



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 : 郑艳伟
手 机 : 18614002860 (微信同号)
邮 箱 : zhengyw@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

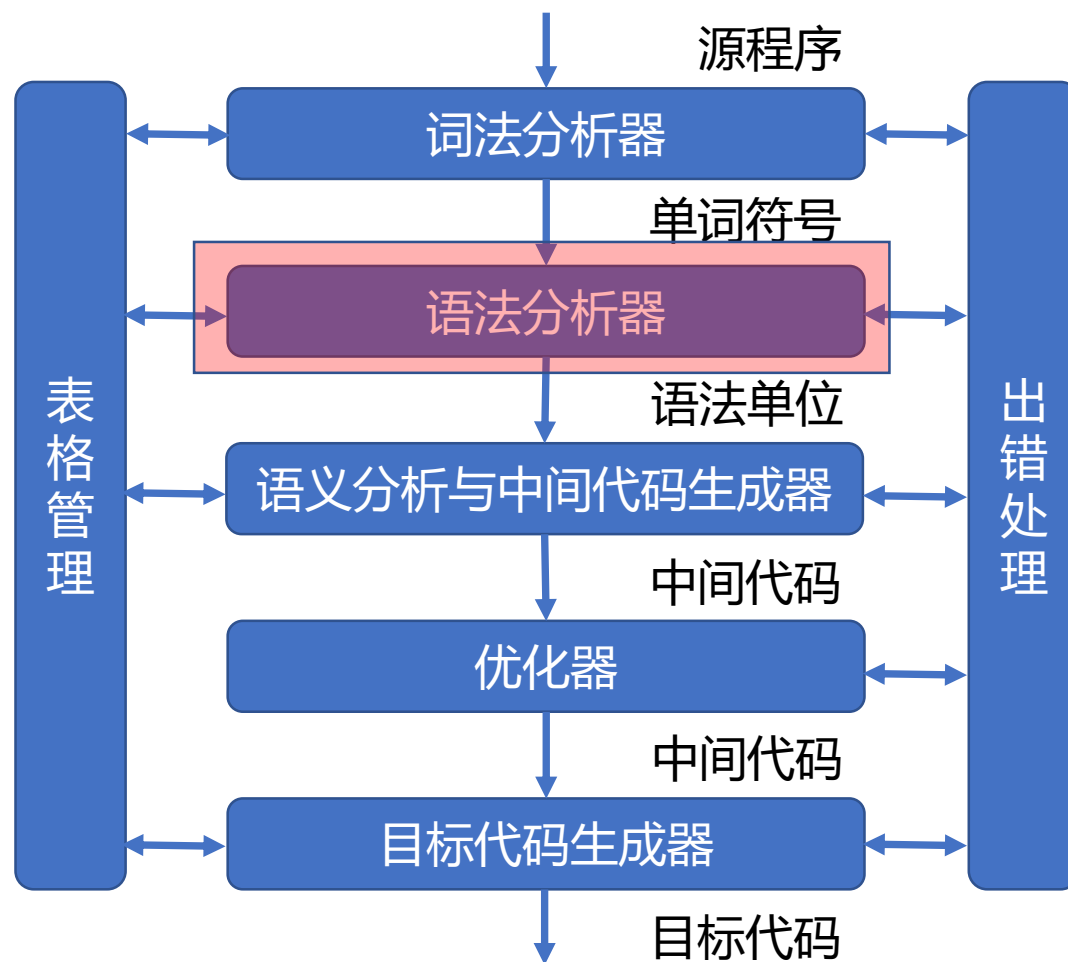
□ 4.2 自上而下分析面临的问题

□ 4.3 LL(1)分析法

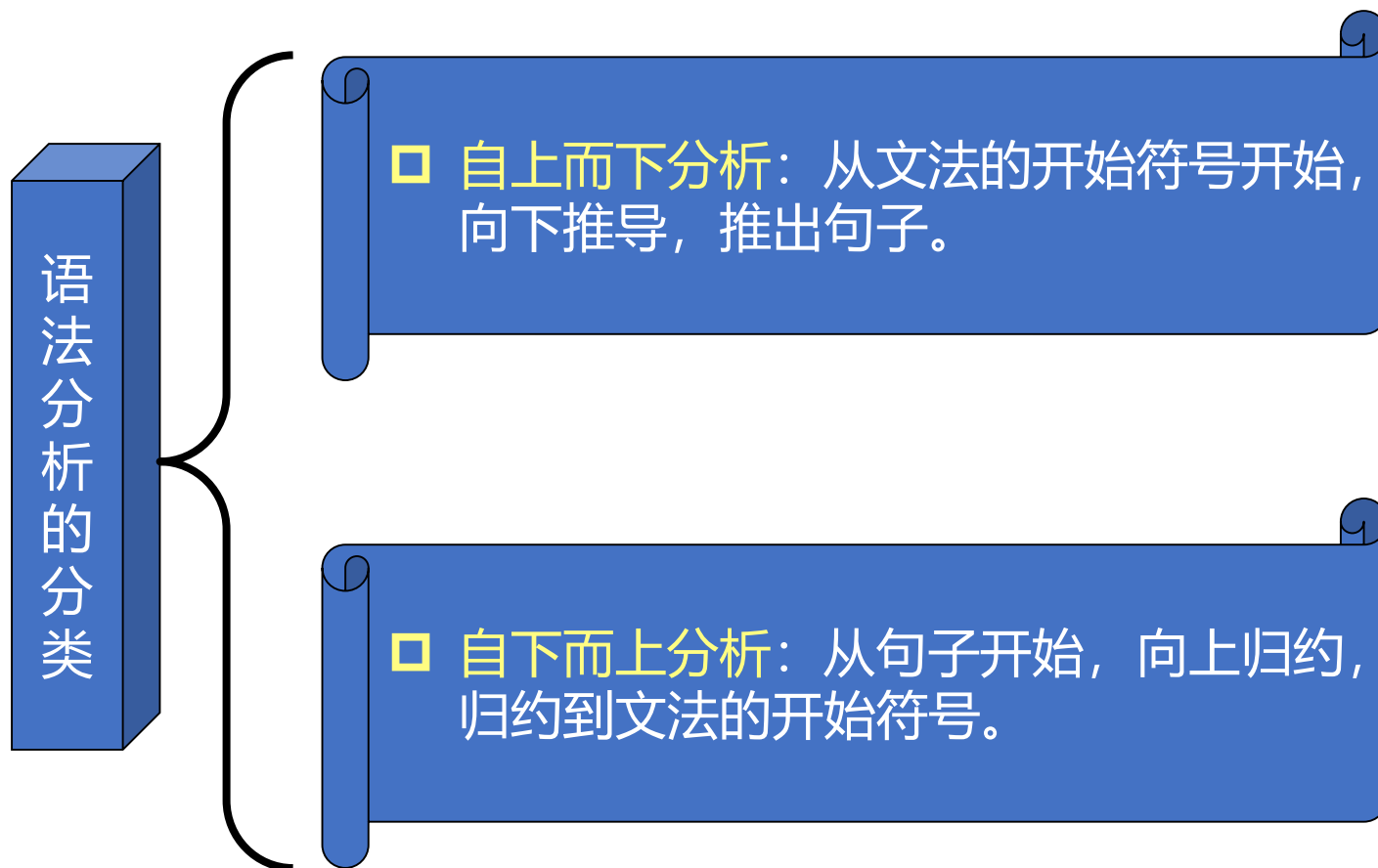
- 4.3.1 左递归的消除
- 4.3.2 消除回溯、提左公因子
- 4.3.3 LL(1)分析条件
- 4.3.4 LL(1)预测分析表的构造
- 4.3.5 LL(1)预测分析程序的工作过程
- 4.3.6 人工干预构造非LL(1)文法的LL(1)分析表

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



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

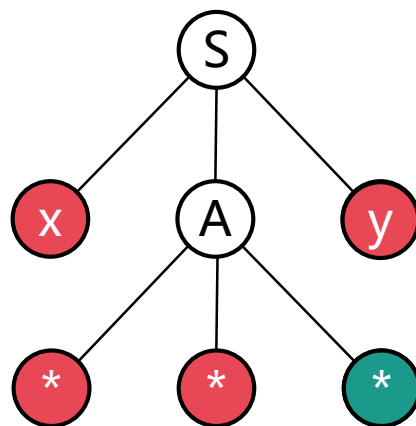
□ 4.3 LL(1)分析法

- 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: $G_1 = (\{S, A\}, \{x, y, z, *\}, \{S \rightarrow xAy|z, A \rightarrow ** | *\}, S)$

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 $L(G_2) = a^+$

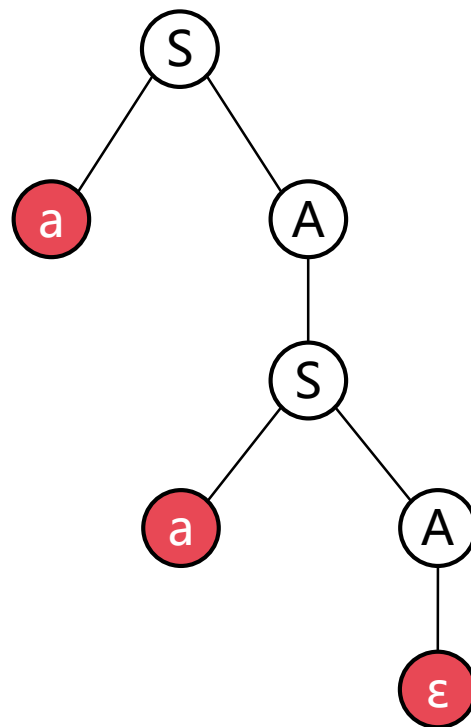
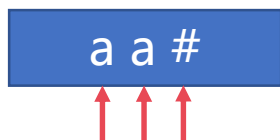
【例4.4】文法: $G_3[S]: S \rightarrow aS|a$, 其表示的语言为 $L(G_2) = a^+$

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 $L(G_2) = a^+$

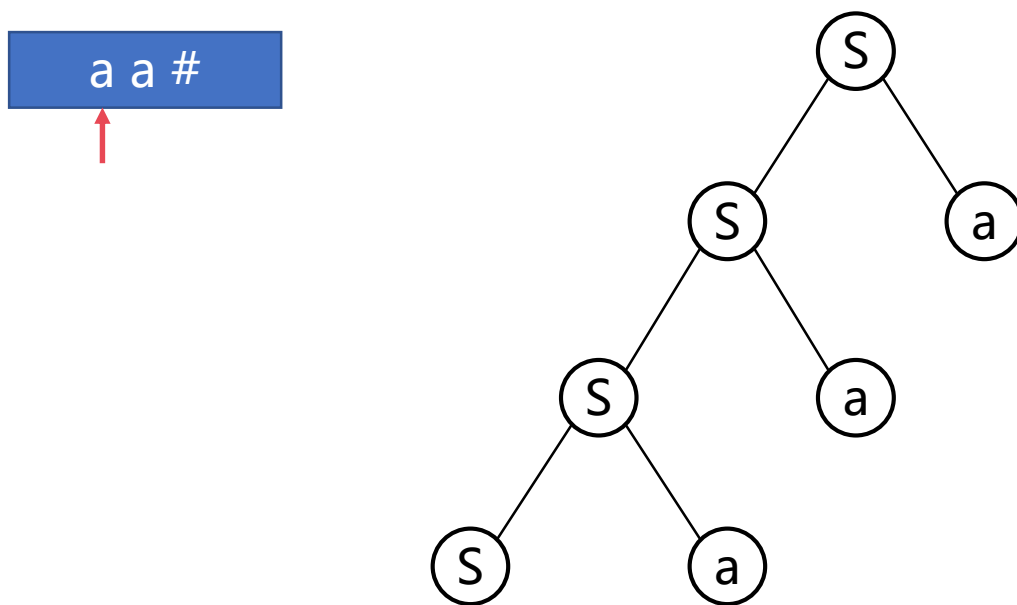


4.2 自上而下分析面临的问题

【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 $L(G_4) = a^+$



左递归造成无限循环

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 #
↑

Ⓢ

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 β 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: $P \rightarrow \beta P', P' \rightarrow \alpha P'|\varepsilon$

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

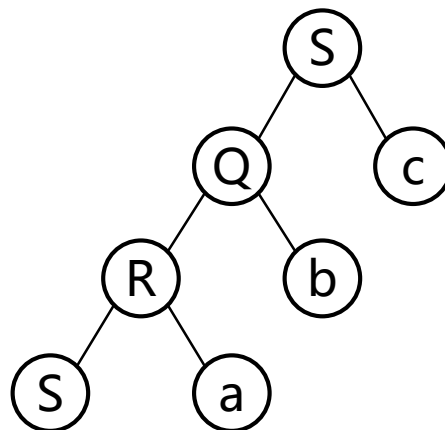
【例4.6】隐式左递归文法 $G[S]$

$$S \rightarrow Qc|c$$

$$Q \rightarrow Rb|b$$

$$R \rightarrow Sa|a$$

a b c #
↑



消除隐含左递归

【例4.6】隐式左递归文法 $G[S]$

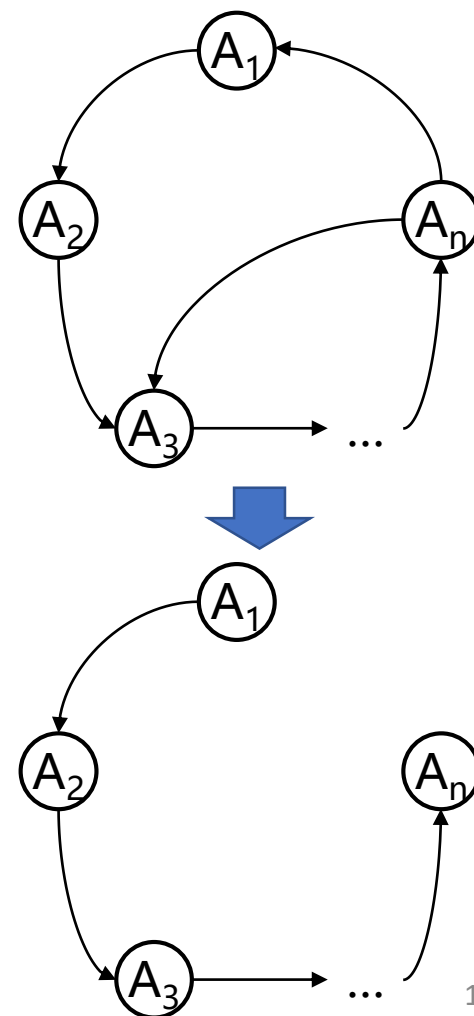
$$S \rightarrow Qc|c$$

$$Q \rightarrow Rb|b$$

$$R \rightarrow Sa|a$$

□ 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, α 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 对非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⁺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

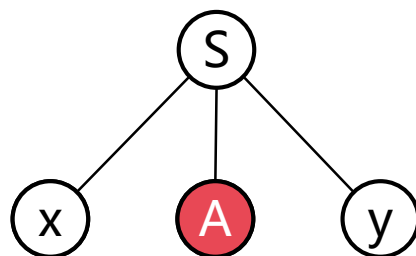
第四章 自上而下的语法分析

- 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: $G_1 = (\{S, A\}, \{x, y, z, *\}, \{S \rightarrow xAy|z, A \rightarrow ** | *\}, S)$

$x * y \#$
↑ ↑



- 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 α 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】提取文法 $G[S]$ 的左公因子

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

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

$$A \rightarrow \text{else } S \mid \varepsilon$$

第四章 自上而下的语法分析

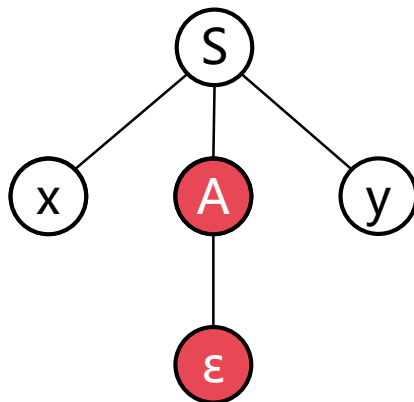
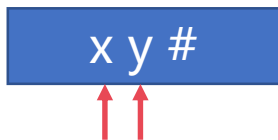
- 4.1 语法分析器的功能
- 4.2 自上而下分析面临的问题
- 4.3 LL(1)分析法
 - 4.3.1 左递归的消除
 - 4.3.2 消除回溯、提左公因子
 - 4.3.3 LL(1)分析条件
 - 4.3.4 LL(1)预测分析表的构造
 - 4.3.5 LL(1)预测分析程序的工作过程
 - 4.3.6 人工干预构造非LL(1)文法的LL(1)分析表

空字匹配问题

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



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 ε 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 ε 匹配 A ?

➤ 若 $a \in Follow(A)$, 则可以用 ε 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 α_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 α_j 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 α 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	\dots	a_k
A_1					
A_2					
\dots					
A_n					

构造LL(1)分析表 $M[A, a]$

- $G = \{V_N, V_T, \mathcal{P}, S\}$, 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

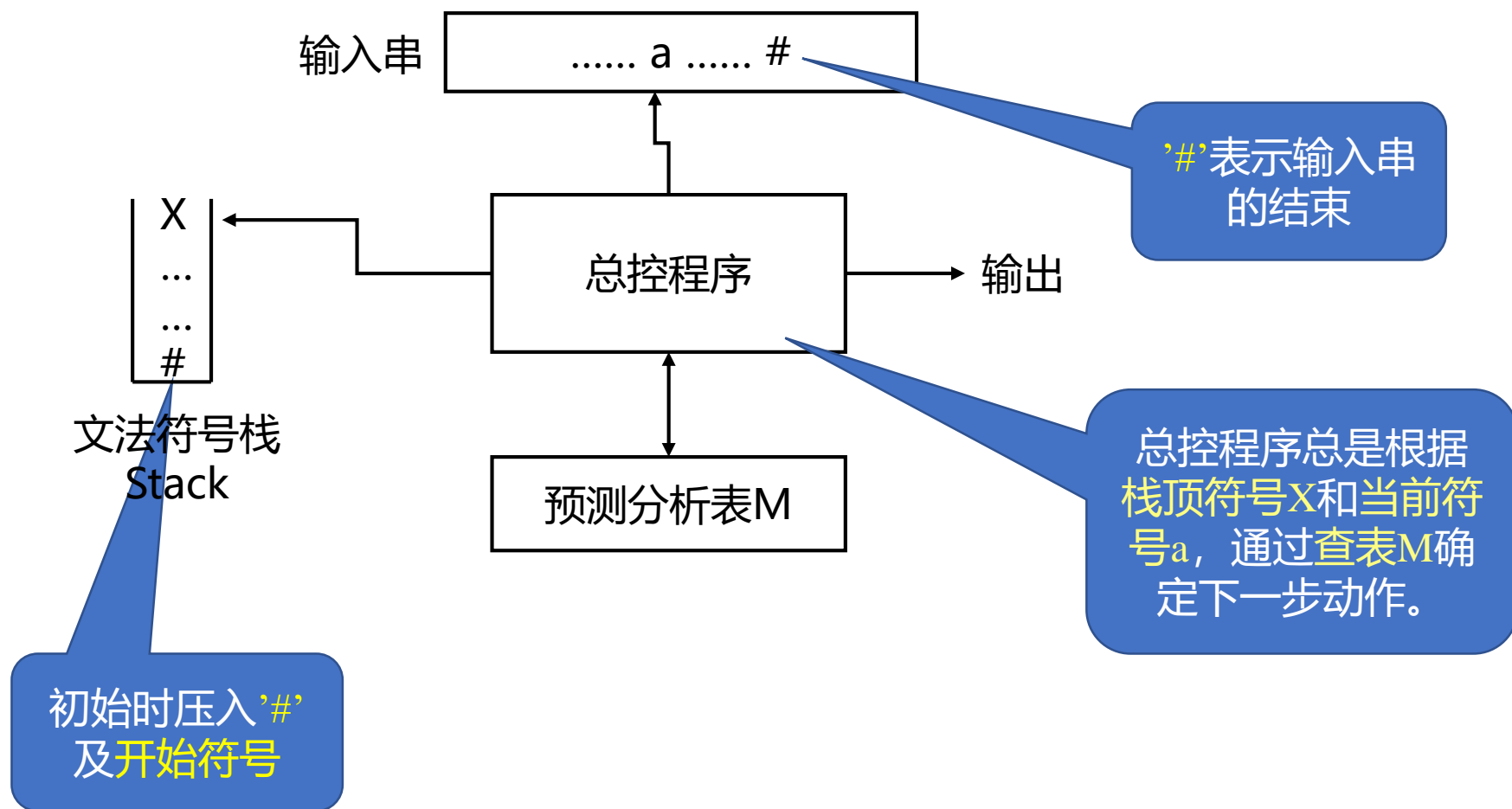
$E \rightarrow TE'$	$First(TE') = \{ (, i \}$		$Follow(E) = \{ \#,) \}$
$E' \rightarrow +TE' \varepsilon$	$First(+TE') = \{ + \}$	$First(\varepsilon) = \{ \varepsilon \}$	$Follow(E') = \{ \#,) \}$
$T \rightarrow FT'$	$First(FT') = \{ (, i \}$		$Follow(T) = \{ +, \#,) \}$
$T' \rightarrow * FT' \varepsilon$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

	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 ε , 则 ε 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】提取文法 $G[S]$ 的左公因子

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

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

$$A \rightarrow \text{else } S \mid \varepsilon$$

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

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

➤ $V_N = \{S, A\}$

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

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> → ε			<i>A</i> → ε

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

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

- 规定else与最接近的if配对，因此发生冲突时， $A \rightarrow else\ S$ 优先于 $A \rightarrow \varepsilon$ 。

➤

$P: S \rightarrow if\ b\ then\ SA \mid s, A \rightarrow else\ S \mid \varepsilon$
- 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>	$S \rightarrow if\ b\ then\ SA$				$S \rightarrow s$	
<i>A</i>			$A \rightarrow else\ S$			$A \rightarrow \varepsilon$

第四章作业

【作业4-1】 令文法为 $G[E]$

$$E \rightarrow TE'$$

$$E' \rightarrow +E \mid \varepsilon$$

$$T \rightarrow FT'$$

$$T' \rightarrow T \mid \varepsilon$$

$$F \rightarrow PF'$$

$$F' \rightarrow * F' \mid \varepsilon$$

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

- (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。
- (3) 给出句子 $id - -id((id))$ 的分析过程。



山东大学
SHANDONG UNIVERSITY

第四章 自上而下的语法分析

The End

谢谢

授 课 教 师 : 郑艳伟
手 机 : 18614002860 (微信同号)
邮 箱 : zhengyw@sdu.edu.cn