



山东大学  
SHANDONG UNIVERSITY

## 编译原理

# 第四章 自上而下的语法分析

授 课 教 师 : 余仲星  
手 机 : 15866821709 (微信同号)  
邮 箱 : zhongxing.yu@sdu.edu.cn

# 第四章 自上而下的语法分析

## □ 4.1 语法分析器的功能

## □ 4.2 自上而下分析面临的问题

## □ 4.3 LL(1)分析法

### ➤ 4.3.1 左递归的消除

### ➤ 4.3.2 消除回溯、提左公因子

### ➤ 4.3.3 LL(1)分析条件

### ➤ 4.3.4 LL(1)预测分析表的构造

### ➤ 4.3.5 LL(1)预测分析程序的工作过程

### ➤ 4.3.6 人工干预构造非LL(1)文法的LL(1)分析表

# 第四章 自上而下的语法分析

## □ 4.1 语法分析器的功能

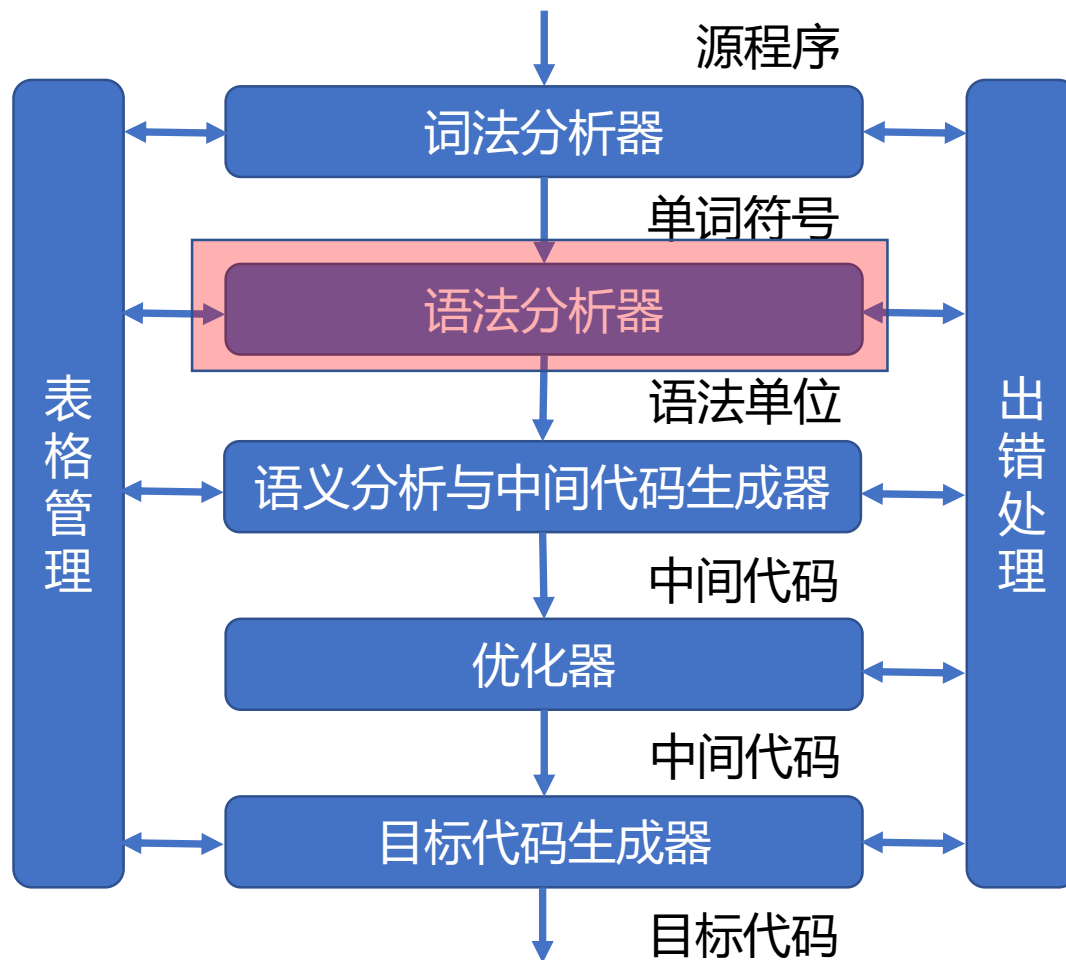
## □ 4.2 自上而下分析面临的问题

## □ 4.3 LL(1)分析法

- 4.3.1 左递归的消除
- 4.3.2 消除回溯、提左公因子
- 4.3.3 LL(1)分析条件
- 4.3.4 LL(1)预测分析表的构造
- 4.3.5 LL(1)预测分析程序的工作过程
- 4.3.6 人工干预构造非LL(1)文法的LL(1)分析表

## 4.1 语法分析器的功能

- **语法分析器**，又称**分析器**，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”。



## 4.1 语法分析器的功能

### 语法分析的分类

□ 自上而下分析：从文法的开始符号开始，向下推导，推出句子。

□ 自下而上分析：从句子开始，向上归约，归约到文法的开始符号。

# 第四章 自上而下的语法分析

## □ 4.1 语法分析器的功能

## □ 4.2 自上而下分析面临的问题

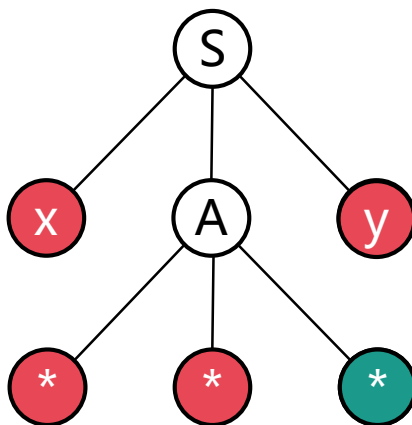
## □ 4.3 LL(1)分析法

- 4.3.1 左递归的消除
- 4.3.2 消除回溯、提左公因子
- 4.3.3 LL(1)分析条件
- 4.3.4 LL(1)预测分析表的构造
- 4.3.5 LL(1)预测分析程序的工作过程
- 4.3.6 人工干预构造非LL(1)文法的LL(1)分析表

## 4.2 自上而下分析面临的问题

【例4.1】 文法：  $G_1 = (\{x, y, z, *\}, \{S, A\}, S, \{S \rightarrow xAy|z, A \rightarrow ** | *\})$

x \* y #  
↑ ↑ ↑



回溯

## 4.2 自上而下分析面临的问题

【例4.2】文法：  $G_2[S]: S \rightarrow aA, A \rightarrow S|\varepsilon$ ，其表示的语言为  $L(G_2) = a^+$

【例4.3】文法：  $G_3[S]: S \rightarrow Sa|a$ ，其表示的语言为  $L(G_2) = a^+$

【例4.4】文法：  $G_3[S]: S \rightarrow aS|a$ ，其表示的语言为  $L(G_2) = a^+$



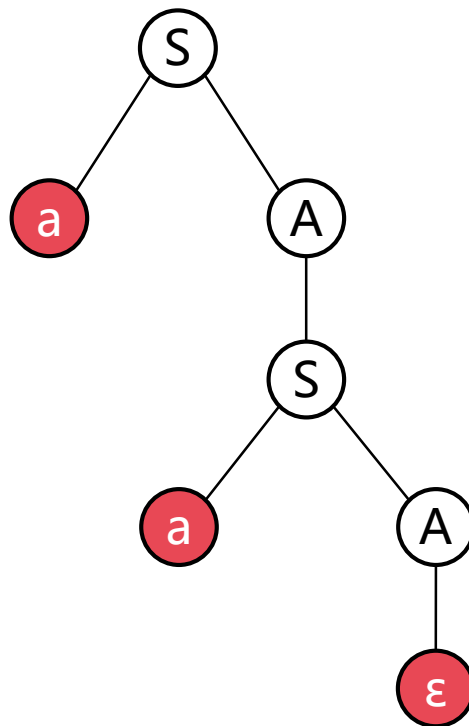
## 4.2 自上而下分析面临的问题

【例4.2】文法：  $G_2[S]: S \rightarrow aA, A \rightarrow S|\varepsilon$ ，其表示的语言为  $L(G_2) = a^+$

【例4.3】文法：  $G_3[S]: S \rightarrow Sa|a$ ，其表示的语言为  $L(G_2) = a^+$

【例4.4】文法：  $G_3[S]: S \rightarrow aS|a$ ，其表示的语言为  $L(G_2) = a^+$

a a #  
↑ ↑ ↑

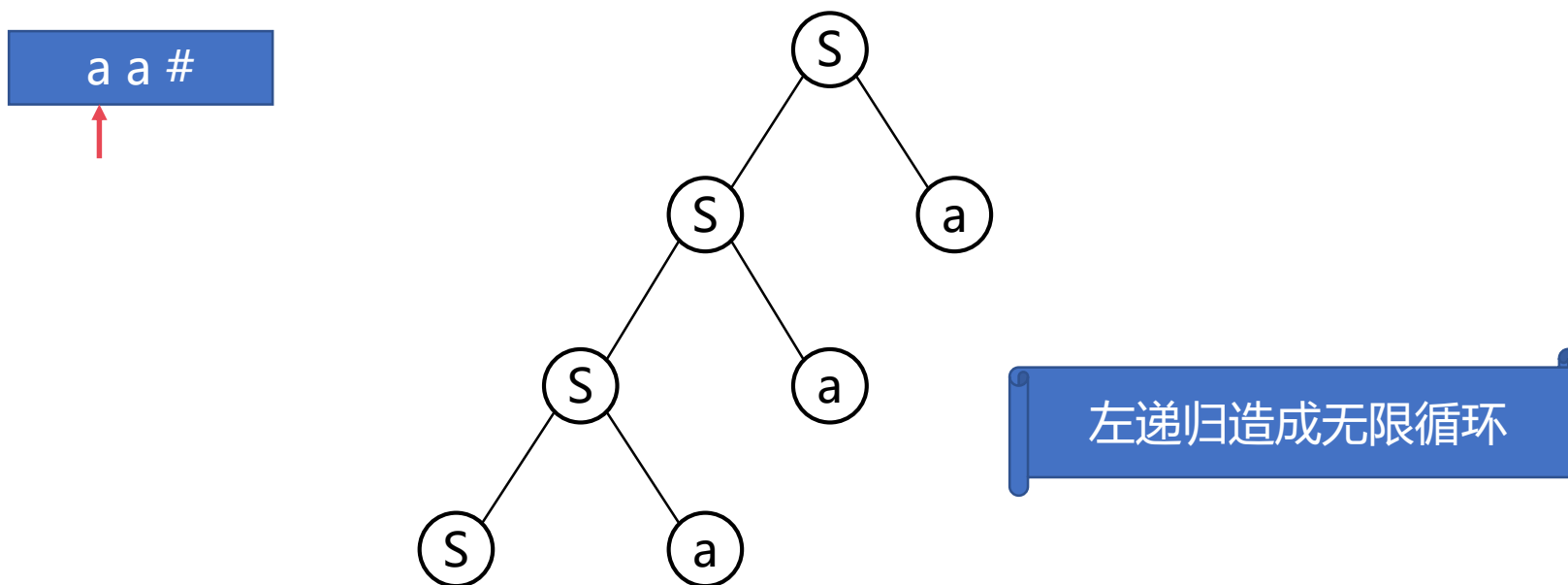


## 4.2 自上而下分析面临的问题

【例4.2】文法：  $G_2[S]: S \rightarrow aA, A \rightarrow S|\varepsilon$ ，其表示的语言为  $L(G_2) = a^+$

【例4.3】文法：  $G_3[S]: S \rightarrow Sa|a$ ，其表示的语言为  $L(G_2) = a^+$

【例4.4】文法：  $G_3[S]: S \rightarrow aS|a$ ，其表示的语言为  $L(G_2) = a^+$



## 4.2 自上而下分析面临的问题

【例4.2】文法：  $G_2[S]: S \rightarrow aA, A \rightarrow S|\varepsilon$ ，其表示的语言为  $L(G_2) = a^+$

【例4.3】文法：  $G_3[S]: S \rightarrow Sa|a$ ，其表示的语言为  $L(G_3) = a^+$

【例4.4】文法：  $G_4[S]: S \rightarrow aS|a$ ，其表示的语言为  $L(G_4) = a^+$

a a #



(S)

左公因子造成不确定性

## 4.2 自上而下分析面临的问题

### □ 带回溯的自上而下分析面临的问题：

- 如果一个文法含有 $P \xrightarrow{+} P\alpha$ 的左递归，则会造成无限循环。
- 回溯，会导致走了一大段错路，最后必须回头，之前已经做的一大堆语义工作（指中间代码生成和各种表格记录工作）就必须推倒重来，既麻烦又费时间，因此最好设法消除回溯。
- 上述的自上而下分析过程中，当一个非终结符号用某一个候选式匹配成功时，这种成功可能是暂时的，这中虚假匹配需要更复杂的回溯技术；一般来说消除虚假匹配很难，但如果从最长候选开始匹配，虚假匹配的现象会减少。
- 当最终报告分析不成功时，难于知道输入串中出错的确切位置。
- 由于带回溯的自上而下分析采用了一种穷尽一切可能的试探法，因此效率很低，代价极高，实践上价值不大。

# 第四章 自上而下的语法分析

## □ 4.1 语法分析器的功能

## □ 4.2 自上而下分析面临的问题

## □ 4.3 LL(1)分析法

### ➤ 4.3.1 左递归的消除

### ➤ 4.3.2 消除回溯、提左公因子

### ➤ 4.3.3 LL(1)分析条件

### ➤ 4.3.4 LL(1)预测分析表的构造

### ➤ 4.3.5 LL(1)预测分析程序的工作过程

### ➤ 4.3.6 人工干预构造非LL(1)文法的LL(1)分析表

# 消除直接左递归

□  $P \rightarrow P\alpha|\beta$ , 其中 $\beta$ 的第一个符号不是 $P$

- 利用正规式做中介,  $P \Rightarrow \beta\alpha^*$
- 转为右递归文法:  $P \rightarrow \beta P', P' \rightarrow \alpha P'|\varepsilon$

□  $P \rightarrow P\alpha_1|P\alpha_2|\dots|P\alpha_n|\beta_1|\beta_2|\dots|\beta_m$ , 其中 $\beta_i$ 的第一个符号不是 $P$

- 利用正规式做中介,  $P \Rightarrow (\beta_1|\dots|\beta_m)(\alpha_1|\dots|\alpha_n)^*$
- 转为右递归文法:  $P \rightarrow (\beta_1|\dots|\beta_m)P', P' \rightarrow (\alpha_1|\dots|\alpha_n)P'|\varepsilon$

# 消除直接左递归

【例4.5】消除如下文法 $G[E]$ 的直接左递归

$E \rightarrow E + T \mid T$
$T \rightarrow T * F \mid F$
$F \rightarrow (E) \mid i$

$E \rightarrow TE'$
$E' \rightarrow +TE' \mid \varepsilon$
$T \rightarrow FT'$
$T' \rightarrow * FT' \mid \varepsilon$
$F \rightarrow (E) \mid i$

# 消除隐含左递归

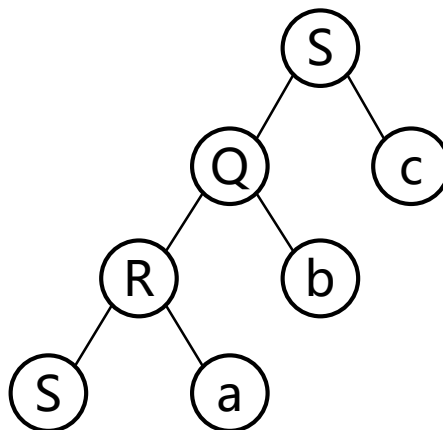
【例4.6】隐式左递归文法 $G[S]$

$$S \rightarrow Qc|c$$

$$Q \rightarrow Rb|b$$

$$R \rightarrow Sa|a$$

a b c #  
↑





# 消除隐含左递归

【例4.6】隐式左递归文法 $G[S]$

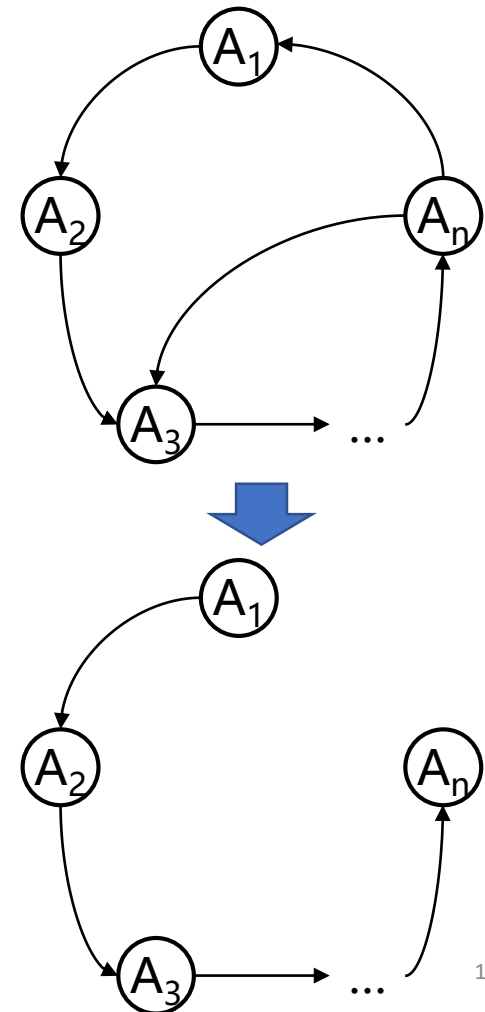
$$S \rightarrow Qc|c$$

$$Q \rightarrow Rb|b$$

$$R \rightarrow Sa|a$$

□ 隐式左递归确定:  $S \Rightarrow Qc \Rightarrow Rbc \Rightarrow Sabc$

□ 解决方案: 给定一个非终结符号的排序,  
如 $A_1, A_2, \dots, A_n$ , 使 $A_i \rightarrow \alpha$ 的产生式,  $\alpha$ 中  
仅含有 $A_j$ , 其中 $j \geq i$



# 消除隐含左递归

□ 消除隐含左递归算法，要求文法不含回路，即不含形如 $P \xrightarrow{+} P$ 的推导

① 对终结符号给出一个排序：  $A_1, A_2, \dots, A_n$

② for ( $i = 1; i \leq n; i++$ )

{

for ( $j = 1; j < i; j++$ )

{

if ( $A_i \rightarrow A_j \gamma \ \&\& \ A_j \rightarrow \delta_1 | \delta_2 | \dots | \delta_k$ )

$A_i \rightarrow \delta_1 \gamma | \delta_2 \gamma | \dots | \delta_k \gamma;$

}

消除 $A_i$ 的直接左递归;

}

③ 化简，消除无用产生式，即去除从开始符号永远无法到达的产生式。

# 消除隐含左递归

【例4.6】消除文法 $G[S]$ 的隐式左递归

$S \rightarrow Qc \mid c$
$Q \rightarrow Rb \mid b$
$R \rightarrow Sa \mid a$

(1) 排序:  $S, Q, R$

(2)  $S \rightarrow Qc \mid c$

$Q \rightarrow Rb \mid b$

$R \Rightarrow Sa \mid a \Rightarrow Qca \mid ca \mid a \Rightarrow Rbca \mid bca \mid ca \mid a$

$R \rightarrow bcaR' \mid caR' \mid aR'$

$R' \rightarrow bcaR' \mid \varepsilon$

(3) 最终产生式:

$S \rightarrow Qc \mid c$

$Q \rightarrow Rb \mid b$

$R \rightarrow bcaR' \mid caR' \mid aR'$

$R' \rightarrow bcaR' \mid \varepsilon$

# 消除隐含左递归

【例4.6】消除文法 $G[S]$ 的隐式左递归

$S \rightarrow Qc \mid c$
$Q \rightarrow Rb \mid b$
$R \rightarrow Sa \mid a$

(1) 排序:  $R, Q, S$

(2)  $S \Rightarrow Qc \mid c \Rightarrow Rbc \mid bc \mid c \Rightarrow Sabc \mid abc \mid bc \mid c$

$S \rightarrow abcS' \mid bcS' \mid cS'$

$S' \rightarrow abcS' \mid \varepsilon$

$Q \Rightarrow Rb \mid b \Rightarrow Sab \mid ab \mid b$

$Q \rightarrow Sab \mid ab \mid b$

$R \rightarrow Sa \mid a$

(3) 最终产生式:

$S \rightarrow abcS' \mid bcS' \mid cS'$

$S' \rightarrow abcS' \mid \varepsilon$

# 消除隐含左递归

## □ 按 $S, Q, R$ 排序

$$S \rightarrow Qc \mid c$$

$$Q \rightarrow Rb \mid b$$

$$R \rightarrow bcaR' \mid caR' \mid aR'$$

$$R' \rightarrow bcaR' \mid \varepsilon$$

$$R' \Rightarrow (bca)^*$$

$$R \Rightarrow (bca|ca|a)(bca)^*$$

$$Q \Rightarrow (bca|ca|a)(bca)^*b \mid b$$

$$S \Rightarrow (bca|ca|a)(bca)^*bc \mid bc \mid c$$

$$\Rightarrow (bc|c|\varepsilon) a(bca)^*bc \mid bc \mid c$$

$$\Rightarrow (bc|c|\varepsilon) (abc)(abc)^* \mid bc \mid c$$

$$\Rightarrow (bc|c) (abc)(abc)^* \mid (abc)(abc)^* \mid (bc|c)$$

$$\Rightarrow (bc|c)(abc)^* \mid (abc)(abc)^*$$

$$\Rightarrow (abc|bc|c)(abc)^*$$

## □ 按 $R, Q, S$ 排序

$$S \rightarrow abcS' \mid bcS' \mid cS'$$

$$S' \rightarrow abcS' \mid \varepsilon$$

$$S' \Rightarrow (abc)^*$$

$$S \Rightarrow (abc|bc|c)(abc)^*$$

$$a(bca)^*bc$$

$$a\ bc$$

$$a\ bca\ bc$$

$$a\ bca\ bca\ bc$$

.....

$$\text{转换为: } (abc)(abc)^*$$

# 消除隐含左递归

## □ 消除隐含左递归

- 含有回路<sup>+</sup>的左递归无法消除:  $A \Rightarrow^+ A$ ;
- 消除左递归与非终结符号的排序无关;
- 如果从开始符号依次推导出  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , 则按其逆序排序时得到的产生式最少。

$$A_1 \Rightarrow A_2 \alpha_2$$

$$A_2 \Rightarrow A_3 \alpha_3$$

.....

$$A_n \Rightarrow A_1 \alpha_1$$

## □ 按 $A_n, A_{n-1}, \dots, A_1$ 排序

$$A_1 \Rightarrow A_1 \beta_1$$

$$A_2 \Rightarrow A_1 \beta_2$$

.....

$$A_n \Rightarrow A_1 \beta_n$$

$$S \Rightarrow^* \dots A_1 \dots$$

$A_2, A_3, \dots, A_n$  无法从  $S$  到达

# 第四章 自上而下的语法分析

## □ 4.1 语法分析器的功能

## □ 4.2 自上而下分析面临的问题

## □ 4.3 LL(1)分析法

### ➤ 4.3.1 左递归的消除

### ➤ 4.3.2 消除回溯、提左公因子

### ➤ 4.3.3 LL(1)分析条件

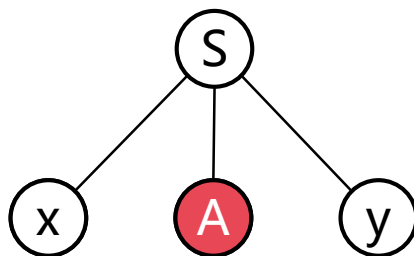
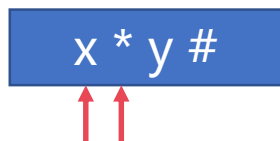
### ➤ 4.3.4 LL(1)预测分析表的构造

### ➤ 4.3.5 LL(1)预测分析程序的工作过程

### ➤ 4.3.6 人工干预构造非LL(1)文法的LL(1)分析表

# 消除回溯

【例4.7】文法：  $G_1 = (\{x, y, z, *\}, \{S, A\}, S, \{S \rightarrow xAy|z, A \rightarrow ** | *\})$



- $S$ 的两个候选式 $xAy$ 和 $z$ 的**首符号不同**，因此很容易确定用哪个候选式匹配。
- $A$ 的两个候选式 $**$ 和 $*$ 的**首符号相同**，无法确定用哪个候选式匹配，需要回溯。



# 消除回溯

## □ 候选式 $\alpha$ 的终结首符集（头符号集）

- $First(\alpha) = \{a \mid \alpha \xRightarrow{*} a \dots, a \in V_T\}$
- 特别地, 若 $\alpha \xRightarrow{*} \varepsilon$ , 则 $\varepsilon \in First(\alpha)$

## □ 无回溯指派候选式要求

- 对 $A \rightarrow \alpha_1 \mid \dots \mid \alpha_n$ 的每对候选式, 有 $First(\alpha_i) \cap First(\alpha_j) = \emptyset$ , 其中 $i \neq j$

# 提左公因子

$$\square P \rightarrow \alpha A_1 | \alpha A_2 | \dots | \alpha A_n | \beta_1 | \beta_2 | \dots | \beta_m$$

$$\square P \rightarrow \alpha A | \beta_1 | \beta_2 | \dots | \beta_m$$

$$A \rightarrow A_1 | A_2 | \dots | A_n$$

【例4.7】消除文法 $G[S]$ 的隐式左递归

$$S \rightarrow \text{if } B \text{ then } S_1 \text{ else } S_2 \mid \text{if } B \text{ then } S_1$$

【解】 $S \rightarrow \text{if } B \text{ then } S_1 S_3$

$$S_3 \rightarrow \text{else } S_2 \mid \varepsilon$$

# 第四章 自上而下的语法分析

## □ 4.1 语法分析器的功能

## □ 4.2 自上而下分析面临的问题

## □ 4.3 LL(1)分析法

### ➤ 4.3.1 左递归的消除

### ➤ 4.3.2 消除回溯、提左公因子

### ➤ 4.3.3 LL(1)分析条件

### ➤ 4.3.4 LL(1)预测分析表的构造

### ➤ 4.3.5 LL(1)预测分析程序的工作过程

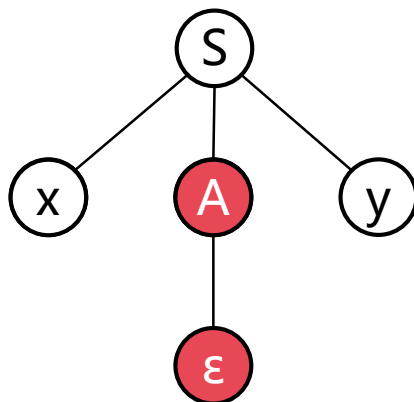
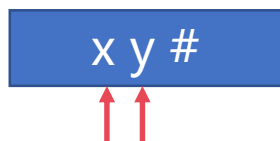
### ➤ 4.3.6 人工干预构造非LL(1)文法的LL(1)分析表

# 空字匹配问题

【例4.8】 文法:  $G_1 = (\{x, y, z, *\}, \{S, A\}, S, \{S \rightarrow xAy|z, A \rightarrow * | \varepsilon\})$



当前输入符号为 $a$ ,  $A \rightarrow \alpha_1 | \dots | \alpha_n$ ,  $a \notin \text{First}(\alpha_i)$ ,  $\varepsilon \in \text{First}(\alpha_j)$ , 是否可以用 $\varepsilon$ 匹配 $A$ ?



- 只有 $a$ 是跟在 $A$ 后面的终结符时, 才能运行 $A$ 自动匹配, 否则,  $a$ 在这里的出现就是一种语法错误。

# 后继符号集

□ 文法 $G[S]$ 中, 非终结符号 $A$ 的**后继终结符号集** (后继符号集)

- $Follow(A) = \{a | S \Rightarrow^* \dots Aa \dots, a \in V_T\}$
- 特别地, 若 $S \Rightarrow^* \dots A$ , 则 $\# \in Follow(A)$

□ 当前输入符号为 $a$ ,  $A \rightarrow \alpha_1 | \dots | \alpha_n$ ,  $a \notin First(\alpha_i)$ ,  $\varepsilon \in First(\alpha_j)$ , 是否可以用 $\varepsilon$ 匹配 $A$ ?

- 若 $a \in Follow(A)$ , 则可以用 $\varepsilon$ 匹配 $A$ ;
- 若 $a \notin Follow(A)$ , 这里 $a$ 的出现是一个语法错误。

# LL(1)分析条件

## □ 构造不带回溯的自上而下分析的文法条件

- 文法不含左递归;
- 对 $A \rightarrow \alpha_1 | \dots | \alpha_n$ 的每对候选式, 有 $First(\alpha_i) \cap First(\alpha_j) = \emptyset$ , 其中 $i \neq j$ ;
- 对非终结符号 $A$ , 若 $\varepsilon \in First(A)$ , 有 $First(A) \cap Follow(A) = \emptyset$ 。

## □ 满足以上条件的文法称为LL(1)文法

- 第一个L表示从左到右扫描输入串;
- 第二个L表示最左推导;
- 1表示分析时每一步只需向右查看一个符号。

# LL(1)分析条件

## □ 对 $A \rightarrow \alpha_1 | \dots | \alpha_n$ 的匹配

- 若  $a \in First(\alpha_i)$  , 则指派  $\alpha_i$  去执行匹配任务;
- 若  $(\forall \alpha_i) a \notin First(\alpha_i)$  ,  $(\exists \alpha_j) \varepsilon \in First(\alpha_j)$  , 且  $a \in Follow(A)$  , 则指派  $\alpha_i$  去执行匹配任务;
- 若  $(\forall \alpha_i) a \notin First(\alpha_i)$  , 但  $(\forall \alpha_j) \varepsilon \notin First(\alpha_j)$  , 或者  $a \notin Follow(A)$  , 则  $a$  的出现是一种语法错误。



□ 如何构造  $First(\alpha)$  ?

□ 如何构造  $Follow(A)$  ?

□ 如何根据当前输入符号  $a$  决定  $A$  的匹配式?

# 第四章 自上而下的语法分析

## □ 4.1 语法分析器的功能

## □ 4.2 自上而下分析面临的问题

## □ 4.3 LL(1)分析法

### ➤ 4.3.1 左递归的消除

### ➤ 4.3.2 消除回溯、提左公因子

### ➤ 4.3.3 LL(1)分析条件

### ➤ 4.3.4 LL(1)预测分析表的构造

### ➤ 4.3.5 LL(1)预测分析程序的工作过程

### ➤ 4.3.6 人工干预构造非LL(1)文法的LL(1)分析表



## 求 $First(X)$

□ 重复以下步骤, 直至 $First(X)$ 不再增大为止

- ① 若 $X \in V_T$ , 则 $First(X) = \{X\}$ ;
- ② 若 $X \in V_N$ , 且有产生式 $X \rightarrow a \dots, a \in V_T$ , 则 $First(X) = First(X) \cup \{a\}$ ;
- ③ 若 $X \in V_N$ , 且有产生式 $X \rightarrow \varepsilon$ , 则 $First(X) = First(X) \cup \{\varepsilon\}$ ;
- ④ 若有产生式 $X \rightarrow Y \dots, Y \in V_N$ , 则 $First(X) = First(X) \cup (First(Y) - \{\varepsilon\})$ ;
- ⑤ 若有产生式 $X \rightarrow Y_1 Y_2 \dots Y_k, \exists i \forall j (1 \leq j \leq i - 1), \varepsilon \in First(Y_j)$ , 则 $First(X) = First(X) \cup (First(Y_i) - \{\varepsilon\})$ ; 特别地, 若 $Y_1 Y_2 \dots Y_k \xRightarrow{*} \varepsilon$ , 则 $First(X) = First(X) \cup \{\varepsilon\}$ 。

## 求 $First(X)$

【例4.9】求 $First(X)$

$X \rightarrow Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 Y_5$
$Y_1 \rightarrow a   \varepsilon$
$Y_2 \rightarrow b Y_3   \varepsilon$
$Y_3 \rightarrow Y_4 Y_5   \varepsilon$
$Y_4 \rightarrow Y_5 c   \varepsilon$
$Y_5 \rightarrow d Y_1   \varepsilon$

$First(X) = \{a, b, c, d, \varepsilon\}$
$First(Y_1) = \{a, \varepsilon\}$
$First(Y_2) = \{b, \varepsilon\}$
$First(Y_3) = \{c, d, \varepsilon\}$
$First(Y_4) = \{c, d, \varepsilon\}$
$First(Y_5) = \{d, \varepsilon\}$

# 求 $Follow(A)$

## □ 初始化

- ① 对 $\forall A \in V_N$ , 令 $Follow(A) = \emptyset$ ;
- ② 若 $A$ 是开始符号, 则令 $Follow(A) = \{\#\}$ ;

## □ 重复以下步骤, 直至 $Follow(A)$ 不再增大为止

- ① 若有 $A \rightarrow \alpha B \beta, B \in V_N$ , 置 $Follow(B) = Follow(B) \cup (First(\beta) - \{\varepsilon\})$ ;
- ② 若有 $A \rightarrow \alpha B, B \in V_N$ , 置 $Follow(B) = Follow(B) \cup Follow(A)$ ;
- ③ 若有 $A \rightarrow \alpha B \beta, B \in V_N, \varepsilon \in First(\beta)$ , 置 $Follow(B) = Follow(B) \cup Follow(A)$ 。

# 求Follow (A)

【例4.10】求文法 $G[E]$ 的首符号集和后继符号集

$E \rightarrow TE'$
$E' \rightarrow +TE'   \varepsilon$
$T \rightarrow FT'$
$T' \rightarrow * FT'   \varepsilon$
$F \rightarrow (E)   i$

$First(E) = \{ (, i \}$	$First(TE') = \{ (, i \}$	
$First(E') = \{ +, \varepsilon \}$	$First(+TE') = \{ + \}$	$First(\varepsilon) = \{ \varepsilon \}$
$First(T) = \{ (, i \}$	$First(FT') = \{ (, i \}$	
$First(T') = \{ *, \varepsilon \}$	$First(* FT') = \{ * \}$	$First(\varepsilon) = \{ \varepsilon \}$
$First(F) = \{ (, i \}$	$First((E)) = \{ ( \}$	$First(i) = \{ i \}$

$Follow(E) = \{ \#, ) \}$
$Follow(E') = \{ \#, ) \}$
$Follow(T) = \{ +, \#, ) \}$
$Follow(T') = \{ +, \#, ) \}$
$Follow(F) = \{ *, +, \#, ) \}$

# 构造LL(1)分析表 $M[A, a]$

□ 当前符号为 $a$ 时, 非终结符号 $A$ 可以用候选式 $\alpha$ 匹配的条件:

- $a \in First(\alpha)$
- $\varepsilon \in First(\alpha), a \in Follow(A)$

$V_N \setminus V_T$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	...	$a_k$
$A_1$					
$A_2$					
...					
$A_n$					

## 构造LL(1)分析表 $M[A, a]$

- $G = \{V_T, V_N, S, \mathcal{P}\}$ , 构造分析表, 列为 $a \in V_T$ , 行为 $A \in V_N$ ,  $A$ 与 $a$ 对应的元素记为 $M[A, a]$ , 对每一个产生式 $A \rightarrow \alpha$ :
  - 若 $a \in First(\alpha)$ , 则置 $M[A, a] = A \rightarrow \alpha$ ;
  - 若 $\varepsilon \in First(\alpha), b \in Follow(A)$ , 则置 $M[A, b] = A \rightarrow \alpha$ ;
  - 若 $M[A, a]$ 为空, 则表示出错。
- 用上述方法构造的分析表称为LL(1)分析表。

# 构造LL(1)分析表 $M[A, a]$

【例4.11】构造文法 $G[E]$ 的LL(1)分析表

$E \rightarrow TE'$	$First(TE') = \{ (, i \}$		$Follow(E) = \{ \#, ) \}$
$E' \rightarrow +TE'   \varepsilon$	$First(+TE') = \{ + \}$	$First(\varepsilon) = \{ \varepsilon \}$	$Follow(E') = \{ \#, ) \}$
$T \rightarrow FT'$	$First(FT') = \{ (, i \}$		$Follow(T) = \{ +, \#, ) \}$
$T' \rightarrow * FT'   \varepsilon$	$First(* FT') = \{ * \}$	$First(\varepsilon) = \{ \varepsilon \}$	$Follow(T') = \{ +, \#, ) \}$
$F \rightarrow (E)   i$	$First((E)) = \{ ( \}$	$First(i) = \{ i \}$	$Follow(F) = \{ *, +, \#, ) \}$

	$i$	$+$	$*$	$($	$)$	$\#$
$E$	$E \rightarrow TE'$			$E \rightarrow TE'$		
$E'$		$E' \rightarrow +TE'$			$E \rightarrow \varepsilon$	$E \rightarrow \varepsilon$
$T$	$T \rightarrow FT'$			$T \rightarrow FT'$		
$T'$		$T' \rightarrow \varepsilon$	$T' \rightarrow * FT'$		$T' \rightarrow \varepsilon$	$T' \rightarrow \varepsilon$
$F$	$F \rightarrow i$			$F \rightarrow (E)$		

# 第四章 自上而下的语法分析

## □ 4.1 语法分析器的功能

## □ 4.2 自上而下分析面临的问题

## □ 4.3 LL(1)分析法

### ➤ 4.3.1 左递归的消除

### ➤ 4.3.2 消除回溯、提左公因子

### ➤ 4.3.3 LL(1)分析条件

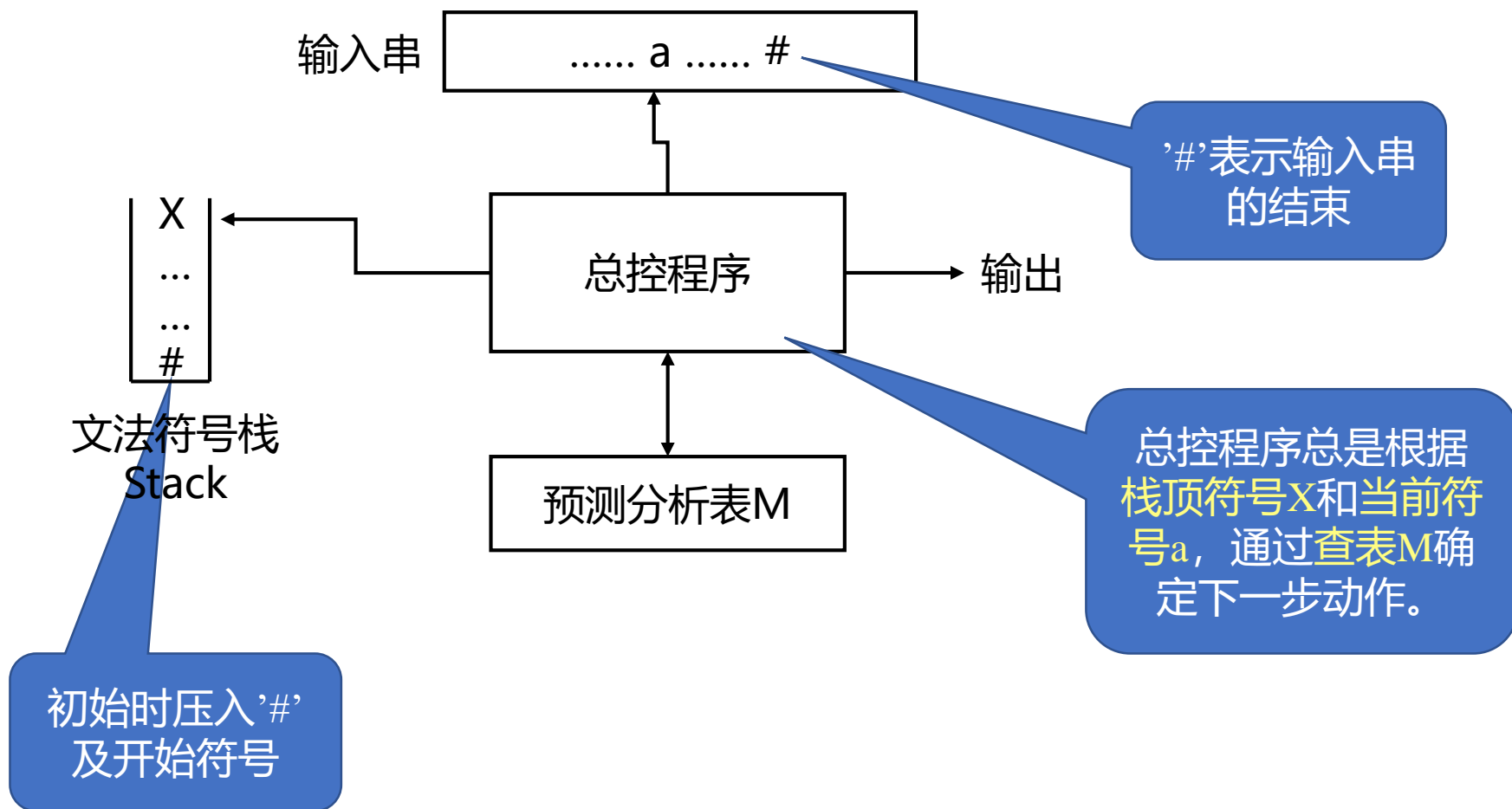
### ➤ 4.3.4 LL(1)预测分析表的构造

### ➤ 4.3.5 LL(1)预测分析程序的工作过程

### ➤ 4.3.6 人工干预构造非LL(1)文法的LL(1)分析表



## 4.3.5 LL(1)预测分析程序的工作过程



## 4.3.5 LL(1)预测分析程序的工作过程

□ 总控程序根据Stack栈顶符号 $X$ 和当前输入符号 $a$ 查LL(1)分析表:

➤ 如果 $X \in V_T$

- ① 若 $X = a = \#'$ , 成功, 退出;
- ② 若 $X = a \neq \#'$ , 从栈顶弹出 $X$ , 让 $a$ 指向下一个符号;
- ③ 若 $X \neq a$ , 出错, 退出。

➤ 如果 $X \in V_N$

- ① 若 $M(X, a)$ 为产生式, 则栈顶弹出 $X$ , 产生式右部符号反序进栈;
- ② 若 $M(X, a)$ 的产生式右部为 $\varepsilon$ , 则 $\varepsilon$ 不进栈;
- ③ 若 $M(X, a)$ 为空, 出错, 退出。

【例4.12】分析符号串： $i * (i + i) + i$

	$i$	$+$	$*$	$($	$)$	$\#$
$E$	$E \rightarrow TE'$			$E \rightarrow TE'$		
$E'$		$E' \rightarrow +TE'$			$E' \rightarrow \varepsilon$	$E' \rightarrow \varepsilon$
$T$	$T \rightarrow FT'$			$T \rightarrow FT'$		
$T'$		$T' \rightarrow \varepsilon$	$T' \rightarrow * FT'$		$T' \rightarrow \varepsilon$	$T' \rightarrow \varepsilon$
$F$	$F \rightarrow i$			$F \rightarrow (E)$		

序号	文法符号栈	输入串	所用产生式
1	$\#E$	$i * (i + i) + i \#$	
2	$\#E'T$	$i * (i + i) + i \#$	$E \rightarrow TE'$
3	$\#E'T'F$	$i * (i + i) + i \#$	$T \rightarrow FT'$
4	$\#E'T'i$	$i * (i + i) + i \#$	$F \rightarrow i$
5	$\#E'T'$	$* (i + i) + i \#$	
6	$\#E'T'F *$	$* (i + i) + i \#$	$T' \rightarrow * FT'$
7	$\#E'T'F$	$(i + i) + i \#$	
8	$\#E'T')E($	$(i + i) + i \#$	$F \rightarrow (E)$
9	$\#E'T')E$	$i + i) + i \#$	
10	$\#E'T')E'T$	$i + i) + i \#$	$E \rightarrow TE'$
11	$\#E'T')E'T'F$	$i + i) + i \#$	$T \rightarrow FT'$

序号	文法符号栈	输入串	所用产生式
12	$\#E'T')E'T'i$	$i + i) + i \#$	$F \rightarrow i$
13	$\#E'T')E'T'$	$+i) + i \#$	
14	$\#E'T')E'$	$+i) + i \#$	$T' \rightarrow \varepsilon$
15	$\#E'T')E'T +$	$+i) + i \#$	$E' \rightarrow +TE'$
16	$\#E'T')E'T$	$i) + i \#$	
17	$\#E'T')E'T'F$	$i) + i \#$	$T \rightarrow FT'$
18	$\#E'T')E'T'i$	$i) + i \#$	$F \rightarrow i$
19	$\#E'T')E'T'$	$) + i \#$	
20	$\#E'T')E'$	$) + i \#$	$T' \rightarrow \varepsilon$
21	$\#E'T')$	$) + i \#$	$E' \rightarrow \varepsilon$
22	$\#E'T'$	$+i \#$	

【例4.12】分析符号串：  $i * (i + i) + i$

	$i$	$+$	$*$	$($	$)$	$\#$
$E$	$E \rightarrow TE'$			$E \rightarrow TE'$		
$E'$		$E' \rightarrow +TE'$			$E' \rightarrow \varepsilon$	$E' \rightarrow \varepsilon$
$T$	$T \rightarrow FT'$			$T \rightarrow FT'$		
$T'$		$T' \rightarrow \varepsilon$	$T' \rightarrow * FT'$		$T' \rightarrow \varepsilon$	$T' \rightarrow \varepsilon$
$F$	$F \rightarrow i$			$F \rightarrow (E)$		

序号	文法符号栈	输入串	所用产生式
22	$\#E'T'$	$+i\#$	
23	$\#E'$	$+i\#$	$T' \rightarrow \varepsilon$
24	$\#E'T +$	$+i\#$	$E' \rightarrow +TE'$
25	$\#E'T$	$i\#$	
26	$\#E'T'F$	$i\#$	$T \rightarrow FT'$
27	$\#E'T'i$	$i\#$	$F \rightarrow i$
28	$\#E'T'$	$\#$	
29	$\#E'$	$\#$	$T' \rightarrow \varepsilon$
30	$\#$	$\#$	$E' \rightarrow \varepsilon$
31	$\#$	$\#$	Success

# 第四章 自上而下的语法分析

## □ 4.1 语法分析器的功能

## □ 4.2 自上而下分析面临的问题

## □ 4.3 LL(1)分析法

### ➤ 4.3.1 左递归的消除

### ➤ 4.3.2 消除回溯、提左公因子

### ➤ 4.3.3 LL(1)分析条件

### ➤ 4.3.4 LL(1)预测分析表的构造

### ➤ 4.3.5 LL(1)预测分析程序的工作过程

### ➤ 4.3.6 人工干预构造非LL(1)文法的LL(1)分析表

## 4.3.6 人工干预构造非LL(1)文法的LL(1)分析表

【例4.7】消除文法 $G[S]$ 的隐式左递归

$$S \rightarrow \text{if } B \text{ then } S_1 \text{ else } S_2 \mid \text{if } B \text{ then } S_1$$

【解】 $S \rightarrow \text{if } B \text{ then } S_1 S_3$

$$S_3 \rightarrow \text{else } S_2 \mid \varepsilon$$

□ 整理:  $G[S] = \{V_T, V_N, S, \mathcal{P}\}$

➤  $V_T = \{\text{if}, \text{then}, \text{else}, b, s\}$

➤  $V_N = \{S, A\}$

➤  $\mathcal{P}: S \rightarrow \text{if } b \text{ then } SA \mid s, A \rightarrow \text{else } S \mid \varepsilon$

## 4.3.6 人工干预构造非LL(1)文法的LL(1)分析表

【例4.13】  $G[S]: S \rightarrow \text{if } b \text{ then } SA \mid s, A \rightarrow \text{else } S \mid \varepsilon$ , 构造LL(1)分析表

$S \rightarrow \text{if } b \text{ then } SA \mid s$	$First(S) = \{\text{if}, s\}$	
$A \rightarrow \text{else } S \mid \varepsilon$	$First(\text{if } b \text{ then } SA) = \{\text{if}\}$	$First(s) = \{s\}$
	$First(A) = \{\text{else}, \varepsilon\}$	
	$First(\text{else } S) = \{\text{else}\}$	$First(\varepsilon) = \{\varepsilon\}$
	$Follow(S) = \{\#, \text{else}\}$	
	$Follow(A) = \{\#, \text{else}\}$	

## 4.3.6 人工干预构造非LL(1)文法的LL(1)分析表

【例4.13】  $G[S]: S \rightarrow \text{if } b \text{ then } SA \mid s, A \rightarrow \text{else } S \mid \varepsilon$ , 构造LL(1)分析表

$S \rightarrow \text{if } b \text{ then } SA \mid s$	$First(\text{if } b \text{ then } SA) = \{\text{if}\}$	$First(s) = \{s\}$
$A \rightarrow \text{else } S \mid \varepsilon$	$First(\text{else } S) = \{\text{else}\}$	$First(\varepsilon) = \{\varepsilon\}$
	$Follow(S) = \{\#, \text{else}\}$	$Follow(A) = \{\#, \text{else}\}$

	<i>if</i>	<i>then</i>	<i>else</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	#
<i>S</i>	$S \rightarrow \text{if } b \text{ then } SA$				$S \rightarrow s$	
<i>A</i>			$A \rightarrow \text{else } S$ $A \rightarrow \text{else } S$ $A \rightarrow \varepsilon$			$A \rightarrow \varepsilon$



## 4.3.6 人工干预构造非LL(1)文法的LL(1)分析表

【例4.14】分析句子: *if b then if b then s else s*

	<i>if</i>	<i>then</i>	<i>else</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	#
<i>S</i>	<i>S</i> → <i>if b then SA</i>				<i>S</i> → <i>s</i>	
<i>A</i>			<i>A</i> → <i>else S</i> <i>A</i> → $\epsilon$			<i>A</i> → $\epsilon$

序号	文法符号栈	输入串	所用产生式
1	# <i>S</i>	<i>if b then if b then s else s</i> #	
2	# <i>AS then b if</i>	<i>if b then if b then s else s</i> #	<i>S</i> → <i>if b then SA</i>
3	# <i>AS then b</i>	<i>b then if b then s else s</i> #	
4	# <i>AS then</i>	<i>then if b then s else s</i> #	
5	# <i>AS</i>	<i>if b then s else s</i> #	
6	# <i>AAS then b if</i>	<i>if b then s else s</i> #	<i>S</i> → <i>if b then SA</i>
7	# <i>AAS then b</i>	<i>b then s else s</i> #	
8	# <i>AAS then</i>	<i>then s else s</i> #	
9	# <i>AAS</i>	<i>s else s</i> #	

## 4.3.6 人工干预构造非LL(1)文法的LL(1)分析表

【例4.14】分析句子: *if b then if b then s else s*

	<i>if</i>	<i>then</i>	<i>else</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	#
<i>S</i>	$S \rightarrow \text{if } b \text{ then } SA$				$S \rightarrow s$	
<i>A</i>			$A \rightarrow \text{else } S$ $A \rightarrow \varepsilon$			$A \rightarrow \varepsilon$

序号	文法符号栈	输入串	所用产生式
9	#AAS	<i>s else s#</i>	
10	#AAs	<i>s else s#</i>	$S \rightarrow s$
11	#AA	<i>else s#</i>	
12	#AS <i>else</i>	<i>else s#</i>	$A \rightarrow \text{else } S$
13	#AS	<i>s#</i>	
14	#As	<i>s#</i>	$S \rightarrow s$
15	#A	<i>#</i>	
16	<i>#</i>	<i>#</i>	
17	<i>#</i>	<i>#</i>	Success

## 4.3.6 人工干预构造非LL(1)文法的LL(1)分析表

	<i>if</i>	<i>then</i>	<i>else</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	#
<i>S</i>	$S \rightarrow \text{if } b \text{ then } SA$				$S \rightarrow s$	
<i>A</i>			$A \rightarrow \text{else } S$ $A \rightarrow \varepsilon$			$A \rightarrow \varepsilon$

□ 规定else与最接近的if配对，因此发生冲突时， $A \rightarrow \text{else } S$  优先于  $A \rightarrow s$ 。

➤  $P: S \rightarrow \text{if } b \text{ then } SA \mid s, A \rightarrow \text{else } S \mid \varepsilon$

□ 推广：当一个候选式是另外一个候选式的前缀时，规定较长的候选式优先

	<i>if</i>	<i>then</i>	<i>else</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	#
<i>S</i>	$S \rightarrow \text{if } b \text{ then } SA$				$S \rightarrow s$	
<i>A</i>			$A \rightarrow \text{else } S$			$A \rightarrow \varepsilon$

## 第四章作业

【作业4-1】 令文法为 $G[E]$

$$E \rightarrow TE'$$

$$E' \rightarrow +E | \varepsilon$$

$$T \rightarrow FT'$$

$$T' \rightarrow T | \varepsilon$$

$$F \rightarrow PF'$$

$$F' \rightarrow * F' | \varepsilon$$

$$P \rightarrow (E) | a | b | ^$$

- (1) 计算该文法每个非终结符号的终结首符集和后继符号集。
- (2) 这个文法是否为LL(1)文法。
- (3) 构造它的预测分析表。
- (4) 给出句子 $(a + b) * a^b$ 的分析过程。

## 第四章作业

【作业4-2】 令文法为 $G[Expr]$  (在左部出现的是非终结符号)

$$Expr \rightarrow -Expr$$

$$Expr \rightarrow (Expr)|Var ExprTail$$

$$ExprTail \rightarrow -Expr|\varepsilon$$

$$Var \rightarrow id VarTail$$

$$VarTail \rightarrow (Expr)|\varepsilon$$

- (1) 构造LL(1)分析表。
- (2) 给出句子 $id - -id((id))$ 的分析过程。