



编译原理

第五章 语法分析——自下而上分析

第五章 语法分析——自下而上分析

- 自下而上分析的基本问题
- 算符优先分析算法
- LR 分析法

第五章 语法分析——自下而上分析

- 自下而上分析的基本问题
- 算符优先分析算法
- LR 分析法

算符优先文法

- 一个文法，如果它的任一产生式的右部都不含两个相继（并列）的非终结符，即不含如下形式的产生式右部：

...QR...

则我们称该文法为算符文法。

- 假定 G 是一个不含 ε -产生式的算符文法。对于任何一对终结符 a 、 b ，我们说：
 1. $a \blacklozenge b$ 当且仅当文法 G 中含有形如 $P \rightarrow \dots ab \dots$ 或 $P \rightarrow \dots aQb \dots$ 的产生式；
 2. $a \blacklozenge b$ 当且仅当 G_+ 中含有形如 $P \rightarrow \dots aR \dots$ 的产生式，而 $R \xRightarrow{+} b$ 或 $R \xRightarrow{+} \dots b$ ；
 3. $a \square b$ 当且仅当 G_+ 中含有形如 $P \rightarrow \dots Rb \dots$ 的产生式，而 $R \xRightarrow{+} \dots a$ 或 $R \xRightarrow{+} \dots$ 。

- 如果一个算符文法 G 中的任何终结符对 (a, b) 至多只满足下述三关系之一：

$$a \blacklozenge b, \quad a \blacklozenge b, \quad a \square b$$

则称 G 是一个算符优先文法。

构造优先关系表算法

- 通过检查 G 的每个产生式的每个候选式，可找出所有满足 $a \blacklozenge b$ 的终结符对

1. a b 当且仅当文法 G 中含有形如 $P \rightarrow \dots ab \dots$ 或 $P \rightarrow \dots aQb \dots$ 的产生式

- 确定满足关系 R 和 S 的所有终结符对

2. $a \blacklozenge b$ 当且仅当 G 中含有形如 $P \xrightarrow{+} \dots$
 $aR \dots$ 的产生式, 而 $R \xrightarrow{+} b \dots$ 或 R

3. $Qb \vdash b$ 当且仅当 G 中含有形如 $P \rightarrow \dots$
 $Rb \dots$ 的产生式, 而 $R \vdash \dots$ 或 $R \vdash \dots$

构造优先关系表算法

- 通过检查 G 的每个产生式的每个候选式，可找出所有满足 $a \blacklozenge b$ 的终结符对。
- 确定满足关系 \prec 和 \succ 的所有终结符对：
 - 首先需要对 G 的每个非终结符 P 构造两个集合 $FIRSTVT(P)$ 和 $LASTVT(P)$

$$FIRSTVT(P) = \{a \mid P \Rightarrow^+ a \cdots, \text{或 } P \Rightarrow^+ Qa \cdots, a \in V_T \text{ 而 } Q \in V_N\}$$

$a \blacklozenge b$ 当且仅当 G 中含有形如 $P \rightarrow \cdots$
 $aR \cdots$ 的产生式, $\text{而 } R \xRightarrow{+} b$ 或 R

$Qb \cdots$

构造优先关系表算法

- 通过检查 G 的每个产生式的每个候选式，可找出所有满足 $a \blacklozenge b$ 的终结符对
- 确定满足关系 \prec 和 \succ 的所有终结符对：
 - 首先需要对 G 的每个非终结符 P 构造两个集合 $FIRSTVT(P)$ 和 $LASTVT(P)$

$$LASTVT(P) = \{a \mid P \xRightarrow{+} \cdots a, \text{ 或 } P \xRightarrow{+} \cdots aQ, a \in V_T \text{ 而 } Q \in V_N\}$$

3. $a \sqsubset b$ 当且仅当 G 中含有形如 $P \xrightarrow{+} \cdots R b \cdots$ 的产生式，~~而~~ $R \xrightarrow{+} \cdots a \xrightarrow{+} \cdots$ 或 $R \xrightarrow{+} \cdots aQ \xrightarrow{+} \cdots$

aQ

构造优先关系表算法

- 通过检查 G 的每个产生式的每个候选式，可找出所有满足 $a \blacklozenge b$ 的终结符对。
- 确定满足关系 \prec 和 \succ 的所有终结符对：
 - 首先需要对 G 的每个非终结符 P 构造两个集合 $FIRSTVT(P)$ 和 $LASTVT(P)$ ：

$$FIRSTVT(P) = \{a \mid P \overset{+}{\Rightarrow} a \cdots, \text{ 或 } P \overset{+}{\Rightarrow} Qa \cdots, a \in V_T \text{ 而 } Q \in V_N\}$$

比较 $FIRST(\alpha) = \{a \mid \alpha \overset{*}{\Rightarrow} a \cdots, a \in V_T\}$

$$LASTVT(P) = \{a \mid P \overset{+}{\Rightarrow} \cdots a, \text{ 或 } P \overset{+}{\Rightarrow} \cdots aQ, a \in V_T \text{ 而 } Q \in V_N\}$$

比较 $FOLLOW(A) = \{a \mid S \overset{*}{\Rightarrow} \cdots Aa \cdots, a \in V_T\}$

构造优先关系表算法

- 有了这两个集合之后，就可以通过检查每个产生式的候选式确定满足关系 和 的所有终结符对

- 假定有个产生式的一个候选形为

$\dots aP \dots$

那么，对任何 $b \in \text{FIRSTVT}(P)$ ，有 $a \prec b$

- 假定有个产生式的一个候选形为

$\dots Pb \dots$

那么，对任何 $a \in \text{LASTVT}(P)$ ，有 $a \prec b$

构造集合 FIRSTVT(P) 的算法

$$FIRSTVT(P) = \{a \mid P \overset{+}{\Rightarrow} a\cdots, \text{ 或 } P \overset{+}{\Rightarrow} Qa\cdots, a \in V_T \text{ 而 } Q \in V_N\}$$

■ 反复使用下面两条规则构造集合 FIRSTVT(P)

1. 若有产生式 $P \rightarrow a\cdots$ 或 $P \rightarrow Qa\cdots$ ，则 $a \in FIRSTVT(P)$
2. 若 $a \in FIRSTVT(Q)$ ，且有产生式 $P \rightarrow Q\cdots$ ，

将对推导的遍历转换成对产生式的反复遍历

构造集合 FIRSTVT(P) 的算法

■ 数据结构

□ 布尔数组 $F[P, a]$ ，使得 $F[P, a]$ 为真的条件是，当且仅当 $a \in \text{FIRSTVT}(P)$ 。开始时，按上述的规则 (1) 对每个数组元素 $F[P, a]$ 赋初值。

□ 栈 STACK，把所有初值为真的数组元素 $F[P, a]$ 的符号 (P, a) 都放在 STACK 之中

1. 若有产生式 $P \rightarrow a \cdots$ 或 $P \rightarrow Qa \cdots$ ，则 $a \in \text{FIRSTVT}(P)$

2. 若 $a \in \text{FIRSTVT}(Q)$ ，且有产生式 $P \rightarrow Q \cdots$ ，则 $a \in \text{FIRSTVT}(P)$

构造集合 FIRSTVT(P) 的算法

■ 运算

- 如果栈 STACK 不空，就将顶项逐出，记此项为 (Q, a) 。对于每个形如

$$P \rightarrow Q \dots$$

的产生式，若 $F[P, a]$ 为假，则变其值为真且将 (P, a) 推进 STACK 栈

- 上述过程必须一直重复，直至栈 STACK 拆空为止

1. 若有产生式 $P \rightarrow a \dots$ 或 $P \rightarrow Qa \dots$ ，则
 $a \in \text{FIRSTVT}(P)$

2. 若 $a \in \text{FIRSTVT}(Q)$ ，且有产生式 $P \rightarrow Q \dots$ ，则
 $a \in \text{FIRSTVT}(P)$

构造集合 FIRSTVT(P) 的算法

■ 程序

```
PROCEDURE INSERT(P , a) ;  
IF NOT F[P , a] THEN  
BEGIN  
    F[P , a]:=TRUE ;  
    把 (P , a) 下推进 STACK 栈  
END ;
```

主程序：
BEGIN

1. 若有产生式 $P \rightarrow a \cdots$ 或 $P \rightarrow Qa \cdots$ ，则 $a \in \text{FIRSTVT}(P)$
2. 若 $a \in \text{FIRSTVT}(Q)$ ，且有产生式 $P \rightarrow Q \cdots$ ，则 $a \in \text{FIRSTVT}(P)$

FOR 每个非终结符 P 和终结符 a DO

$F[P, a] := \text{FALSE}$;

FOR 每个形如 $P \rightarrow a \cdots$ 或 $P \rightarrow Qa \cdots$ 的产生式 DO

$\text{INSERT}(P, a)$;

WHILE STACK 非空 DO

 BEGIN

 把 STACK 的顶项，记为 (Q, a) ，上托出去；

 FOR 每条形如 $P \rightarrow Q \cdots$ 的产生式 DO

$\text{INSERT}(P, a)$;

 END OF WHILE ;

构造集合 FIRSTVT(P) 的算法

- 这个算法的工作结果得到一个二维数组 F ，从它可得任何非终结符 P 的 FIRSTVT。

$$\text{FIRSTVT}(P) = \{a \mid F[P, a] = \text{TRUE}\}$$

- 同理，可构造计算 LASTVT 的算法。

构造集合 LASTVT(P) 的算法

$$LASTVT(P) = \{a \mid P \overset{+}{\Rightarrow} \cdots a, \text{ 或 } P \overset{+}{\Rightarrow} \cdots aQ, a \in V_T \text{ 而 } Q \in V_N\}$$

■ 反复使用下面两条规则构造集合 LASTVT(P)

1. 若有产生式 $P \rightarrow \cdots a$ 或 $P \rightarrow \cdots aQ$ ，则 $a \in LASTVT(P)$ ；
2. 若 $a \in LASTVT(Q)$ ，且有产生式 $P \rightarrow \cdots Q$ ，则 $a \in LASTVT(P)$ 。

■ 例：考虑下面的文法 $G(E)$ ：

$$(1) E \rightarrow E + T \mid T$$

$$(2) T \rightarrow T * F \mid F$$

$$(3) F \rightarrow P \uparrow F \mid P$$

$$(4) P \rightarrow (E) \mid i$$

计算文法 G 的 FIRSTVT 和 LASTVT.

1. 若有产生式 $P \rightarrow \dots a$ 或 $P \rightarrow \dots aQ$ ，则 $a \in \text{LASTVT}(P)$ ；

2. 若 $a \in \text{LASTVT}(Q)$ ，且有产生式 $P \rightarrow \dots Q$ ，则 $a \in \text{LASTVT}(P)$ 。

	+	*	↑	()	i
E	✓	✓	✓	✓		✓
T		✓	✓	✓		✓
F			✓	✓		✓
P				✓		✓

	+	*	↑	()	i
E	✓	✓	✓		✓	✓
T		✓	✓		✓	✓
F			✓		✓	✓
P					✓	✓

$$FIRSTVT(T) = \{*, \uparrow, (, i\}$$

$$FIRSTVT(F) = \{\uparrow, (, i\}$$

$$FIRSTVT(E) = \{+, *, \uparrow, (, i\}$$

$$FIRSTVT(P) = \{(, i\}$$

$$LASTVT(T) = \{*, \uparrow,), i\}$$

$$LASTVT(F) = \{\uparrow,), i\}$$

$$LASTVT(E) = \{+, *, \uparrow,), i\}$$

$$LASTVT(P) = \{), i\}$$

构造优先关系表算法

- 使用每个非终结符 P 的 $FIRSTVT(P)$ 和 $LASTVT(P)$ ，就能够构造文法 G 的优先表

如果考虑 # ,
则考虑句型 #S#

构造优先关系表算法

- 通过检查 G 的每个产生式的每个候选式，可找出所有满足 $a \prec b$ 的终结符对
- 通过检查每个产生式的候选式确定满足关系 \prec 和 \succ 的所有终结符对

□ 假定有个产生式的一个候选形为

$\dots aP \dots$

那么，对任何 $b \in \text{FIRSTVT}(P)$ ，有 $a \prec b$

□ 假定有个产生式的一个候选形为

$\dots Pb \dots$

那么，对任何 $a \in \text{LASTVT}(P)$ ，有 $a \succ b$

FOR 每条产生式 $P \rightarrow X_1 X_2 \cdots X_n$ DO

FOR $i:=1$ TO $n-1$ DO

BEGIN

IF X_i 和 X_{i+1} 均为终结符 THEN 置 $X_i \blacklozenge X_{i+1}$

IF $i \leq n-2$ 且 X_i 和 X_{i+2} 都为终结符

但 X_{i+1} 为非终结符 THEN 置 $X_i \blacklozenge X_{i+2}$

;

IF X_i 为终结符而 X_{i+1} 为非终结符 THEN

FOR FIRSTVT(X_{i+1}) 中的每个 a DO

置 $X_i \blacklozenge a$;

IF X_i 为非终结符而 X_{i+1} 为终结符 THEN

FOR LASTVT(X_i) 中的每个 a DO

置 $a \sqsubseteq X$

■ 例：考虑下面的文法 $G(E)$ ：

(1) $E \rightarrow E+T \mid T$

(2) $T \rightarrow T * F \mid F$

(3) $F \rightarrow P \uparrow F \mid P$

(4) $P \rightarrow (E) \mid i$

1. 计算文法 G 的 FIRSTVT 和 LASTVT;

1. 若有产生式 $P \rightarrow \dots a$ 或 $P \rightarrow \dots aQ$ ，则 $a \in \text{LASTVT}(P)$ ；

2. 若 $a \in \text{LASTVT}(Q)$ ，且有产生式 $P \rightarrow \dots Q$ ，则 $a \in \text{LASTVT}(P)$ 。

	+	*	↑	()	i
E	✓	✓	✓	✓		✓
T		✓	✓	✓		✓
F			✓	✓		✓
P				✓		✓

	+	*	↑	()	i
E	✓	✓	✓		✓	✓
T		✓	✓		✓	✓
F			✓		✓	✓
P					✓	✓

$$FIRSTVT(T) = \{*, \uparrow, (, i\}$$

$$FIRSTVT(F) = \{\uparrow, (, i\}$$

$$FIRSTVT(E) = \{+, *, \uparrow, (, i\}$$

$$FIRSTVT(P) = \{(, i\}$$

$$LASTVT(T) = \{*, \uparrow,), i\}$$

$$LASTVT(F) = \{\uparrow,), i\}$$

$$LASTVT(E) = \{+, *, \uparrow,), i\}$$

$$LASTVT(P) = \{), i\}$$

G 的算符优先关系表

	+	*	↑	()	i
+	□	◆	◆	◆	□	◆
*	□	□	◆	◆	□	◆
↑	□	□	◆	◆	□	◆
(◆	◆	◆	◆	◆	◆
)	□	□	□		□	
i	□	□	□		□	

👉 结论：G 是算符优先文法

小结

- 计算 FIRSTVT 和 LASTVT(P) 集合
- 构造算符优先关系表