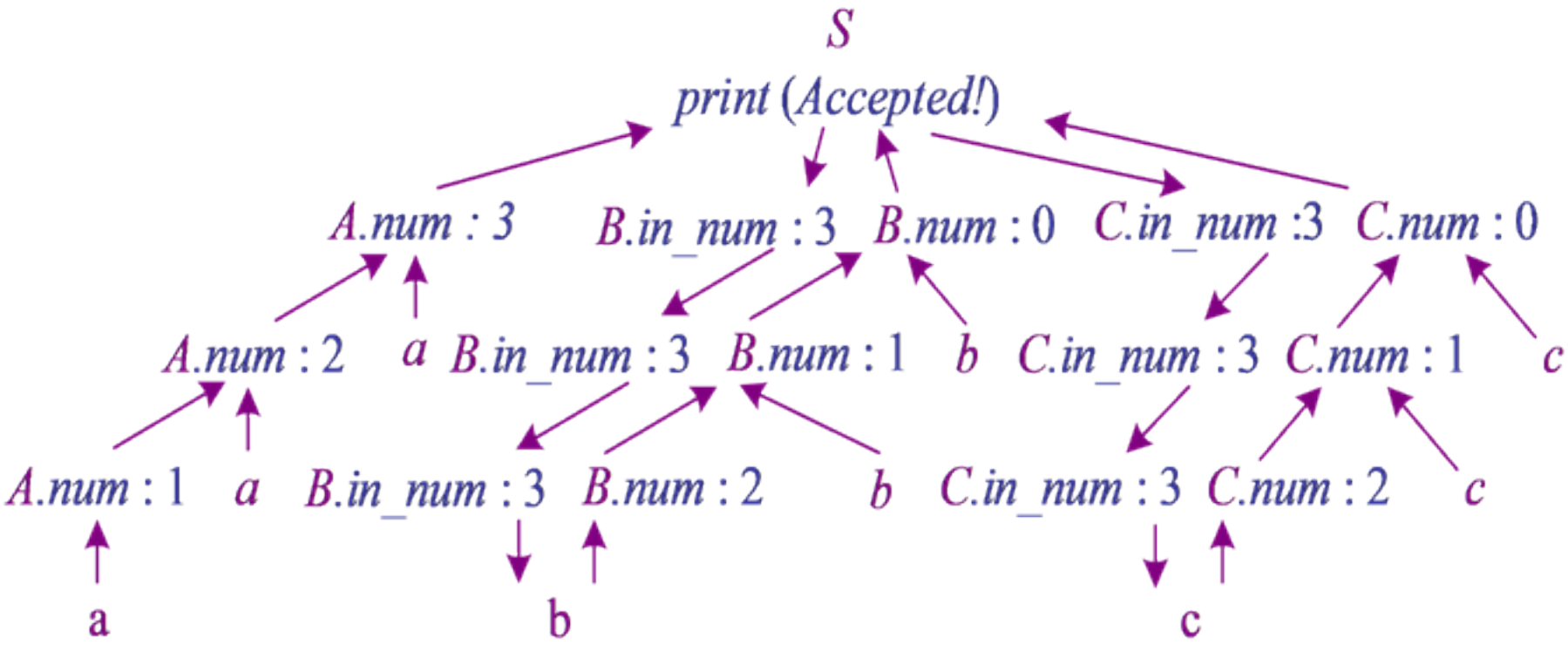
– 例7.2 含继承属性的例子

产生式	语义动作
$S \rightarrow ABC$	{*B.in_num := A .num; C.in_num := A .num;* if (*B.num=0 and* (*C.num=0*) then *print("Accepted!")* else *print("Refused!")* }
$A \rightarrow A_1 a$	{ $A.num := A_1.num + 1$ }
$A \rightarrow a$	{ $A.num := 1$ }
$B \rightarrow B_1 b$	{ $B_1.in\_num := B.in\_num; B.num := B_1.num-1$ }
$B \rightarrow b$	{ $B.num := B.in\_num-1$ }
$C \rightarrow C_1 c$	{ $C_1.in\_num := C.in\_num; C.num := C_1.num-1$ }
$C \rightarrow c$	{ $C.num := C.in\_num-1$ }

其中，*A .num*，*B.num* 和 *C.num* 是综合属性值，而 *B.in_num* 和 *C.in_num* 是继承属性值

✧ 继承属性代表自上而下传递的信息

–对***aabbcc*** 的分析树进行遍历，自下而上执行综合属性相应的语义动作，自上而下执行继承属性相应的语义动作，可以得到所有属性值的一个求值过程



✧属性文法举例

– 更复杂的例子（开始符号N）

产生式　语义动作

$N \to S_1.S_2$ { $N.v := S_1.v + S_2.v$; $S_1.f := 1$; $S_2.f := 2^{-S_2.l}$ }

$S \to S_1B$ { $S_1.f := 2S.f$; $B.f := S.f$; $S.v := S_1.v + B.v$; $S.l := S_1.l + 1$ }

$S \to B$ { $S.l := 1$; $S.v := B.v$; $B.f := S.f$ }

$B \to 0$ { $B.v := 0$ }

$B \to 1$ { $B.v := B.f$ }

该属性文法用于将二进制无符号小数转化为十进制小数

请思考：语义动作中涉及的属性应该如何计算？

7.1.2 遍历分析树进行语义计算

- 步骤
  - 构造输入串的语法分析树
  - 构造依赖图
  - 若该依赖图是无圈的，则按造此无圈图的一种拓扑排序对分析树进行遍历，则可以计算所有的属性。若依赖图含有圈，则这一步骤失效。

✧ 依赖图是一个有向图，用来描述分析树中的属性与属性之间的相互依赖关系

–构造算法

for 分析树中每一个结点n do

for 结点n所用产生式的每个语义规则中涉及的每一个属性a do

为a在依赖图中建立一个结点；

for 结点n所用产生式中每个形如$f(c_1,c_2,\ldots c_k)$的语义规则 do

为该规则在依赖图中也建立一个结点（称为虚结点）；

for 分析树中每一个结点n do

for 结点n所用产生式对应的每个语义规则 $b:=f(c_1,c_2,\ldots c_k)$ do

（可以只是$f(c_1,c_2,\ldots c_k)$，此时b结点为一个虚结点）

for i :=1 to k do

从c_i结点到b结点构造一条有向边

基于属性文法的语义计算

✧ 基于树遍历的计算方法举例

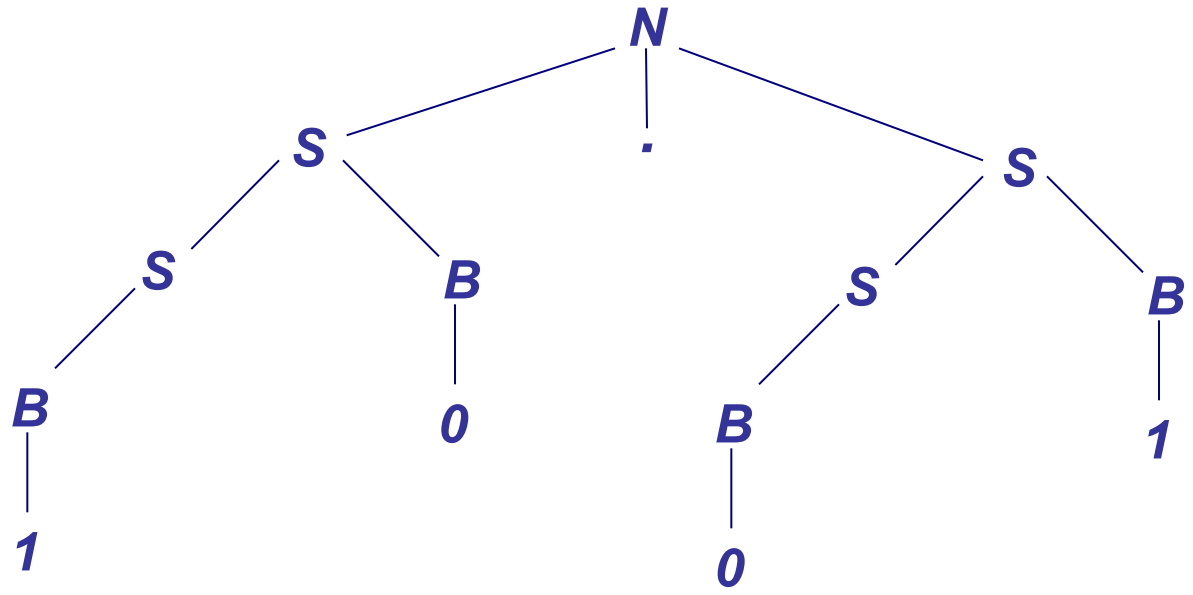
– 设有如下属性文法，考虑输入串 10.01 的语义计算过程

产生式	语义动作
$N \rightarrow S_1.S_2$	{ $N.v := S_1.v+S_2.v$; $S_1.f := 1$; $S_2.f := 2^{-S_2.l}$ }
$S \rightarrow S_1B$	{ $S_1.f := 2S.f$; $B.f := S.f$; $S.v := S_1.v+B.v$; $S.l := S_1.l +1$ }
$S \rightarrow B$	{ $S.l := 1$; $S.v := B.v$; $B.f := S.f$ }
$B \rightarrow 0$	{ $B.v := 0$ }
$B \rightarrow 1$	{ $B.v := B.f$ }

产生式	语义动作
$N \rightarrow S_1.S_2$	$\{ N.v := S_1.v+S_2.v;\quad S_1.f :=1;\quad S_2.f :=2^{-S_2.l} \}$
$S \rightarrow S_1B$	$\{ S_1.f := 2S.f;\quad B.f := S.f;\quad S.v := S_1.v+B.v;\quad S.l := S_1.l +1 \}$
$S \rightarrow B$	$\{ S.l := 1 ;\quad S.v := B.v ;\quad B.f := S.f \}$
$B \rightarrow 0$	$\{ B.v := 0 \}$
$B \rightarrow 1$	$\{ B.v := B.f \}$

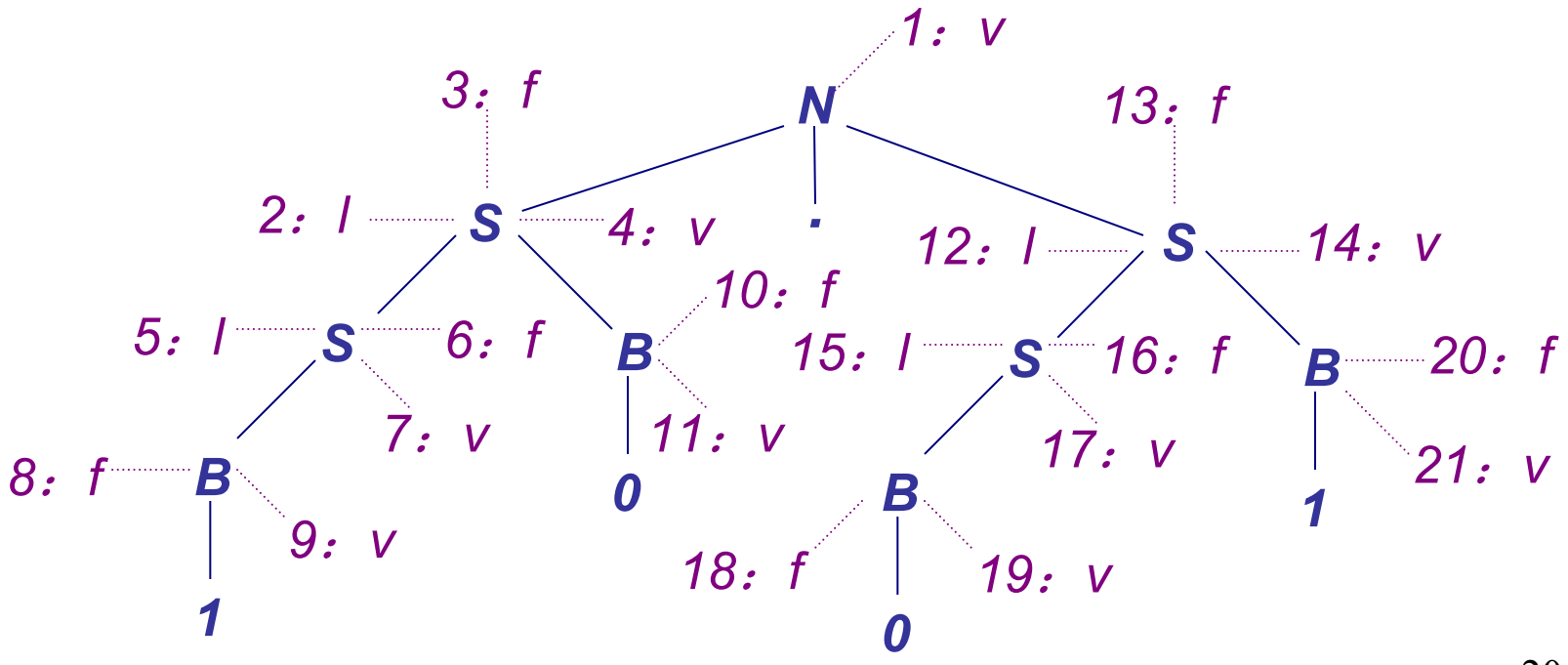
✧基于树遍历的计算方法举例

– 步骤一 构造输入串10.01的语法分析树



产生式	语义动作
$N \rightarrow S_1.S_2$	$\{ N.v := S_1.v+S_2.v;\quad S_1.f := 1;\quad S_2.f := 2^{-S_2.l} \}$
$S \rightarrow S_1B$	$\{ S_1.f := 2S.f;\quad B.f := S.f;\quad S.v := S_1.v+B.v;\quad S.l := S_1.l+1 \}$
$S \rightarrow B$	$\{ S.l := 1;\quad S.v := B.v;\quad B.f := S.f \}$
$B \rightarrow 0$	$\{ B.v := 0 \}$
$B \rightarrow 1$	$\{ B.v := B.f \}$

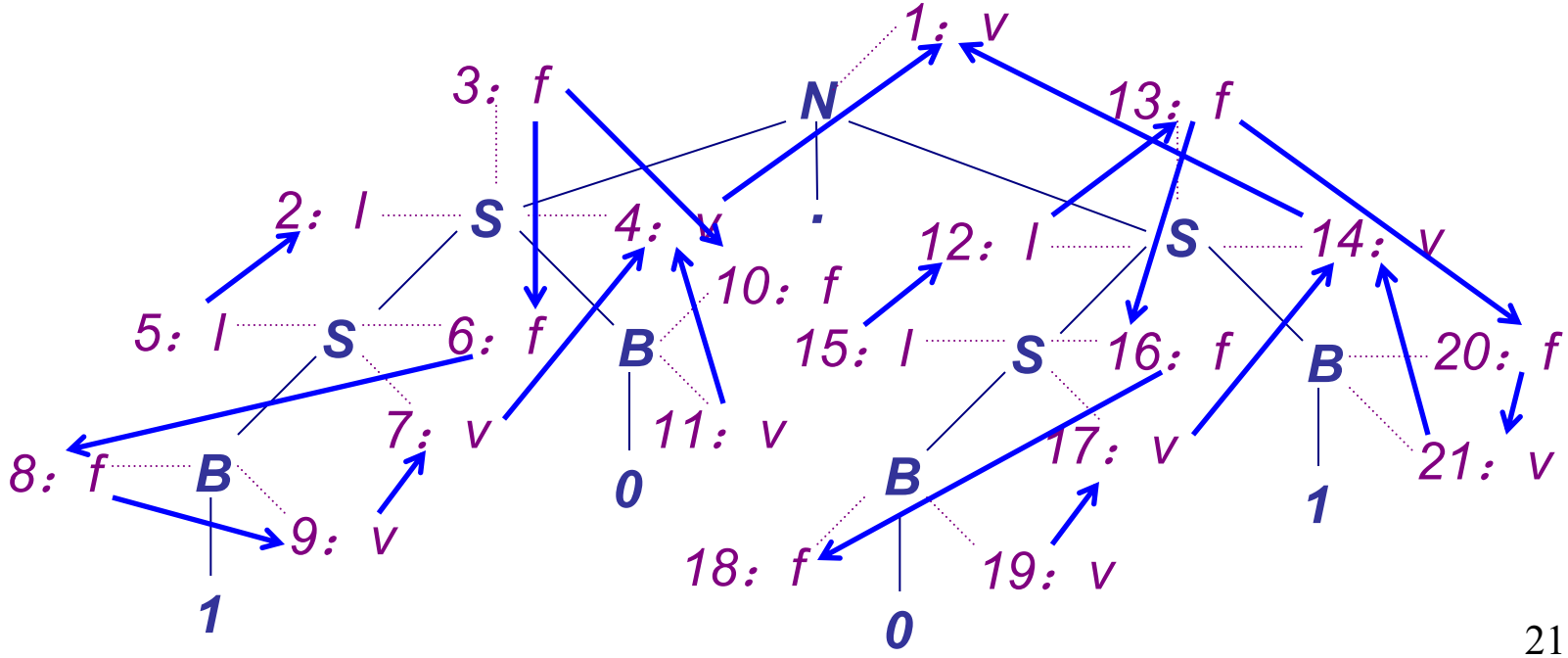
- **步骤二** 为分析树中所有结点的每个属性建立一个依赖图中的结点，并给定一个标记序号



基于属性文法的语义计算

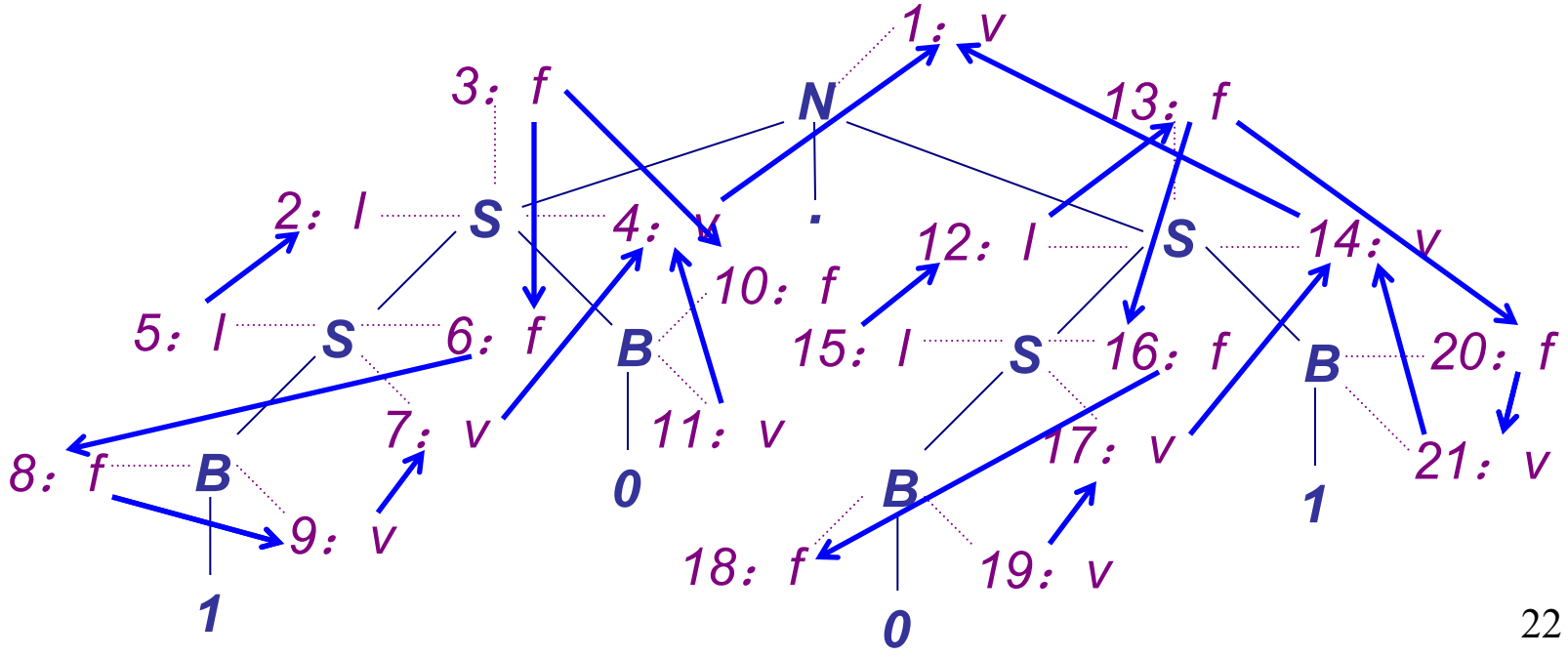
✧ 基于树遍历的计算方法举例

– 步骤三 根据语义动作，建立依赖图中的有向边



基于属性文法的语义计算

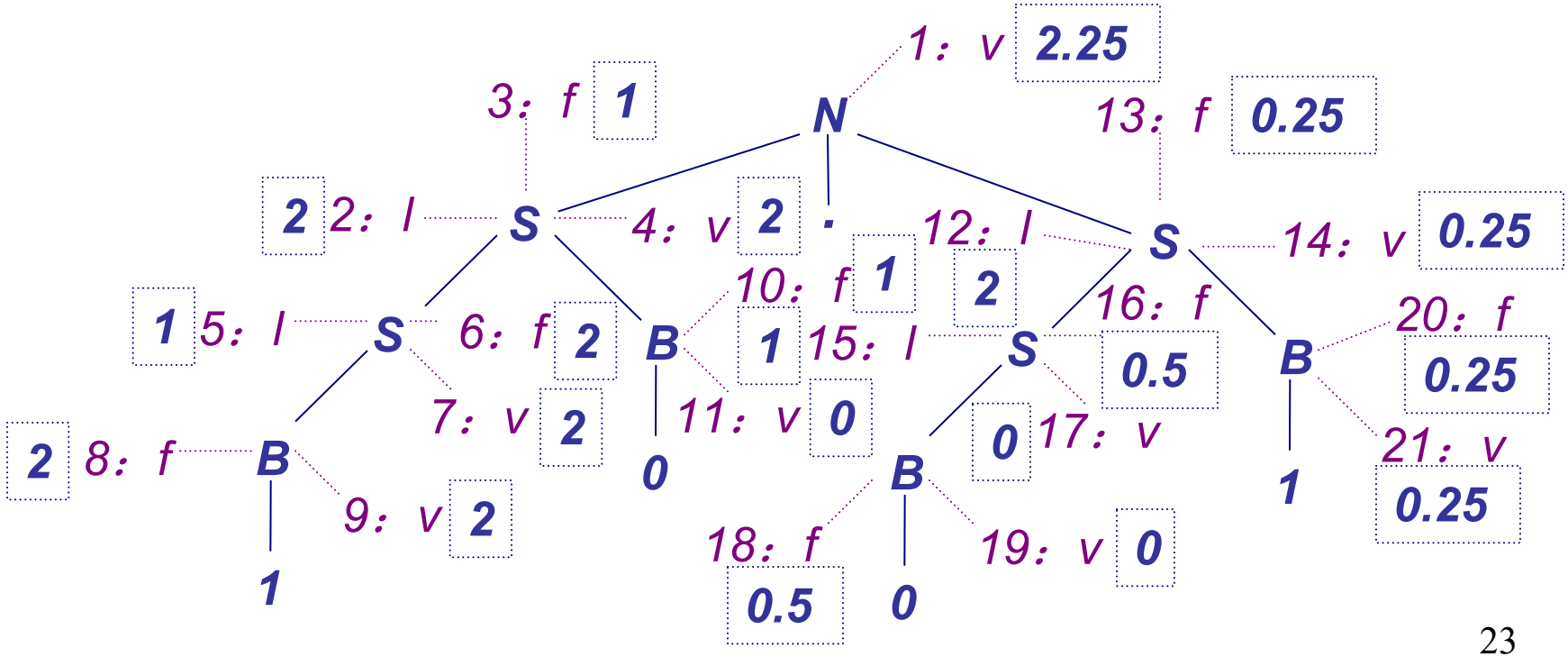
- 基于树遍历的计算方法举例
  - 步骤四 容易看出，该依赖图是无圈的，因此存在拓扑排序. 依任何一个拓扑排序，都能够顺利完成属性值的计算. 如下是一种可能的计算次序：
    3,5,2,6,10,8,9,7,11,4,15,12,13,16,20,18,21,19,17,14,1



产生式	语义动作
$N \rightarrow S_1.S_2$	{ $N.v := S_1.v+S_2.v$; $S_1.f := 1$; $S_2.f := 2^{-S_2.l}$ }
$S \rightarrow S_1B$	{ $S_1.f := 2S.f$; $B.f := S.f$; $S.v := S_1.v+B.v$; $S.l := S_1.l+1$ }
$S \rightarrow B$	{ $S.l := 1$; $S.v := B.v$; $B.f := S.f$ }
$B \rightarrow 0$	{ $B.v := 0$ }
$B \rightarrow 1$	{ $B.v := B.f$ }

应的属性值. 对如下结点次序进行计算：

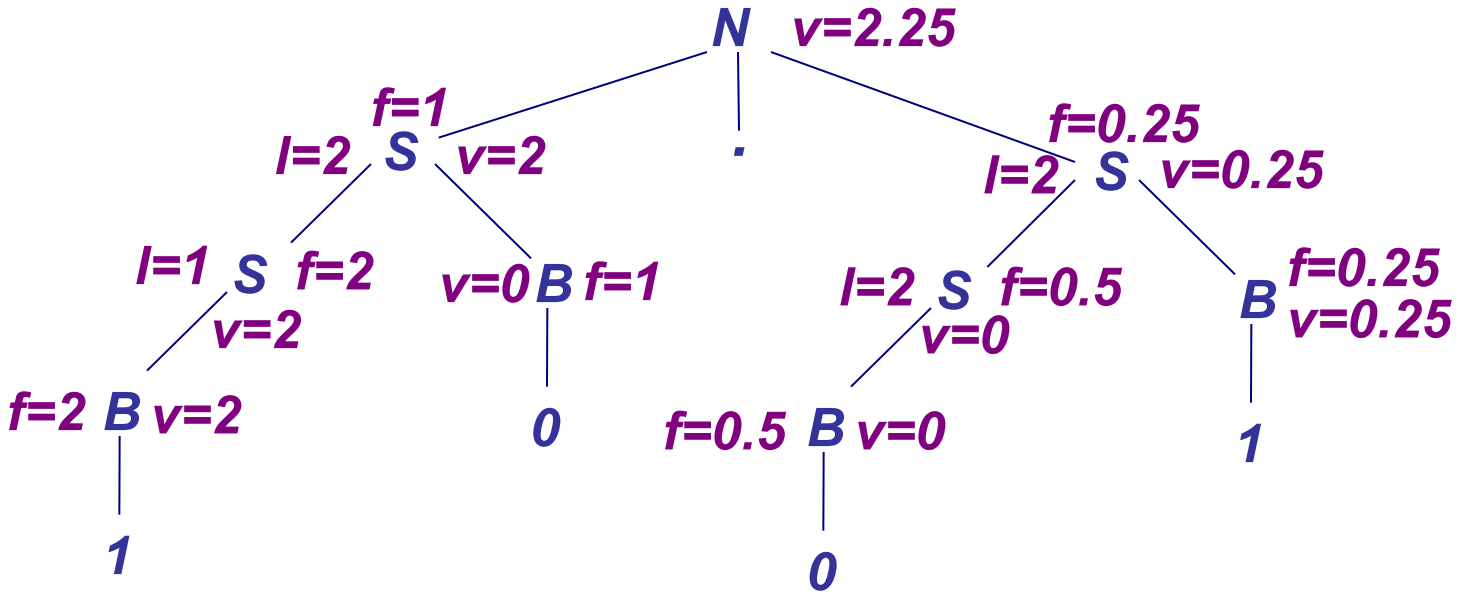
3,5,2,6,10,8,9,7,11,4,15,12,13,16,20,18,21,19,17,14,1



基于属性文法的语义计算

✧ 带标注（annotated）的语法分析树

– 语法分析树中各结点属性值的计算过程被称为对语法分析树的标注（*annotating*）
用带标注的语法分析树表示属性值的计算结果，如：



✧ 单遍的方法

– 语法分析遍的同时进行属性计算

- 自下而上方法
- 自上而下方法

– 只适用于特定文法

本课程只讨论如下两类属性文法：

- S-属性文法
- L-属性文法

7.1.3 S-属性文法和L-属性文法

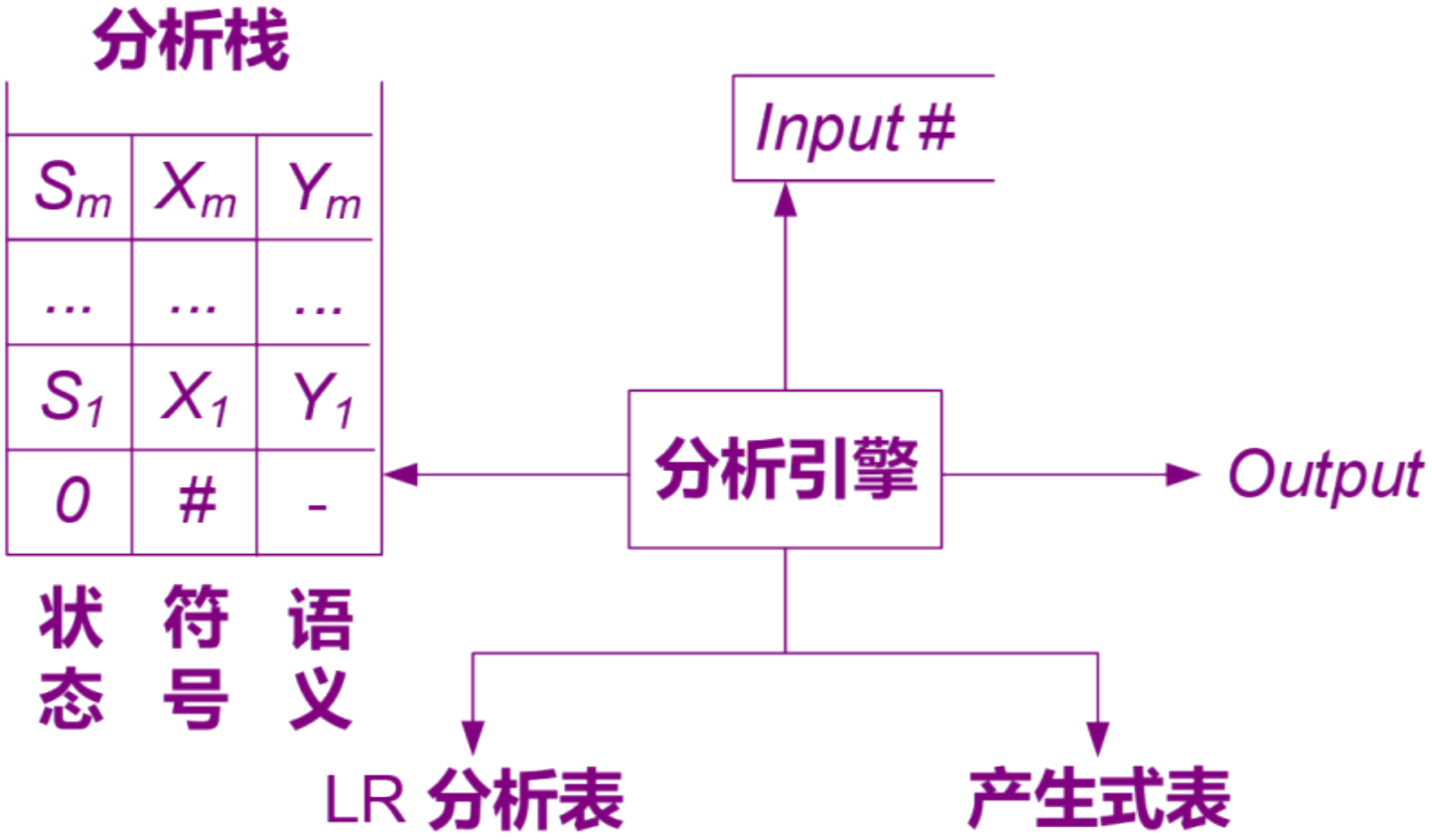
- S-属性文法
  - 只包含综合属性
- L-属性文法
  - 可以包含综合属性，也可以包含继承属性
  - 产生式右端某文法符号的继承属性的计算只取决于该符号左边文法符号的属性（对于产生式左边文法符号，只能是继承属性）
  - S-属性文法是L-属性文法的一个特例

7.1.4 S-属性文法的语义计算

- 通常采用自下而上的方式进行
- 若采用LR分析技术，可以通过扩充分析栈中的域，形成语义栈来存放综合属性的值，计算相应产生式左部文法符号的综合属性值刚好发生在每一步归约之前的时刻

✧采用LR分析技术进行S-属性文法的语义计算

– 扩充分析栈中的域形成语义栈存放综合属性的值



✧采用LR分析技术进行S-属性文法的语义计算

- 语义动作中的综合属性可以通过存在于当前语义栈栈顶部分的属性进行计算
- 例如，假设有相应于产生式 **A→XYZ** 的语义规则

  A.a := f（X.x, Y.y, Z.z）

  在 **XYZ** 归约为 **A** 之前，**Z.z, Y.y,** 和 **X.x** 分别存放于语义栈的 **top**，**top-1** 和 **top-2** 的相应域中，因此 **A.a** 可以顺利求出

  归约后，**X.x, Y.y, Z.z** 被弹出，而在栈顶 **top** 的位置上存放 **A.a**。

✧ 用LR分析技术进行S-属性文法的语义计算举例

– 通过下列S-属性文法G'[S]为常量表达式求值

产生式	语义动作
$S \rightarrow E$	{ *print(E.val)* }
$E \rightarrow E_1 + T$	{ $E.val := E_1.val + T.val$ }
$E \rightarrow T$	{ $E.val := T.val$ }
$T \rightarrow T_1 * F$	{ $T.val := T_1.val \times F.val$ }
$T \rightarrow F$	{ $T.val := F.val$ }
$F \rightarrow (E)$	{ $F.val := E.val$ }
$F \rightarrow d$	{ $F.val := d.lexval$ }

基于属性文法的语义计算

✧ 文法G’[S] 的LR分析表

（0）S→E　（1）E→E+T　（2）E→T　（3）T→T*F
（4）T→F　（5）F→(E)　（6）F→d

状态	ACTION						GOTO		
	d	*	+	(	)	#	E	T	F
0	s5			s4			1	2	3
1			s6			acc			
2		s7	r2		r2	r2			
3		r4	r4		r4	r4			
4	s5			s4			8	2	3
5		r6	r6		r6	r6			
6	s5			s4				9	3
7	s5			s4					10
8			s6		s11				
9		s7	r1		r1	r1			
10		r3	r3		r3	r3			
11		r5	r5		r5	r5			

状态	ACTION						GOTO		
	d	*	+	(	)	#	E	T	F
0	s5			s4			1	2	3
1			s6			acc			
2		s7	r2		r2	r2			
3		r4	r4		r4	r4			
4	s5			s4			8	2	3
5		r6	r6		r6	r6			
6	s5			s4				9	3
7	s5			s4					10
8			s6		s11				
9		s7	r1		r1	r1			
10		r3	r3		r3	r3			
11		r5	r5		r5	r5			

法的语义计算

（0）$S \rightarrow E$ （1）$E \rightarrow E+T$ （2）$E \rightarrow T$
（3）$T \rightarrow T*F$ （4）$T \rightarrow F$
（5）$F \rightarrow (E)$ （6）$F \rightarrow d$

步骤	状态栈	符号栈	语义值栈	余输入串	动作	语义动作
1	0	#	—	2+3*5#	S5	
2	05	#2	—2	+3*5#	R6	F.val=d.lexval
3	03	#F	—2	+3*5#	R4	T.val=F.val
4	02	#T	—2	+3*5#	R2	E.val=T.val
5	01	#E	—2	+3*5#	S6	
6	016	#E+	—2—	3*5#	S5	
7	0165	#E+3	—2—3	*5#	R6	F.val=d.lexval
8	0163	#E+F	—2—3	*5#	R4	T.val=F.val
9	0169	#E+T	—2—3	*5#	S7	
10	01697	#E+T*	—2—3—	5#	S5	
11	016975	#E+T*5	—2—3—5	#	R6	F.val=d.lexval
12	01697(10)	#E+T*F	—2—3—5	#	R3	T.val=T1.val*F.val
13	0169	#E+T	—2—15	#	R1	E.val=E1.val+T.val
14	01	#E	17	#	acc	Print(E.val)

7.1.5基于L-属性文法的语义计算

- 采用自上而下的方式可以较方便地进行
- 可以采用下列基于深度优先遍历的算法

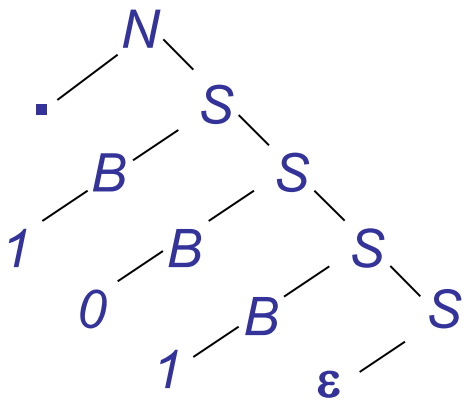
```
procedure dfvisit(n: node);
  begin
    for n 的每一孩子m, 从左到右 do
        begin
            计算 m 的继承属性值;
            dfvisit(m)
        end;
        计算n的综合属性值
  end
```

- 该算法与自上而下预测分析过程对应. 因此,基于 LL(1) 文法的 L-属性文法可以采用这种方法进行语义计算.

✧ 采用基于深度优先后序遍历算法进行 L-属性文法的语义计算举例

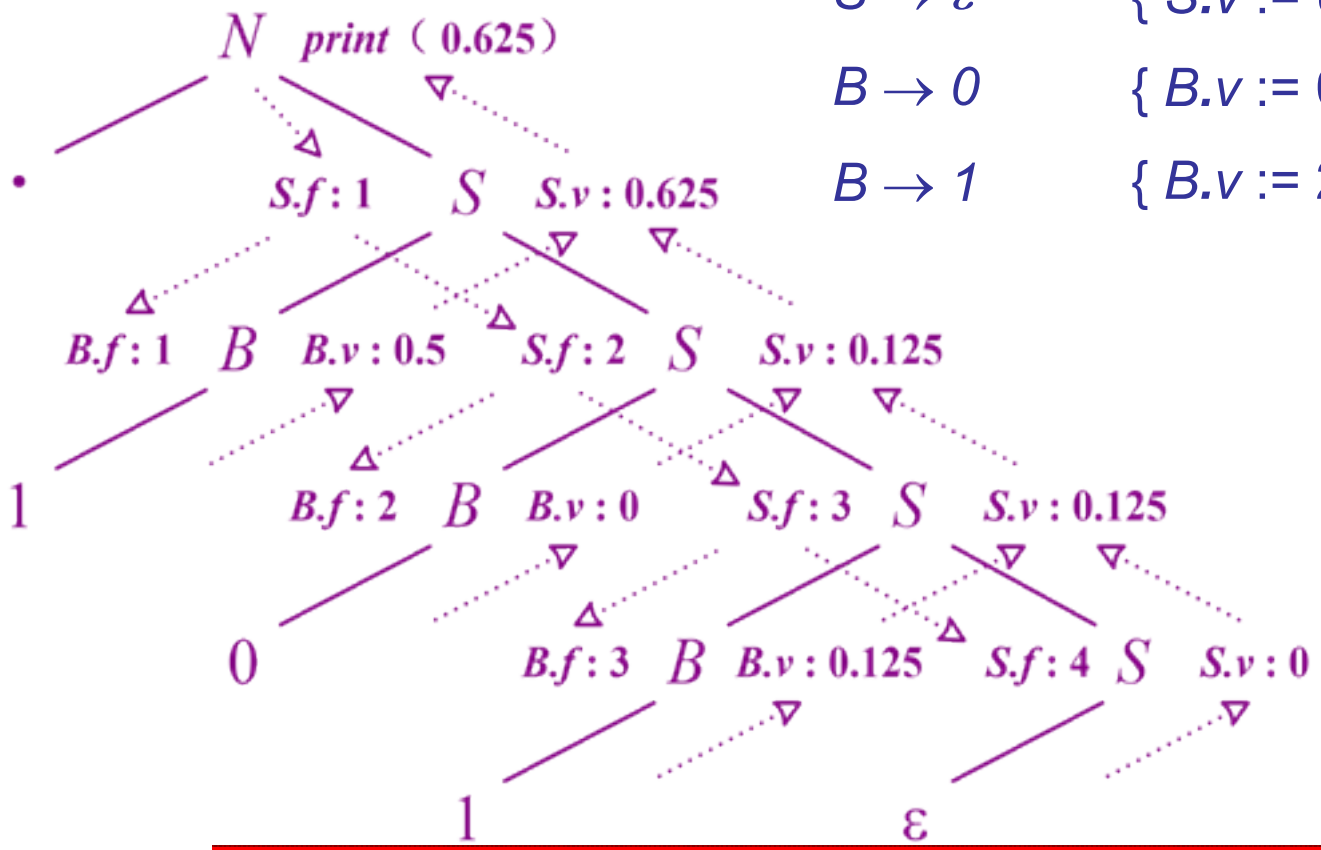
– 考虑对于下列L-属性文法，输入串为 **.101** 时的计算过程

产生式	语义动作
$N \to .S$	{ $S.f := 1$； $print(S.v)$ }
$S \to BS_1$	{ $S_1.f := S.f+1$; $B.f := S.f$; $S.v := S_1.v+B.v$ }
$S \to \varepsilon$	{ $S.v := 0$ }
$B \to 0$	{ $B.v := 0$ }
$B \to 1$	{ $B.v := 2^{-B.f}$ }



✧接上页例子

$N \rightarrow .S$	{ $S.f := 1$； $print(S.v)$ }
$S \rightarrow BS_1$	{ $S_1.f := S.f+1$; $B.f := S.f$; $S.v := S_1.v+B.v$ }
$S \rightarrow \varepsilon$	{ $S.v := 0$ }
$B \rightarrow 0$	{ $B.v := 0$ }
$B \rightarrow 1$	{ $B.v := 2^{-B.f}$ }



7.2基于翻译模式的语义计算

✧翻译模式（Translation Scheme）概念

- 适合语法制导语义计算的另一种描述形式

- 形式上类似于属性文法，但允许由{ }括起来的语义规则集合出现在产生式右端的任何位置. 这样做的好处是可以显式地表达动作和属性计算的次序，而在前述的属性文法中不体现这种次序

✧ 受限的翻译模式

– 在设计翻译模式时必须作某些限制，确保每个属性值在被访问到的时候已经存在。仅讨论两类受限的翻译模式

- S-翻译模式：对于仅需要综合属性的情形，通常将语义动作放在相应产生式右端的末尾。
- L-翻译模式：对于既包含继承属性又包含综合属性的情形，但需要满足：

  （1）产生式右端某个符号继承属性的计算必须位于该符号之前，其语义动作不访问位于它右边符号的属性，只依赖于该符号左边符号的属性 （对于产生式左部的符号，只能是继承属性）；

  （2）产生式左部非终结符的综合属性的计算只能在所用到的属性都已计算出来之后进行，通常将相应的语义动作置于产生式的尾部。

✧翻译模式举例

– 定点二进制小数转换为十进制小数

$N \rightarrow .\ \{ S.f := 1 \}\ S\ \{ print(S.v) \}$

$S \rightarrow \{ B.f := S.f \}\ B\ \{ S_1.f := S.f + 1 \}\ S_1\ \{ S.v := S_1.v + B.v \}$

$S \rightarrow \varepsilon\ \{ S.v := 0 \}$

$B \rightarrow 0\ \{ B.v := 0 \}$

$B \rightarrow 1\ \{ B.v := 2^{-B.f} \}$

$N \rightarrow .S$	$\{ S.f := 1;\ \ print(S.v) \}$
$S \rightarrow BS_1$	$\{ S_1.f := S.f+1;\ B.f := S.f;$ $S.v := S_1.v+B.v \}$
$S \rightarrow \varepsilon$	$\{ S.v := 0 \}$
$B \rightarrow 0$	$\{ B.v := 0 \}$
$B \rightarrow 1$	$\{ B.v := 2^{-B.f} \}$

7.2.2 基于S-翻译模式的语义计算

✧S-翻译模式在形式上与S-属性文法是一致的，可以采取同样的语义计算方法

✧S-翻译模式的语义计算一般基于自底向上分析过程，通过增加存放属性值域的语义栈来实现

✧假设语义栈用向量*v*表示，归约前栈顶位置为top，栈上第 *i* 个位置所对应符号的综合属性值*x*用*v*[*i*].*x*表示。

✧例如：假设一个S-翻译模式中有如下产生式：

$$A \rightarrow XYZ \ \{A.a := f(X.x, Y.y, Z.z);\ \ldots\}$$

在表达语义栈上的动作后，这个产生式变换为：

$$A \rightarrow XYZ \ \{v[\text{top-2}].a := f(v[\text{top-2}].x, v[\text{top-1}].y, v[\text{top}].z);\ \ldots\}$$

✧例7.8 给定下列*S*-翻译模式的代码片段

产生式	语义动作
$S \rightarrow E$	{ *print(E.val)* }
$E \rightarrow E_1 + T$	{ $E.val := E_1.val + T.val$ }
$E \rightarrow T$	{ $E.val := T.val$ }
$T \rightarrow T_1 * F$	{ $T.val := T_1.val \times F.val$ }
$T \rightarrow F$	{ $T.val := F.val$ }
$F \rightarrow (E)$	{ $F.val := E.val$ }
$F \rightarrow d$	{ $F.val := d.lexval$ }

◇解：

产生式	代码片段
$S \rightarrow E$	{ *print(v*[top].val*)* }
$E \rightarrow E_1 + T$	{ *v*[top-2].val := *v*[top-2].val + *v*[top].val
$E \rightarrow T$	}
$T \rightarrow T_1 * F$	{ *v*[top].*val* := *v*[top].*val* }
$T \rightarrow F$	{*v*[top-2].val := *v*[top-2].val * *v*[top].val }
$F \rightarrow (E)$	{*v*[top].*val* := *v*[top].*val* }
$F \rightarrow d$	{*v*[top-2].val := *v*[top-1].val }
	{*v*[top].*val* := *d.lexval* }

7.2.3 基于L-翻译模式的自顶向下语义计算

✧ 在递归下降LL(1)分析程序中，每个非终结符都对应一个分析子函数（过程），分析程序从文法开始符号所对应的分析子函数开始执行。

✧ 分析子函数可以根据下一个输入符号来确定自顶向下分析过程中应该使用的产生式，并根据选定的产生式右端一次出现的符号来设计其行为：

✧每遇到一个终结符，则判断当前读入的单词符号是否与该终结符相匹配，若匹配，则继续读取下一个输入符号；若不匹配，则报告和处理语法错误。

✧每遇到一个非终结符，则调用相应的分析子函数。

✧语法制导的语义计算程序的构造中，与每个产生式相关的代码根据产生式右端的终结符，非终结符，和语义动作，依从左到右的次序完成下列工作：

- 对终结符X，保存其综合属性x的值到专为$X.x$声明的变量；然后调用匹配终结符（match_token） 和取下一输入符号（next_token）的函数；
- 对非终结符 B，利用相应于B的函数 ParseB 产生赋值语句

$$c := \mathrm{B}(b_1, b_2, \ldots, b_k),$$

变量$b_1, b_2, \ldots, b_k$对应B的继承属性，变量c对应B的综合属性；

- 对语义动作集合，直接copy其中每一语义规则来产生代码，只是将对属性的访问替换为对相应变量的访问。

✧举例：构造下列L-翻译模式的自顶向下递归下降（预测）翻译程序（可以验证其基础文法为 LL（1）文法）

$N \rightarrow .\ \{ S.f := 1 \}\ S\ \{ print(S.v) \}$

$S \rightarrow \{ B.f := S.f \}\ B\ \{ S_1.f := S.f + 1 \}\ S_1\ \{ S.v := S_1.v + B.v \}$

$S \rightarrow \varepsilon\ \{ S.v := 0 \}$

$B \rightarrow 0\ \{ B.v := 0 \}$

$B \rightarrow 1\ \{ B.v := 2^{-B.f} \}$

- 根据产生式

$N \rightarrow .\ \{ S.f := 1 \}\ S\ \{ print(S.v) \}$

对非终结符 *N*，构造如下函数

```
void ParseN()
{
    MatchToken('.');        //匹配'.'
    Sf : =1;                //变量 Sf 对应属性S.f
    Sv : = ParseS(Sf);      //变量 Sv 对应属性S.v
    print(Sv);
}
```

✧根据产生式

$S \rightarrow \{ B.f := S.f \}\ B\ \{ S_1.f := S.f + 1 \}\ S_1\ \{ S.v := S_1.v + B.v \}$

$S \rightarrow \varepsilon\ \{ S.v := 0 \}$

对非终结符 S，构造如下函数

```
float ParseS( int f )
{
   if (lookahead=='0' or lookahead=='1' ) {
            Bf : = f;   Bv : = ParseB(Bf); S1f := f+1 ;
            S1v := ParseS(S1f); Sv := S1v + Bv;
   }
   else if (lookahead== '#' )  Sv := 0;
   else { printf("syntax error \n"); exit(0); }
   return Sv;
}
```

– 根据产生式

$B \rightarrow 0$ { $B.v := 0$ }

$B \rightarrow 1$ { $B.v := 2^{-B.f}$ }

对非终结符 *B*，构造如下函数

```
float ParseB( int f )
{
    if (lookahead=='0')  { MatchToken('0'); Bv : = 0 }
    else if  (lookahead== '1' )  {
            MatchToken('1');   Bv := 2^(-f)  }
    else { printf("syntax error \n"); exit(0); }
    return Bv;
}
```

✧ 消除翻译模式中左递归的一种变换方法

如下是常量表达式求值的翻译模式，但含有左递归，因而不能用 LL（1）方法

$S \to E$ { print(E.val) }

$E \to E_1 + T$ { E.val := E_1.val + T.val }

$E \to T$ { E.val := T.val }

$T \to T_1 * F$ { T.val := T_1.val × F.val }

$T \to F$ { T.val := F.val }

$F \to (E)$ { F.val := E.val }

$F \to d$ { F.val := d.lexval }

– 若需要消除翻译模式之基础文法中的左递归，那么翻译模式应该如何变化呢？

随后介绍较简单但常用的一种情形

✧ 消除翻译模式中左递归的一种变换方法

– 假设有如下翻译模式：

$A \to A_1\, Y$ { $A.a := g(A_1.a, Y.y)$ }

$A \to X$ { $A.a := f(X.x)$ }

消去关于A 的直接左递归，基础文法变换为

$A \to X\, R \quad R \to Y\, R \mid \varepsilon$

再考虑语义动作，翻译模式变换为

$A \to X$ { $R.i := f(X.x)$ } R { $A.a := R.s$ }

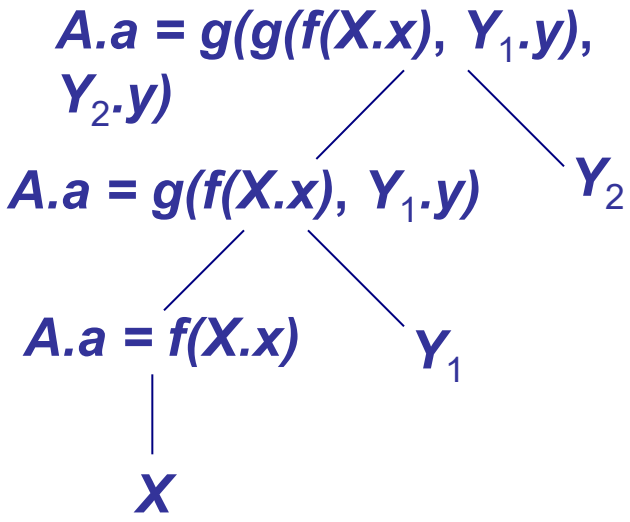
$R \to Y$ { $R_1.i := g(R.i, Y.y)$ } R_1 {$R.s := R_1.s$}

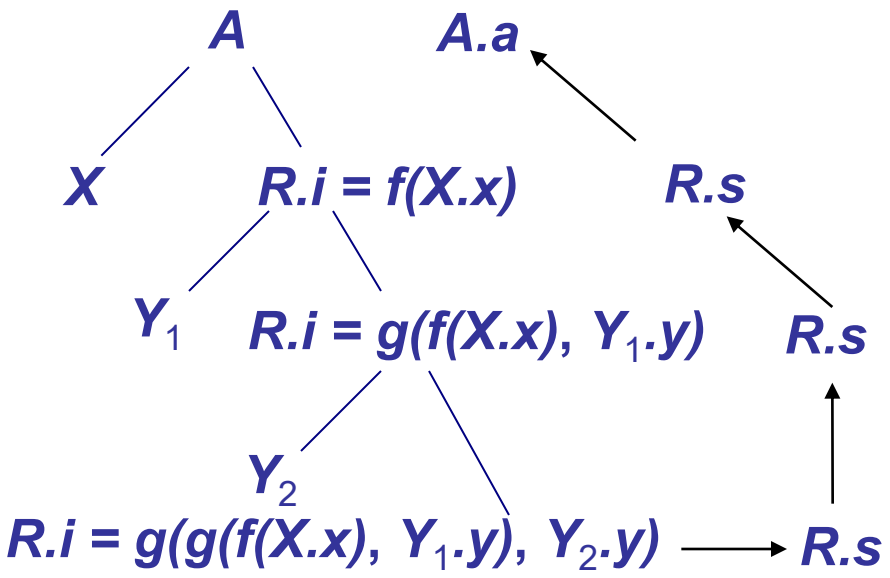
$R \to \varepsilon$ {$R.s := R.i$}

✧ 消除翻译模式中左递归的一种变换方法

– 理解这种变换方法

变换前后代表两种不同的计算方式





✧ 消除翻译模式中左递归的一种变换方法举例

– 消除右边翻译模式中的左递归

$S \to E$ { print(E.val) }
$E \to E_1 + T$ { E.val := E_1.val + T.val }
$E \to T$ { E.val := T.val }
$T \to T_1 * F$ { T.val := T_1.val × F.val }
$T \to F$ { T.val := F.val }
$F \to (E)$ { F.val := E.val }
$F \to d$ { F.val := d.lexval }

⇒

$S \to E$ { print(E.val) }
$E \to T$ { R.i := T.val } R { E.val := R.s }
$R \to + T$ { R_1.i := R.i + T.val } R_1 { R.s := R_1.s }
$R \to \varepsilon$ { R.s := R.i }
$T \to F$ { P.i := F.val } P { T.val := P.s }
$P \to * F$ { P_1.i := P.i × F.val } P_1 { P.s := P_1.s }
$P \to \varepsilon$ { P.s := P.i }
$F \to (E)$ { F.val := E.val }
$F \to d$ { F.val := d.lexval }

7.2.4 基于L-翻译模式的自底向上语义计算

- ✧ 扩展关于S-属性文法的自下而上计算技术

  （即在分析栈中增加存放属性值的域）

- ✧ 翻译模式中综合属性的求值采用前述的计算方法

1. 如果L-翻译模式中不包含继承属性，需要去掉嵌在产生式中间的语义动作

- 若语义规则集中未关联任何属性，引入新的非终结符N和产生式$N \rightarrow \varepsilon$，把嵌入在产生式中间的动作用非终结符$N$代替，把该语义规则集放在产生式后面

- 若语义规则集中有关联的属性，引入新的非终结符N和产生式$N \rightarrow \varepsilon$，以及把该语义规则集放在产生式后面的同时，需要在适当的地方增加复写规则

目的：使所有嵌入的除复写规则外的语义规则都出现在产生式的末端，以便自下而上计算综合属性

✧ 从L-翻译模式中去掉嵌在产生式中间的语义规则集举例

$E \rightarrow T\ R$
$R \rightarrow + T\ \{ print('+') \}\ R_1$
$R \rightarrow - T\ \{ print('-') \}\ R_1$
$R \rightarrow \varepsilon$
$T \rightarrow \underline{num}\ \ \{ print(\underline{num}.val) \}$

$E \rightarrow T\ R$
$R \rightarrow + T\ M\ R_1$
$R \rightarrow - T\ N\ R_1$
$R \rightarrow \varepsilon$
$T \rightarrow \underline{num}\ \ \{ print(\underline{num}.val) \}$
$M \rightarrow \varepsilon\ \{ print('+') \}$
$N \rightarrow \varepsilon\ \{ print('-') \}$

2. 语义动作中有继承属性时，继承属性的求值

原则：继承属性的求值结果必须以某个综合属性值存放于语义栈中，而继承属性的访问也要最终落实到对某个综合属性的访问

2. 语义动作中有继承属性时，继承属性的求值

① 复写规则

•举例：产生式 $A \rightarrow XYZ$

• 假设X的综合属性 $X.s$ 已经出现在语义栈上. 因为在 Y 以下子树的任何归约之前，$X.s$的值一直存在，因此它可以被 Y 以及 Z继承。

• 如果用复写规则 $Y.i:=X.s$ 来定义 Y 的继承属性 $Y.i$，则在需要 $Y.i$ 时，可以使用 $X.s$来实现

• 如果继续用复写规则 $Z.i:=Y.i$ 来定义 Z 的继承属性 $Z.i$，则在需要 $Z.i$ 时，也可以使用 $Z.s$来实现

2. 语义动作中有继承属性时，继承属性的求值

② 普通函数规则

考虑如下翻译模式：

$$S \rightarrow a\ A\ \{C.i := f(A.s)\}\ C$$

这里，继承属性 C.i 不是通过复写规则来求值，而是通过普通函数 f(A.s) 调用来计算. 在计算 C.i 时，A.s **在语义栈上，但** f(A.s)**并未存在于语义栈.** 同样，一种做法是引入新的非终结符M，将以上翻译模式改造为：

$$S \rightarrow a\ A\ \{M.i := A.s\}\ M\ \{C.i := M.s\}\ C$$

$$M \rightarrow \varepsilon\ \{M.s := f(M.i)\}$$

这样，就解决了上述问题。

3. 语义动作中有继承属性时，继承属性的访问

考虑如下翻译模式：

$S \rightarrow a\ A\ \{C.i := A.s\}\ C \mid b\ A\ B\ \{C.i := A.s\}\ C$

$C \rightarrow c\ \{C.s := g(C.i)\}$

若直接应用上述复写规则的计算方法，则在使用 $C \rightarrow c$ 进行归约时，*C.i* 的值或存在于次栈顶（*top-1*），或存在于次次栈顶（*top-2*），不能确定用哪一个. 一种可行的做法是引入新的非终结符 *M*，将以上翻译模式改造为：

$S \rightarrow a\ A\ \{C.i := A.s\}\ C \mid b\ A\ B\ \{M.i := A.s\}\ M\ \{C.i := M.s\}\ C$

$C \rightarrow c\ \{C.s := g(C.i)\}$

$M \rightarrow \varepsilon\ \{M.s := M.i\}$

这样，在使用$C \rightarrow c$ 进行归约时， C.i 的值就一定可以通过访问次栈顶（*top-1*）得到

✧ 基于L-翻译模式的自底向上语义计算

– 分析栈中继承属性的访问（较复杂的例子）

$N \rightarrow .\ M\ \{ S.f := M.s \}\ S\ \{ print(S.v) \}$

$S \rightarrow \{ B.f := S.f \}\ B\ \{ P.i := S.f \}\ P\ \{ S_1.f := P.s \}\ S_1\ \{ S.v := S_1.v + B.v \}$

$S \rightarrow \varepsilon\ \{ S.v := 0 \}$

$B \rightarrow 0\ \{ B.v := 0 \}$

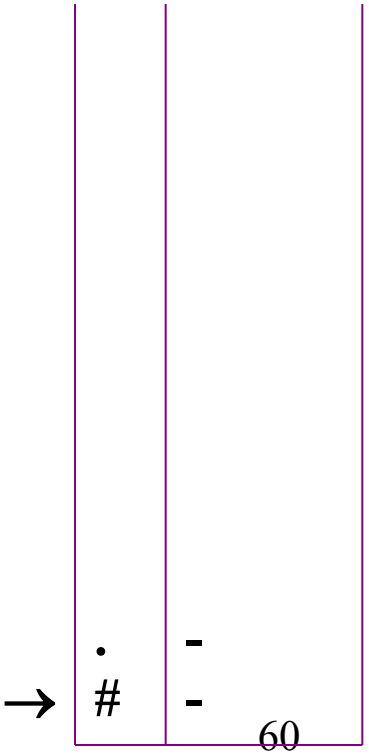
$B \rightarrow 1\ \{ B.v := 2^{(-B.f)} \}$

例: 处理输入串 .101

$M \rightarrow \varepsilon\ \{ M.s := 1 \}$

$P \rightarrow \varepsilon\ \{ P.s := P.i + 1 \}$

产生式	依产生式归约时语义计算的代码片断
$N \rightarrow .\ M\ S$	print(val [top] .v)
$S \rightarrow B\ P\ S_1$	val [top-2].v := val [top].v + val [top-2].v
$S \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].v := 0
$B \rightarrow 0$	val [top].v := 0
$B \rightarrow 1$	val [top].v := 2^(-val [top-1].s)
$M \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := 1
$P \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := val [top-1].s+1



(分析栈val 存放文法符号的综合属性，top为栈顶指针)

✧ 基于L-翻译模式的自底向上语义计算

– 分析栈中继承属性的访问（较复杂的例子）

$N \rightarrow .\ M\ \{ S.f := M.s \}\ S\ \{ print(S.v) \}$

$S \rightarrow \{ B.f := S.f \}\ B\ \{ P.i := S.f \}\ P\ \{ S_1.f := P.s \}\ S_1\ \{ S.v := S_1.v + B.v \}$

$S \rightarrow \varepsilon\ \{ S.v := 0 \}$

$B \rightarrow 0\ \{ B.v := 0 \}$

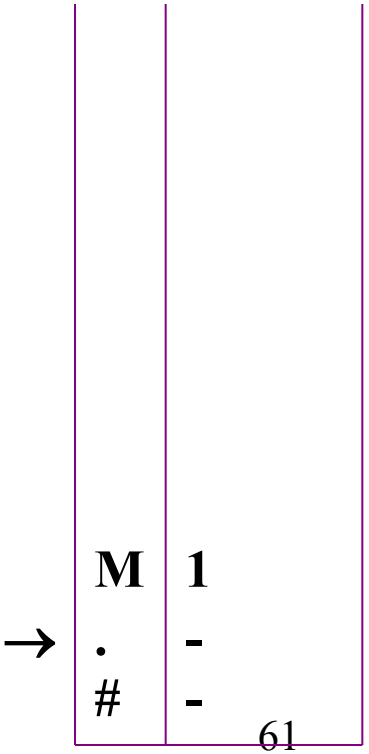
$B \rightarrow 1\ \{ B.v := 2^{(-B.f)} \}$

$M \rightarrow \varepsilon\ \{ M.s := 1 \}$

$P \rightarrow \varepsilon\ \{ P.s := P.i + 1 \}$

例: 处理输入串 .101

产生式	依产生式归约时语义计算的代码片断
$N \rightarrow .\ M\ S$	print(val [top] .v)
$S \rightarrow B\ P\ S_1$	val [top-2].v := val [top].v + val [top-2].v
$S \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].v := 0
$B \rightarrow 0$	val [top].v := 0
$B \rightarrow 1$	val [top].v := 2^(-val [top-1].s)
$M \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := 1
$P \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := val [top-1].s+1



(分析栈val 存放文法符号的综合属性，top为栈顶指针)

✧ 基于L-翻译模式的自底向上语义计算

– 分析栈中继承属性的访问（较复杂的例子）

$N \rightarrow .\ M\ \{ S.f := M.s \}\ S\ \{ print(S.v) \}$

$S \rightarrow \{ B.f := S.f \}\ B\ \{ P.i := S.f \}\ P\ \{ S_1.f := P.s \}\ S_1\ \{ S.v := S_1.v + B.v \}$

$S \rightarrow \varepsilon\ \{ S.v := 0 \}$

$B \rightarrow 0\ \{ B.v := 0 \}$

$B \rightarrow 1\ \{ B.v := 2^{(-B.f)} \}$

例: 处理输入串 .101

$M \rightarrow \varepsilon\ \{ M.s := 1 \}$

$P \rightarrow \varepsilon\ \{ P.s := P.i + 1 \}$

产生式	依产生式归约时语义计算的代码片断
$N \rightarrow .\ M\ S$	print(val [top] .v)
$S \rightarrow B\ P\ S_1$	val [top-2].v := val [top].v + val [top-2].v
$S \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].v := 0
$B \rightarrow 0$	val [top].v := 0
$B \rightarrow 1$	val [top].v := 2^(-val [top-1].s)
$M \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := 1
$P \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := val [top-1].s+1

	1	-
→	M	1
	.	-
	#	-

(分析栈val 存放文法符号的综合属性，top为栈顶指针)

✧ 基于L-翻译模式的自底向上语义计算

– 分析栈中继承属性的访问（较复杂的例子）

$N \rightarrow .\ M\ \{ S.f := M.s \}\ S\ \{ print(S.v) \}$

$S \rightarrow \{ B.f := S.f \}\ B\ \{ P.i := S.f \}\ P\ \{ S_1.f := P.s \}\ S_1\ \{ S.v := S_1.v + B.v \}$

$S \rightarrow \varepsilon\ \{ S.v := 0 \}$

$B \rightarrow 0\ \{ B.v := 0 \}$

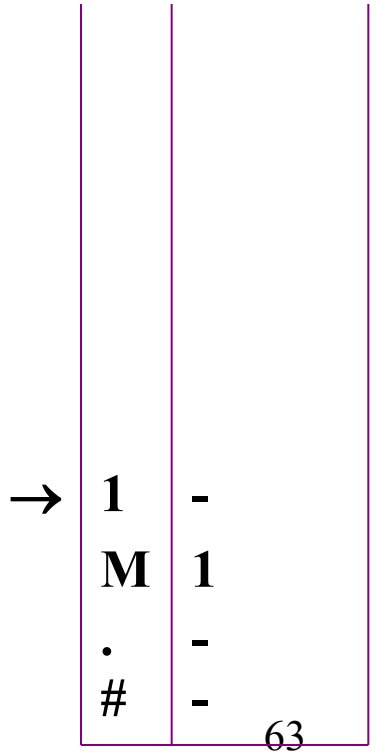
$B \rightarrow 1\ \{ B.v := 2^{(-B.f)} \}$

例: 处理输入串 .101

$M \rightarrow \varepsilon\ \{ M.s := 1 \}$

$P \rightarrow \varepsilon\ \{ P.s := P.i + 1 \}$

产生式	依产生式归约时语义计算的代码片断
$N \rightarrow .\ M\ S$	print(val [top] .v)
$S \rightarrow B\ P\ S_1$	val [top-2].v := val [top].v + val [top-2].v
$S \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].v := 0
$B \rightarrow 0$	val [top].v := 0
$B \rightarrow 1$	val [top].v := 2^(-val [top-1].s)
$M \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := 1
$P \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := val [top-1].s+1



(分析栈val 存放文法符号的综合属性，top为栈顶指针)

✧ 基于L-翻译模式的自底向上语义计算

– 分析栈中继承属性的访问（较复杂的例子）

$N \rightarrow .\ M\ \{ S.f := M.s \}\ S\ \{ print(S.v) \}$

$S \rightarrow \{ B.f := S.f \}\ B\ \{ P.i := S.f \}\ P\ \{ S_1.f := P.s \}\ S_1\ \{ S.v := S_1.v + B.v \}$

$S \rightarrow \varepsilon\ \{ S.v := 0 \}$

$B \rightarrow 0\ \{ B.v := 0 \}$

$B \rightarrow 1\ \{ B.v := 2^{(-B.f)} \}$

例: 处理输入串 .101

$M \rightarrow \varepsilon\ \{ M.s := 1 \}$

$P \rightarrow \varepsilon\ \{ P.s := P.i + 1 \}$

产生式	依产生式归约时语义计算的代码片断
$N \rightarrow .\ M\ S$	print(val [top] .v)
$S \rightarrow B\ P\ S_1$	val [top-2].v := val [top].v + val [top-2].v
$S \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].v := 0
$B \rightarrow 0$	val [top].v := 0
$B \rightarrow 1$	val [top].v := 2^(-val [top-1].s)
$M \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := 1
$P \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := val [top-1].s+1

	P	2
→	B	0.5
	M	1
	.	-
	#	-

(分析栈val 存放文法符号的综合属性，top为栈顶指针)

✧ 基于L-翻译模式的自底向上语义计算

– 分析栈中继承属性的访问（较复杂的例子）

$N \rightarrow .\ M\ \{ S.f := M.s \}\ S\ \{ print(S.v) \}$

$S \rightarrow \{ B.f := S.f \}\ B\ \{ P.i := S.f \}\ P\ \{ S_1.f := P.s \}\ S_1\ \{ S.v := S_1.v + B.v \}$

$S \rightarrow \varepsilon\ \{ S.v := 0 \}$

$B \rightarrow 0\ \{ B.v := 0 \}$

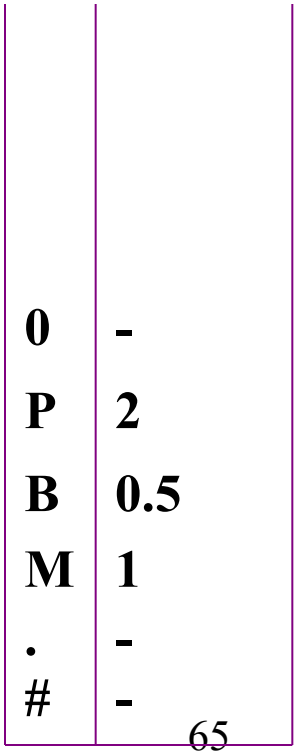
$B \rightarrow 1\ \{ B.v := 2^{(-B.f)} \}$

例: 处理输入串 .101

$M \rightarrow \varepsilon\ \{ M.s := 1 \}$

$P \rightarrow \varepsilon\ \{ P.s := P.i + 1 \}$

产生式	依产生式归约时语义计算的代码片断
$N \rightarrow .\ M\ S$	print(val [top] .v)
$S \rightarrow B\ P\ S_1$	val [top-2].v := val [top].v + val [top-2].v
$S \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].v := 0
$B \rightarrow 0$	val [top].v := 0
$B \rightarrow 1$	val [top].v := 2^(-val [top-1].s)
$M \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := 1
$P \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := val [top-1].s+1



(分析栈val 存放文法符号的综合属性，top为栈顶指针)

✧ 基于L-翻译模式的自底向上语义计算

– 分析栈中继承属性的访问（较复杂的例子）

$N \rightarrow .\ M\ \{ S.f := M.s \}\ S\ \{ print(S.v) \}$

$S \rightarrow \{ B.f := S.f \}\ B\ \{ P.i := S.f \}\ P\ \{ S_1.f := P.s \}\ S_1\ \{ S.v := S_1.v + B.v \}$

$S \rightarrow \varepsilon\ \{ S.v := 0 \}$

$B \rightarrow 0\ \{ B.v := 0 \}$

$B \rightarrow 1\ \{ B.v := 2^{(-B.f)} \}$

例: 处理输入串 .101

$M \rightarrow \varepsilon\ \{ M.s := 1 \}$

$P \rightarrow \varepsilon\ \{ P.s := P.i + 1 \}$

产生式	依产生式归约时语义计算的代码片断
$N \rightarrow .\ M\ S$	print(val [top] .v)
$S \rightarrow B\ P\ S_1$	val [top-2].v := val [top].v + val [top-2].v
$S \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].v := 0
$B \rightarrow 0$	val [top].v := 0
$B \rightarrow 1$	val [top].v := 2^(-val [top-1].s)
$M \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := 1
$P \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := val [top-1].s+1

→

0	-
P	2
B	0.5
M	1
.	-
#	-

(分析栈val 存放文法符号的综合属性，top为栈顶指针)

✧ 基于L-翻译模式的自底向上语义计算

– 分析栈中继承属性的访问（较复杂的例子）

$N \rightarrow .\ M\ \{ S.f := M.s \}\ S\ \{ print(S.v) \}$

$S \rightarrow \{ B.f := S.f \}\ B\ \{ P.i := S.f \}\ P\ \{ S_1.f := P.s \}\ S_1\ \{ S.v := S_1.v + B.v \}$

$S \rightarrow \varepsilon\ \{ S.v := 0 \}$

$B \rightarrow 0\ \{ B.v := 0 \}$

$B \rightarrow 1\ \{ B.v := 2^{(-B.f)} \}$

$M \rightarrow \varepsilon\ \{ M.s := 1 \}$

$P \rightarrow \varepsilon\ \{ P.s := P.i + 1 \}$

例: 处理输入串 .101

产生式	依产生式归约时语义计算的代码片断
$N \rightarrow .\ M\ S$	print(val [top] .v)
$S \rightarrow B\ P\ S_1$	val [top-2].v := val [top].v + val [top-2].v
$S \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].v := 0
$B \rightarrow 0$	val [top].v := 0
$B \rightarrow 1$	val [top].v := 2^(-val [top-1].s)
$M \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := 1
$P \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := val [top-1].s+1

→

P	3
B	0
P	2
B	0.5
M	1
.	-
#	-

(分析栈val 存放文法符号的综合属性，top为栈顶指针)

✧ 基于L-翻译模式的自底向上语义计算

– 分析栈中继承属性的访问（较复杂的例子）

$N \rightarrow . M \{ S.f := M.s \}\ S \ \{ print(S.v) \}$

$S \rightarrow \{ B.f := S.f \}\ B \{ P.i := S.f \}\ P \{ S_1.f := P.s \}\ S_1 \{ S.v := S_1.v + B.v \}$

$S \rightarrow \varepsilon \ \{ S.v := 0 \}$

$B \rightarrow 0 \ \{ B.v := 0 \}$

$B \rightarrow 1 \ \{ B.v := 2^{(-B.f)} \}$

$M \rightarrow \varepsilon \ \{ M.s := 1 \}$

$P \rightarrow \varepsilon \ \{ P.s := P.i + 1 \}$

例: 处理输入串 .101

产生式	依产生式归约时语义计算的代码片断
$N \rightarrow . M S$	print(val [top] .v)
$S \rightarrow B P S_1$	val [top-2].v := val [top].v + val [top-2].v
$S \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].v := 0
$B \rightarrow 0$	val [top].v := 0
$B \rightarrow 1$	val [top].v := 2^(-val [top-1].s)
$M \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := 1
$P \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := val [top-1].s+1

(分析栈val 存放文法符号的综合属性，top为栈顶指针)

1	-
→ P	3
B	0
P	2
B	0.5
M	1
.	-
#	-

✧ 基于L-翻译模式的自底向上语义计算

– 分析栈中继承属性的访问（较复杂的例子）

$N \rightarrow . M \{ S.f := M.s \}\ S \ \{ print(S.v) \}$

$S \rightarrow \{ B.f := S.f \}\ B \{ P.i := S.f \}\ P \{ S_1.f := P.s \}\ S_1 \{ S.v := S_1.v + B.v \}$

$S \rightarrow \varepsilon \ \{ S.v := 0 \}$

$B \rightarrow 0 \ \{ B.v := 0 \}$

$B \rightarrow 1 \ \{ B.v := 2^{(-B.f)} \}$

$M \rightarrow \varepsilon \ \{ M.s := 1 \}$

$P \rightarrow \varepsilon \ \{ P.s := P.i + 1 \}$

例: 处理输入串 .101

产生式	依产生式归约时语义计算的代码片断
$N \rightarrow . M S$	print(val [top] .v)
$S \rightarrow B P S_1$	val [top-2].v := val [top].v + val [top-2].v
$S \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].v := 0
$B \rightarrow 0$	val [top].v := 0
$B \rightarrow 1$	val [top].v := 2^(-val [top-1].s)
$M \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := 1
$P \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := val [top-1].s+1

(分析栈val 存放文法符号的综合属性，top为栈顶指针)

→ 1	-
P	3
B	0
P	2
B	0.5
M	1
.	-
#	-

✧ 基于L-翻译模式的自底向上语义计算

– 分析栈中继承属性的访问（较复杂的例子）

$N \rightarrow .\ M\ \{ S.f := M.s \}\ S\ \{ print(S.v) \}$

$S \rightarrow \{ B.f := S.f \}\ B\ \{ P.i := S.f \}\ P\ \{ S_1.f := P.s \}\ S_1\ \{ S.v := S_1.v + B.v \}$

$S \rightarrow \varepsilon\ \{ S.v := 0 \}$

$B \rightarrow 0\ \{ B.v := 0 \}$

$B \rightarrow 1\ \{ B.v := 2^{(-B.f)} \}$

$M \rightarrow \varepsilon\ \{ M.s := 1 \}$

$P \rightarrow \varepsilon\ \{ P.s := P.i + 1 \}$

例: 处理输入串 .101

产生式	依产生式归约时语义计算的代码片断
$N \rightarrow .\ M\ S$	print(val [top] .v)
$S \rightarrow B\ P\ S_1$	val [top-2].v := val [top].v + val [top-2].v
$S \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].v := 0
$B \rightarrow 0$	val [top].v := 0
$B \rightarrow 1$	val [top].v := 2^(-val [top-1].s)
$M \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := 1
$P \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := val [top-1].s+1

→

P	4
B	0.125
P	3
B	0
P	2
B	0.5
M	1
.	-
#	-

(分析栈val 存放文法符号的综合属性，top为栈顶指针)

✧ 基于L-翻译模式的自底向上语义计算

– 分析栈中继承属性的访问（较复杂的例子）

$N \rightarrow .\ M\ \{ S.f := M.s \}\ S\ \{ print(S.v) \}$

$S \rightarrow \{ B.f := S.f \}\ B\ \{ P.i := S.f \}\ P\ \{ S_1.f := P.s \}\ S_1\ \{ S.v := S_1.v + B.v \}$

$S \rightarrow \varepsilon\ \{ S.v := 0 \}$

$B \rightarrow 0\ \{ B.v := 0 \}$

$B \rightarrow 1\ \{ B.v := 2^{(-B.f)} \}$

$M \rightarrow \varepsilon\ \{ M.s := 1 \}$

$P \rightarrow \varepsilon\ \{ P.s := P.i + 1 \}$

例: 处理输入串 .101 →

S	0
P	4
B	0.125
P	3
B	0
P	2
B	0.5
M	1
.	-
#	-

产生式	依产生式归约时语义计算的代码片断
$N \rightarrow .\ M\ S$	print(val [top] .v)
$S \rightarrow B\ P\ S_1$	val [top-2].v := val [top].v + val [top-2].v
$S \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].v := 0
$B \rightarrow 0$	val [top].v := 0
$B \rightarrow 1$	val [top].v := 2^(-val [top-1].s)
$M \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := 1
$P \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := val [top-1].s+1

(分析栈val 存放文法符号的综合属性，top为栈顶指针)

✧ 基于L-翻译模式的自底向上语义计算

– 分析栈中继承属性的访问（较复杂的例子）

$N \rightarrow .\ M\ \{ S.f := M.s \}\ S\ \{ print(S.v) \}$

$S \rightarrow \{ B.f := S.f \}\ B\ \{ P.i := S.f \}\ P\ \{ S_1.f := P.s \}\ S_1\ \{ S.v := S_1.v + B.v \}$

$S \rightarrow \varepsilon\ \{ S.v := 0 \}$

$B \rightarrow 0\ \{ B.v := 0 \}$

$B \rightarrow 1\ \{ B.v := 2^{(-B.f)} \}$

$M \rightarrow \varepsilon\ \{ M.s := 1 \}$

$P \rightarrow \varepsilon\ \{ P.s := P.i + 1 \}$

例: 处理输入串 .101

产生式	依产生式归约时语义计算的代码片断
$N \rightarrow .\ M\ S$	print(val [top] .v)
$S \rightarrow B\ P\ S_1$	val [top-2].v := val [top].v + val [top-2].v
$S \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].v := 0
$B \rightarrow 0$	val [top].v := 0
$B \rightarrow 1$	val [top].v := 2^(-val [top-1].s)
$M \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := 1
$P \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := val [top-1].s+1

(分析栈val 存放文法符号的综合属性，top为栈顶指针)

→	S	0
	P	4
	B	0.125
	P	3
	B	0
	P	2
	B	0.5
	M	1
	.	-
	#	-

✧ 基于L-翻译模式的自底向上语义计算

– 分析栈中继承属性的访问（较复杂的例子）

$N \rightarrow . M \{ S.f := M.s \}\ S \ \{ print(S.v) \}$

$S \rightarrow \{ B.f := S.f \}\ B \{ P.i := S.f \}\ P \{ S_1.f := P.s \}\ S_1 \{ S.v := S_1.v + B.v \}$

$S \rightarrow \varepsilon \ \{ S.v := 0 \}$

$B \rightarrow 0 \ \{ B.v := 0 \}$

$B \rightarrow 1 \ \{ B.v := 2^{(-B.f)} \}$

$M \rightarrow \varepsilon \ \{ M.s := 1 \}$

$P \rightarrow \varepsilon \ \{ P.s := P.i + 1 \}$

例: 处理输入串 .101

产生式	依产生式归约时语义计算的代码片断
$N \rightarrow . M S$	print(val [top] .v)
$S \rightarrow B P S_1$	val [top-2].v := val [top].v + val [top-2].v
$S \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].v := 0
$B \rightarrow 0$	val [top].v := 0
$B \rightarrow 1$	val [top].v := 2^(-val [top-1].s)
$M \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := 1
$P \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := val [top-1].s+1

→

S	0.125
P	3
B	0
P	2
B	0.5
M	1
.	-
#	-

(分析栈val 存放文法符号的综合属性，top为栈顶指针)

✧ 基于L-翻译模式的自底向上语义计算

– 分析栈中继承属性的访问（较复杂的例子）

$N \rightarrow .\ M\ \{ S.f := M.s \}\ S\ \{ print(S.v) \}$

$S \rightarrow \{ B.f := S.f \}\ B\ \{ P.i := S.f \}\ P\ \{ S_1.f := P.s \}\ S_1\ \{ S.v := S_1.v + B.v \}$

$S \rightarrow \varepsilon\ \{ S.v := 0 \}$

$B \rightarrow 0\ \{ B.v := 0 \}$

$B \rightarrow 1\ \{ B.v := 2^{(-B.f)} \}$

$M \rightarrow \varepsilon\ \{ M.s := 1 \}$

$P \rightarrow \varepsilon\ \{ P.s := P.i + 1 \}$

例: 处理输入串 .101

产生式	依产生式归约时语义计算的代码片断
$N \rightarrow .\ M\ S$	print(val [top] .v)
$S \rightarrow B\ P\ S_1$	val [top-2].v := val [top].v + val [top-2].v
$S \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].v := 0
$B \rightarrow 0$	val [top].v := 0
$B \rightarrow 1$	val [top].v := 2^(-val [top-1].s)
$M \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := 1
$P \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := val [top-1].s+1

→

S	0.125
P	2
B	0.5
M	1
.	-
#	-

(分析栈val 存放文法符号的综合属性，top为栈顶指针)

✧ 基于L-翻译模式的自底向上语义计算

– 分析栈中继承属性的访问（较复杂的例子）

$N \rightarrow .\ M\ \{ S.f := M.s \}\ S\ \{ print(S.v) \}$

$S \rightarrow \{ B.f := S.f \}\ B\ \{ P.i := S.f \}\ P\ \{ S_1.f := P.s \}\ S_1\ \{ S.v := S_1.v + B.v \}$

$S \rightarrow \varepsilon\ \{ S.v := 0 \}$

$B \rightarrow 0\ \{ B.v := 0 \}$

$B \rightarrow 1\ \{ B.v := 2^{(-B.f)} \}$

例: 处理输入串 .101

$M \rightarrow \varepsilon\ \{ M.s := 1 \}$

$P \rightarrow \varepsilon\ \{ P.s := P.i + 1 \}$

产生式	依产生式归约时语义计算的代码片断
$N \rightarrow .\ M\ S$	print(val [top] .v)
$S \rightarrow B\ P\ S_1$	val [top-2].v := val [top].v + val [top-2].v
$S \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].v := 0
$B \rightarrow 0$	val [top].v := 0
$B \rightarrow 1$	val [top].v := 2^(-val [top-1].s)
$M \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := 1
$P \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := val [top-1].s+1

print 0.625 →

S	0.625
M	1
.	-
#	-

(分析栈val 存放文法符号的综合属性，top为栈顶指针)

✧ 基于L-翻译模式的自底向上语义计算

– 分析栈中继承属性的访问（较复杂的例子）

$N \rightarrow .\ M\ \{ S.f := M.s \}\ S\ \{ print(S.v) \}$

$S \rightarrow \{ B.f := S.f \}\ B\ \{ P.i := S.f \}\ P\ \{ S_1.f := P.s \}\ S_1\ \{ S.v := S_1.v + B.v \}$

$S \rightarrow \varepsilon\ \{ S.v := 0 \}$

$B \rightarrow 0\ \{ B.v := 0 \}$

$B \rightarrow 1\ \{ B.v := 2^{(-B.f)} \}$

$M \rightarrow \varepsilon\ \{ M.s := 1 \}$

$P \rightarrow \varepsilon\ \{ P.s := P.i + 1 \}$

例: 处理输入串 .101

产生式	依产生式归约时语义计算的代码片断
$N \rightarrow .\ M\ S$	print(val [top] .v)
$S \rightarrow B\ P\ S_1$	val [top-2].v := val [top].v + val [top-2].v
$S \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].v := 0
$B \rightarrow 0$	val [top].v := 0
$B \rightarrow 1$	val [top].v := 2^(-val [top-1].s)
$M \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := 1
$P \rightarrow \varepsilon$	val [top+1].s := val [top-1].s+1

acc →

N	-
#	-

(分析栈val 存放文法符号的综合属性，top为栈顶指针)

作业

P189: 1题, 4题