



## 第二章 文法和语言的概念和表示

- 2.1 预备知识 - 形式语言基础
- 2.2 文法和语言的定义
- 2.3 几个重要概念
- 2.4 文法的表示：扩充的BNF范式和语法图
- 2.5 文法和语言的分类



## 2.1 预备知识

### 一、字母表和符号串

字母表：符号的非空有限集      例： $\Sigma = \{a, b, c\}$

符号：字母表中的元素      例：a, b, c

符号串：符号的有穷序列      例：a, aa, ac, abc, ..

空符号串：无任何符号的符号串( $\varepsilon$ )

### 符号串的形式定义

有字母表 $\Sigma$ ，定义：

- (1)  $\varepsilon$  是 $\Sigma$ 上的符号串；
- (2) 若 $x$ 是 $\Sigma$ 上的符号串，且 $a \in \Sigma$ ，则 $ax$ 或 $xa$ 是 $\Sigma$ 上的符号串；
- (3)  $y$ 是 $\Sigma$ 上的符号串，iff（当且仅当） $y$ 可由（1）和（2）产生。

符号串集合：由符号串构成的集合。



## 二、符号串和符号串集合的运算

1. **符号串相等**: 若 $x$ 、 $y$ 是集合上的两个符号串, 则 $x = y$  iff (当且仅当) 组成 $x$ 的每一个符号和组成 $y$ 的**每一个**符号依次相等。

2. **符号串的长度**:  $x$ 为符号串, 其长度 $|x|$ 等于组成该符号串的符号个数。

例:  $x = \text{STV}$  ,  $|x|=3$ 。

**3. 符号串的联接：**若 $x$ 、 $y$ 是定义在 $\Sigma$ 上的符号串，且 $x = XY$ ， $y = YX$ ，则  $x$  和  $y$  的联接  $xy = XYYX$ 也是 $\Sigma$ 上的符号串。

注意：一般 $xy \neq yx$ ，而 $\varepsilon x = x\varepsilon$

**4. 符号串集合的乘积运算：**令 $A$ 、 $B$ 为符号串集合，定义

$$AB = \{ xy \mid x \in A, y \in B \}$$

例：  $A = \{a,b\}$ ,  $B = \{c,d\}$ ,  $AB = ?$       $\{ac, ad, bc, bd\}$

因为 $\varepsilon x = x\varepsilon = x$ ，所以  $\{\varepsilon\}A = A$   $\{\varepsilon\} = A$



## 5. 符号串集合的幂运算：有符号串集合A，定义

$$A^0 = \{\varepsilon\}, \quad A^1 = A, \quad A^2 = AA, \quad A^3 = AAA, \dots\dots$$

$$\dots\dots A^n = A^{n-1}A = AA^{n-1}, \quad n > 0$$

## 6. 符号串集合的闭包运算：设A是符号串集合，定义

$$A^+ = A^1 \cup A^2 \cup A^3 \cup \dots\dots \cup A^n \cup \dots\dots$$

称为集合A的**正闭包**。

$$A^* = A^0 \cup A^+$$

称为集合A的**闭包**。

例：  $A = \{x, y\}$

$$A^+ = \{ \underbrace{x, y}_{A^1}, \underbrace{xx, xy, yx, yy}_{A^2}, \underbrace{xxx, xxy, xyx, xyy}_{A^3}, \dots\dots \}$$

$$A^* = \{ \underbrace{\varepsilon}_{A^0}, \underbrace{x, y}_{A^1}, \underbrace{xx, xy, yx, yy}_{A^2}, \underbrace{xxx, xxy, xyx, xyy}_{A^3}, \dots\dots \}$$

## ★ 为什么对符号、符号串、符号串集合以及它们的运算感兴趣?

若A为某语言的基本字符集

$$A = \{a, b, \dots, z, 0, 1, \dots, 9, +, -, \times, \_/, (, ), =, \dots\}$$

B为单词集

$$B = \{\text{begin, end, if, then, else, for, } \dots, \langle \text{标识符} \rangle, \langle \text{常量} \rangle, \dots\}$$

则  $B \subset A^*$ 。

语言的句子是定义在B上的符号串。

若令C为句子集合，则  $C \subset B^*$ ，程序  $\subset C$ 。

## 2.2文法的非形式讨论

1.什么是**文法**：文法是对语言结构的定义与描述。即从形式上用于描述和规定语言结构的称为“文法”（或称为“语法”）。

例：有一句子：“我是大学生”。这是一个在语法、语义上都正确的句子，该句子的结构（称为语法结构）是由它的语法决定的。在本例中它为“主谓结构”。

如何定义句子的合法性？

- 有穷语言
- 无穷语言

**2. 语法规则：**我们通过建立一组规则，来描述句子的语法**结构**。  
规定用 “::=”表示 “由.....组成”。

<句子>::=<主语><谓语>

<主语>::=<代词>|<名词>

<代词> ::=你|我|他

<名词>::= 王民|大学生|工人|英语

<谓语>::=<动词><直接宾语>

<动词>::=是|学习

<直接宾语>::=<代词>|<名词>



3. **由规则推导句子**：有了一组规则之后，可以按照一定的方式用它们去推导或产生句子。

推导方法：从一个要识别的符号开始推导，即用相应规则的**右部**来替代规则的**左部**，每次仅用一条规则去进行推导。

$\langle \text{句子} \rangle \Rightarrow \langle \text{主语} \rangle \langle \text{谓语} \rangle$

$\langle \text{主语} \rangle \langle \text{谓语} \rangle \Rightarrow \langle \text{代词} \rangle \langle \text{谓语} \rangle$

.....

这种推导一直进行下去，直到所有带 $\langle \rangle$ 的符号都由终结符号替代为止。

**推导方法：**从一个要识别的符号开始推导，即用相应规则的**右部**来替代规则的**左部**，每次仅用一条规则去进行推导。

<句子> => <主语><谓语>  
=> <代词><谓语>  
=> 我<谓语>  
=> 我<动词><直接宾语>  
=> 我是<直接宾语>  
=> 我是<名词>  
=> 我是大学生

<句子>::=<主语><谓语>  
<主语>::=<代词>|<名词>  
<代词>::=你|我|他  
<名词>::=王民|大学生|工人|英语  
<谓语>::=<动词><直接宾语>  
<动词>::=是|学习  
<直接宾语>::=<代词>|<名词>



例：有一英语句子：The big elephant ate the peanut.

<句子>::=<主语><谓语>

<主语>::=<冠词><形容词><名词>

<冠词>::=the

<形容词>::=big

<名词>::=elephant

<谓语>::=<动词><宾语>

<动词>::=ate

<宾语>::=<冠词><名词>

<名词>::=peanut



<句子> => <主语><谓语>

=> <冠词><形容词><名词><谓语>

=> the <形容词><名词><谓语>

=> the big <名词><谓语>

=> the big elephant <谓语>

=> the big elephant <动词><宾语>

=> the big elephant ate <宾语>

=> the big elephant ate <冠词><名词>

=> the big elephant ate the <名词>

=> the big elephant ate the peanut

<句子>::=<主语><谓语>

<主语>::=<冠词><形容词><名词>

<冠词>::=the

<形容词>::=big

<名词>::=elephant | peanut

<谓语>::=<动词><宾语>

<动词>::=ate

<宾语>::=<冠词><名词>

最左推导!



<句子> => <主语> <谓语>

=> <主语> <动词> <宾语>

=> <主语> <动词> <冠词> <名词>

=> <主语> <动词> <冠词> peanut

=> <主语> <动词> the peanut

=> <主语> ate the peanut

=> <冠词> <形容词> <名词> ate the peanut

=> <冠词> <形容词> elephant ate the peanut

=> <冠词> big elephant ate the peanut

=> the big elephant ate the peanut

<句子>::=<主语><谓语>

<主语>::=<冠词><形容词><名词>

<冠词>::=the

<形容词>::=big

<名词>::=elephant | peanut

<谓语>::=<动词><宾语>

<动词>::=ate

<宾语>::=<冠词><名词>

最右推导!

上述推导可写成<句子>  $\xRightarrow{+}$  the big elephant ate the peanut

说明:

(1) 有若干语法成分同时存在时, 我们总是从最左的语法成分进行推导, 这称之为**最左推导**。类似地还有**最右推导** (一般推导)。

(2) 除了最左和最右推导, 还可能存在其它形式的推导。

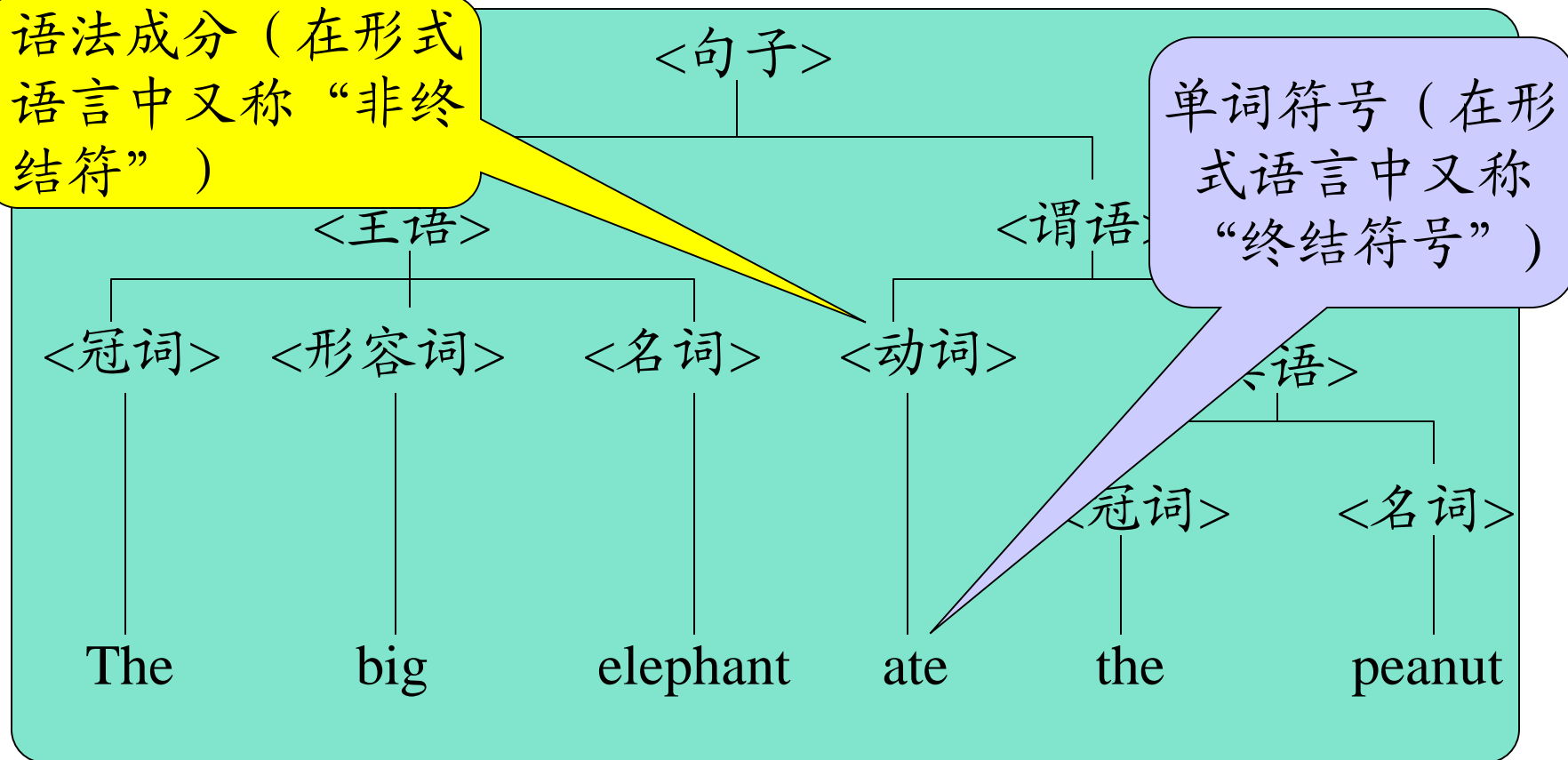
(3) 从一组规则可推出不同的句子, 如以上规则还可推出“大象吃象”、“大花生吃象”、“大花生吃花生”等句子, 它们在语法上都正确, 但在语义上都不正确。

所谓**文法**是在**形式上**对句子结构的定义与描述, 而未涉及**语义**问题。

#### 4. 语法树：我们用语法树来描述一个句子的语法结构。

语法成分（在形式语言中又称“非终结符”）

单词符号（在形式语言中又称“终结符号”）





## 2.3 文法和语言的形式定义

### 2.3.1 文法的定义

$V = V_n \cup V_t$   
称为文法的字汇表

定义1. 文法  $G = (V_n, V_t, P, Z)$

$V_n$ : 非终结符号集

$V_t$ : 终结符号集

$P$ : 产生式或规则的集合

$Z$ : 开始符号 (识别符号)  $Z \in V_n$

规则:  $U ::= x$   
 $U \in V_n, x \in V^*$

补: 规则的定义

规则是一个有序对  $(U, x)$ , 通常写为:  $U ::= x$  或  $U \rightarrow x$

$|U| = 1 \quad |x| \geq 0$



例：无符号整数的文法：

$$G[\text{<无符号整数>}] = (V_n, V_t, P, Z)$$
$$V_n = \{\text{<无符号整数>, <数字串>, <数字>}\}$$
$$V_t = \{0, 1, 2, 3, \dots, 9\}$$
$$P = \{\text{<无符号整数>} \rightarrow \text{<数字串>}$$
$$\text{<数字串>} \rightarrow \text{<数字串> <数字>}$$
$$\text{<数字串>} \rightarrow \text{<数字>}$$
$$\text{<数字>} \rightarrow 0$$
$$\text{<数字>} \rightarrow 1$$

.....

$$\text{<数字>} \rightarrow 9 \}$$
$$Z = \text{<无符号整数>}$$

## ★ 几点说明:

产生式左边符号构成集合 $V_n$ , 且  $Z \in V_n$

有些产生式具有相同的左部, 可以合在一起。

文法的BNF表示

例、 $\langle \text{无符号整数} \rangle \rightarrow \langle \text{数字串} \rangle$

$\langle \text{数字串} \rangle \rightarrow \langle \text{数字串} \rangle \langle \text{数字} \rangle \mid \langle \text{数字} \rangle$

$\langle \text{数字} \rangle \rightarrow 0 \mid 1 \mid 2 \mid 3 \mid \dots \mid 9$

给定一个文法, 实际只需给出产生式集合, 并指定识别符号。  
(识别符号一般约定为第一条规则的左部符号)

例、 $G[\langle \text{无符号整数} \rangle]$

$\langle \text{无符号整数} \rangle \rightarrow \langle \text{数字串} \rangle$

$\langle \text{数字串} \rangle \rightarrow \langle \text{数字串} \rangle \langle \text{数字} \rangle \mid \langle \text{数字} \rangle$

$\langle \text{数字} \rangle \rightarrow 0 \mid 1 \mid 2 \mid 3 \mid \dots \mid 9$



## 2.3.2 推导的形式定义

定义2: 文法 $G$ :  $v = x U y$ ,  $w = x u y$ ,

其中 $x, y \in V^*$ ,  $U \in V_n$ ,  $u \in V^*$ ,

若 $U ::= u \in P$ , 则 $v \xRightarrow{G} w$ 。

若 $x = y = \varepsilon$ , 有 $U ::= u$ , 则 $U \xRightarrow{G} u$

例如:  $G[\text{<无符号整数>}]$

(1)  $\text{<无符号整数>} \rightarrow \text{<数字串>}$

(2)  $\text{<数字串>} \rightarrow \text{<数字串> <数字>}$

(3)  $\text{<数字串>} \rightarrow \text{<数字>}$

(4)  $\text{<数字>} \rightarrow 0$

(5)  $\text{<数字>} \rightarrow 1$

.....

(13)  $\text{<数字>} \rightarrow 9$



例如:  $G[\langle \text{无符号整数} \rangle]$

(1)  $\langle \text{无符号整数} \rangle \rightarrow \langle \text{数字串} \rangle$

(2)  $\langle \text{数字串} \rangle \rightarrow \langle \text{数字串} \rangle \langle \text{数字} \rangle$

(3)  $\langle \text{数字串} \rangle \rightarrow \langle \text{数字} \rangle$

(4)  $\langle \text{数字} \rangle \rightarrow 0$

(5)  $\langle \text{数字} \rangle \rightarrow 1$

.....

(13)  $\langle \text{数字} \rangle \rightarrow 9$

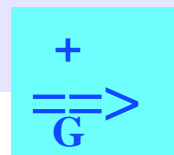
$\langle \text{无符号整数} \rangle \xRightarrow{(1)} \langle \text{数字串} \rangle \xRightarrow{(2)} \langle \text{数字串} \rangle \langle \text{数字} \rangle$   
 $\xRightarrow{(3)} \langle \text{数字} \rangle \langle \text{数字} \rangle \xRightarrow{(4)} 1 \langle \text{数字} \rangle$   
 $\xRightarrow{(5)} 10$

当符号串已没有非终结符号时, 推导就必须终止。因为终结符不可能出现在规则左部, 所以将在规则左部出现的符号称为非终结符号。

定义3: 文法 $G$ ,  $U_0, U_1, U_2, \dots, U_n \in V^+$

if  $\mathbf{v} \xRightarrow[G]{+} U_0 \xRightarrow[G]{+} U_1 \xRightarrow[G]{+} U_2 \xRightarrow[G]{+} \dots \xRightarrow[G]{+} U_n \xRightarrow[G]{+} \mathbf{w} \quad (n > 0)$

则  $\mathbf{v} \xRightarrow[G]{+} \mathbf{w}$



例:  $\langle \text{无符号整数} \rangle \xRightarrow[G]{+} \langle \text{数字串} \rangle \xRightarrow[G]{+} \langle \text{数字串} \rangle \langle \text{数字} \rangle$

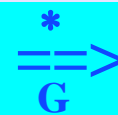
$\xRightarrow[G]{+} \langle \text{数字} \rangle \langle \text{数字} \rangle \xRightarrow[G]{+} 1 \langle \text{数字} \rangle$

$\xRightarrow[G]{+} 10$

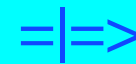
即  $\langle \text{无符号整数} \rangle \xRightarrow[G]{+} 10$

定义4: 文法 $G$ ,  $v, w \in V^+$

if  $v \xRightarrow{+}_G w$ , 或  $v = w$ , 则  $v \xRightarrow{*}_G w$ 。



定义5: 规范推导: 有  $xUy \Rightarrow xuy$ , if  $y \in V_t^*$ , 则此推导为规范的, 记为  $xUy \Rightarrow xuy$ 。



直观意义: 规范推导 = 最右推导

最右推导: 若符号串中有两个以上的非终结符时, 先推右边的。

最左推导: 若符号串中有两个以上的非终结符时, 先推左边的。

若有  $v \Rightarrow U_0 \Rightarrow U_1 \Rightarrow U_2 \Rightarrow \dots \Rightarrow U_n \Rightarrow w$ , 则  $v \xRightarrow{+}_G w$ 。

### 2.3.3 语言的形式定义

定义6: 文法 $G[Z]$

- (1) **句型**:  $x$ 是句型  $\Leftrightarrow Z \xRightarrow{*} x$ , 且 $x \in V^*$ ;
- (2) **句子**:  $x$ 是句子  $\Leftrightarrow Z \xRightarrow{+} x$ , 且 $x \in V_t^*$ ;
- (3) **语言**:  $L(G[Z]) = \{x \mid x \in V_t^*, Z \xRightarrow{+} x\}$ ;

文法 $G[Z]$ 所产生的  
所有句子的集合

形式语言理论可以证明以下两点:

- (1)  $G \rightarrow L(G)$ ;
- (2)  $L(G) \rightarrow G_1, G_2, \dots, G_n$ ;

已知文法, 求语言, 通过推导;

已知语言, 构造文法, 无形式化方法, 更多是凭经验。

例:  $\{ab^n a \mid n \geq 1\}$ , 构造其文法

$G_1[Z]: Z \rightarrow aBa$   
 $B \rightarrow b | \textcolor{red}{bB}$

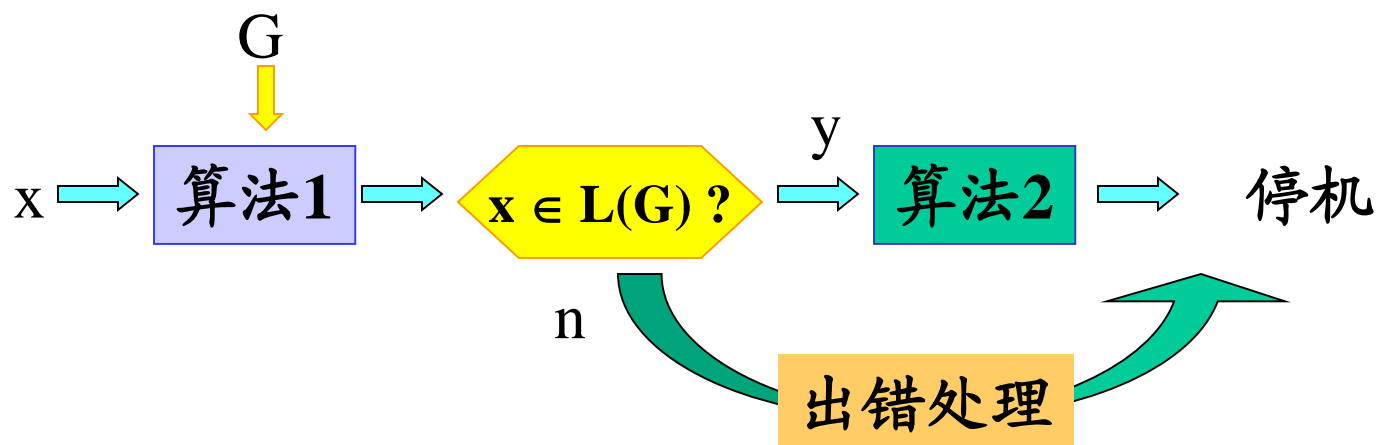
$G_2[Z]: Z \rightarrow aBa$   
 $B \rightarrow b | \textcolor{blue}{Bb}$

定义7.  $G$ 和 $G'$ 是两个不同的文法, 若  $L(G) = L(G')$ ,  
则 $G$ 和 $G'$ 为等价文法。



## 编译感兴趣的问题是:

- 给定 $x$ ,  $G$ , 求 $x \in L(G)$  ?



## 2.3.4 递归文法

1. **递归规则**: 规则右部有与左部相同的符号

对于  $U ::= xUy$

若  $x = \varepsilon$ , 即  $U ::= Uy$ , 左递归;

若  $y = \varepsilon$ , 即  $U ::= xU$ , 右递归。

2. **递归文法**: 文法  $G$ , 存在  $U \in V_n$

if  $U \Rightarrow^+ \dots U \dots$ , 则  $G$  为递归文法(自嵌入递归);

if  $U \Rightarrow^+ U \dots$ , 则  $G$  为左递归文法;

if  $U \Rightarrow^+ \dots U$ , 则  $G$  为右递归文法。

会造成死循环（后面将详细论述）

3. **左递归文法的缺点**：不能用自顶向下的方法来进行语法分析

4. 递归文法的**优点**：可用有穷条规则，定义无穷语言

例：对于前面给出的无符号整数的文法是有递归文法，用13条规则就可以定义出所有的无符号整数。若不用递归文法，那将要用多少条规则呢？



## 2.3.5 句型的短语、简单短语和句柄

定义8. 给定文法 $G[Z]$ ,  $w ::= xuy \in V^+$ , 为该文法的句型,  
若  $Z \xRightarrow{*} xUy$ , 且  $U \xRightarrow{+} u$ , 则  $u$  是句型  $w$  相对于  $U$  的短语;  
若  $Z \xRightarrow{*} xUy$ , 且  $U \xRightarrow{=} u$ , 则  $u$  是句型  $w$  相对于  $U$  的简单短语。  
其中  $U \in V_n$ ,  $u \in V^+$ ,  $x, y \in V^*$

直观理解：短语是前面句型中的某个非终结符所能推出的符号串。

定义9. 任一句型的最左简单短语称为该句型的句柄。

给定句型找句柄的步骤:

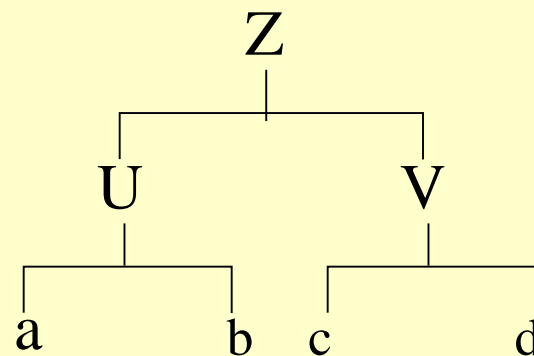
短语  $\longrightarrow$  简单短语  $\longrightarrow$  句柄



**注意:** 短语、简单短语是相对于句型而言。一个句型可能有多个短语、简单短语，但句柄只能有一个。

## 2.4 语法树与二义性文法

### 2.4.1 推导与语法树



(1) 语法树：句子结构的图示表示法，它是一种有向图，由结点和有向边组成。

**结点：** 符号

根结点： 识别符号

中间结点： 非终结符

叶结点： 终结符或非终结符

**有向边：** 表示结点间的派生关系。

## (2) 句型的推导及语法树的生成（自顶向下）

给定  $G[Z]$ ，句型  $w$ ：

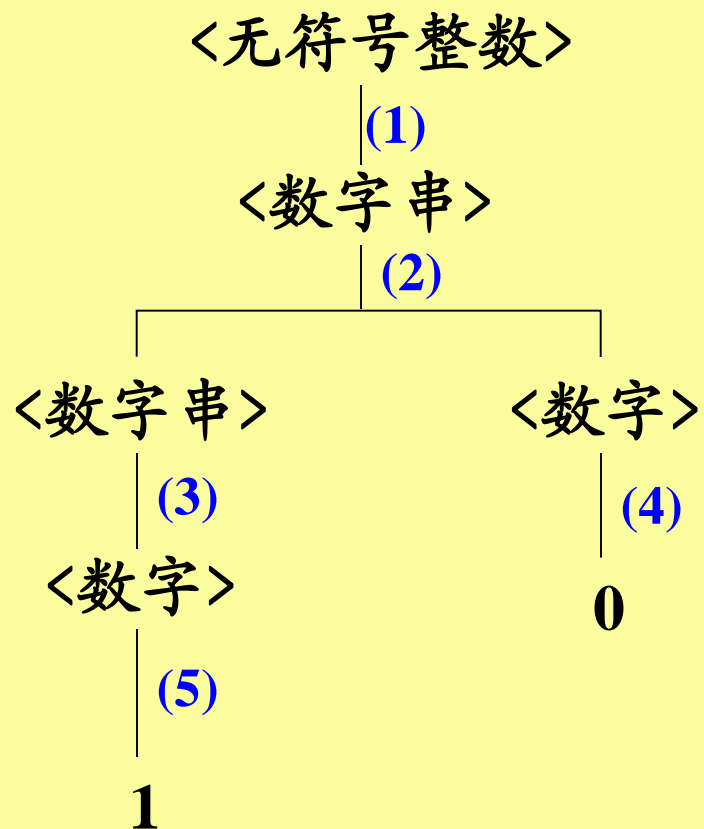
可建立 **推导序列**， $Z \xRightarrow{*}_G w$

可建立 **语法树**，以  $Z$  为树根结点，每步推导生成语法树的一枝，最终可生成句型的语法树。



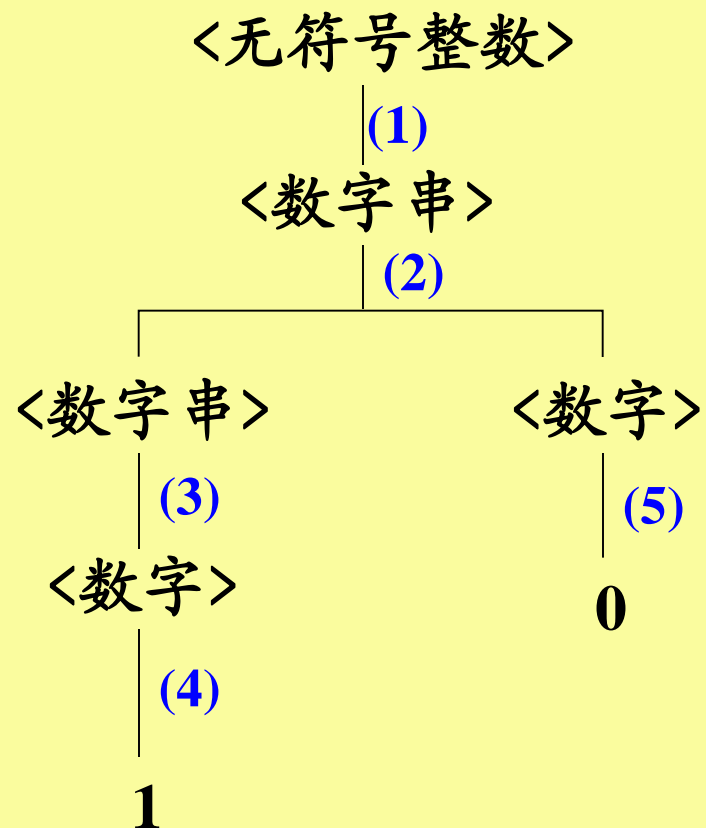
**注意一个重要事实**：文法所能产生的句子，可以用不同的推导原则（使用产生式顺序不同）将其推导出来。语法树的生成规律不同，但最终生成的语法树形状完全相同。某些文法有此性质，而某些文法不具有此性质。

## 一般推导:

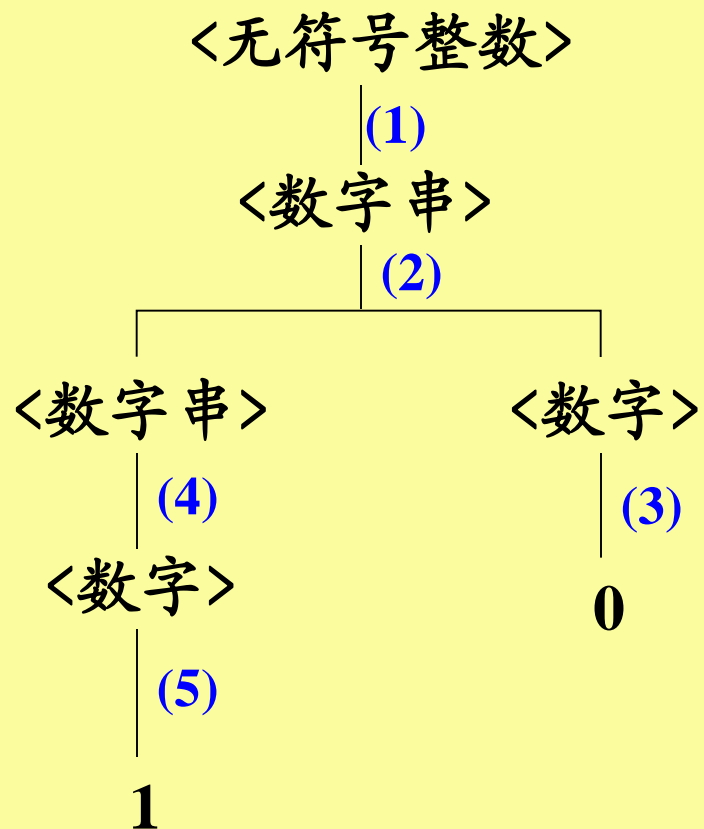




## 最左推导:



最右推导:



### (3) 子树与短语

子树：语法树中的某个结点（子树的根）连同它向下派生的部分所组成。

**定理** 某子树的末端结点按**自左向右**顺序为句型中的符号串，则该符号串为该句型的**相对于该子树根**的短语。

只需画出句型的语法树，然后根据子树找短语→简单短语→句柄。

## (4) 树与推导

句型推导过程 $\Leftrightarrow$ 句型语法树的生长过程

### 1 由推导构造语法树

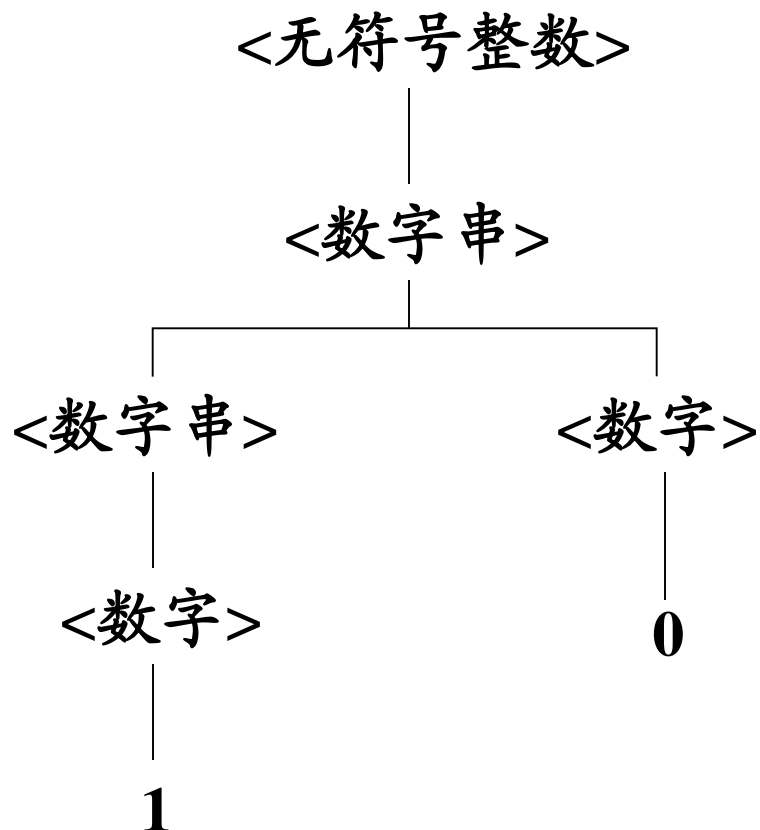
从识别符号开始，自右向左建立推导序列。



由根结点开始，自上而下建立语法树。

例:  $G[\langle \text{无符号整数} \rangle]$

句型10



规范推导

$\langle \text{无符号整数} \rangle \Rightarrow \langle \text{数字串} \rangle$   
 $\Rightarrow \langle \text{数字串} \rangle \langle \text{数字} \rangle$   
 $\Rightarrow \langle \text{数字串} \rangle 0$   
 $\Rightarrow \langle \text{数字} \rangle 0$   
 $\Rightarrow 10$

## 2 由语法树构造推导

自下而上地修剪子树的末端结点，直至把整棵树剪掉（留根），每剪一次对应一次规约。



从句型开始，自左向右地逐步进行规约，建立推导序列。

定义12. 对句型中最左简单短语（句柄）进行的规约称为规范规约。

## 规范规约与规范推导互为逆过程

<无符号整数>

<无符号整数>

$\Rightarrow$  <数字串>

$\Rightarrow$  <数字串> <数字>

$\Rightarrow$  <数字串> 0

$\Rightarrow$  <数字> 0

$\Rightarrow$  10

定义13.通过规范推导或规范规约所得到的句型称为规范句型。

<数字><数字>



不是规范推导!



## 2.4.2 文法的二义性

定义14.1 若对于一个文法的某一句子存在两棵不同的**语法树**，则该文法是**二义性文法**，否则是无二义性文法。

换言之，无二义性文法的句子**只有一棵语法树**，尽管推导过程可以不同。

下面举一个二义性文法的例子：

$G[E]: \quad E := E + E \mid E * E \mid (E) \mid i$

$V_n = \{E\}$

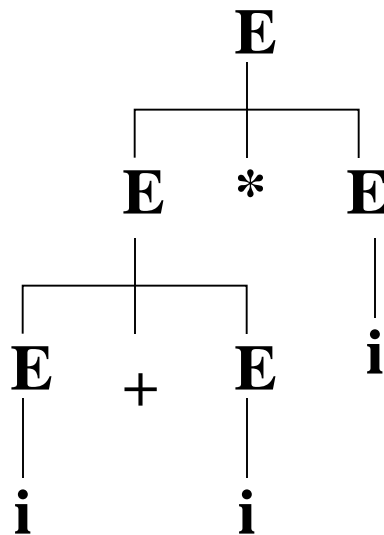
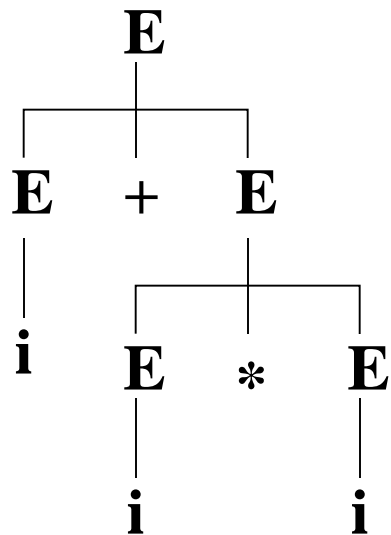
$V_t = \{ +, *, (, ), i \}$

对于句子  $S = i + i * i \in L(G[E])$ , 存在不同的规范推导:

(1)  $E \Rightarrow E + E \Rightarrow E + E * E \Rightarrow E + E * i \Rightarrow E + i * i \Rightarrow i + i * i$

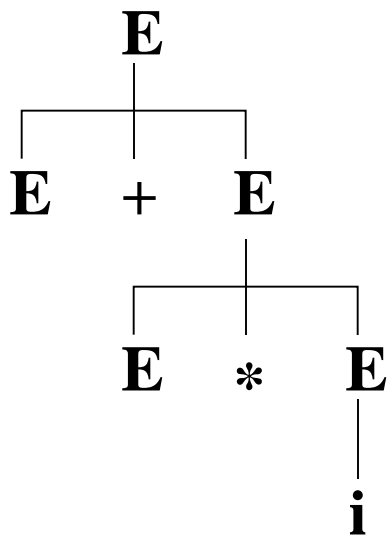
(2)  $E \Rightarrow E * E \Rightarrow E * i \Rightarrow E + E * i \Rightarrow E + i * i \Rightarrow i + i * i$

这两种不同的推导对应了两种不同的语法树

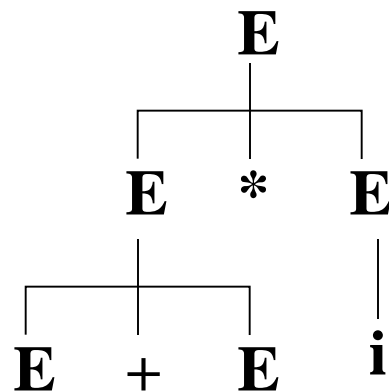


定义14.2 若一个文法的某句子存在两个不同的**规范推导**，则该文法是**二义性**的，否则是无二义性的。

以上是**自顶向下**来看文法的二义性，我们还可以**自底向上**来看文法的二义性。上例中，规范句型 **$E+E*i$** 是由 **$i+i*i$** 通过两步规范规约得到的，但对于同一个句型 **$E+E*i$** ，它有两个不同的**句柄**（对应上述两棵不同的语法树）： **$i$** 和 **$E+E$** 。因此语法的二义性意味着句型的句柄不唯一。



句柄:  $i$



句柄:  $E + E$

定义14.3 若一个文法的某规范句型的句柄不唯一，则该文法是二义性的，否则是无二义性的。

若文法是二义性的，则在编译时就会产生不确定性。遗憾的是在理论上已经证明：**文法的二义性是不可判定的**，即不可能构造出一个算法，通过有限步骤来判定任一文法是否有二义性。

现在的解决办法是：提出一些**限制条件**，称为无二义性的充分条件。当文法满足这些条件时，就可以判定文法是无二义性的。

由于无二义性文法比较简单，我们也可以采用另一种解决办法：即不改变二义性文法，而是确定一种**编译算法**，使该算法满足无二义性充分条件。

## 例: 算术表达式的文法

•  $E ::= E + E \mid E * E \mid ( E ) \mid i$

•  $E ::= E + T \mid T$   
•  $T ::= T * F \mid F$   
•  $F ::= ( E ) \mid i$

## 例: Pascal 条件语句的文法

$\langle \text{条件语句} \rangle ::= \text{If } \langle \text{布尔表达式} \rangle \text{ then } \langle \text{语句} \rangle \mid$

$\text{If } \langle \text{布尔表达式} \rangle \text{ then } \langle \text{语句} \rangle \text{ else } \langle \text{语句} \rangle$

$\langle \text{语句} \rangle ::= \langle \text{条件语句} \rangle \mid \langle \text{非条件语句} \rangle \mid \dots\dots$

## 2.5 句子的分析

任务：给定  $G[Z]$ :  $S \in V_t^*$ , 判定是否有  $S \in L(G[E])$  ?

这是词法分析和语法分析所要做的工作，将在第三、四章中详细介绍。



## 2.6 有关文法的实用限制

若文法中有如  $U ::= U$  的规则，则这就是有害规则，它会引起二义性。

例如存在  $U ::= U$ ,  $U ::= a \mid b$ , 则有两棵语法树:

U  
|  
a

U  
|  
U  
|  
a



**多余规则：**（1）在推导文法的所有句子中，始终用不到的规则。即该规则的左部非终结符不出现在任何句型中。

（2）在推导句子的过程中，一旦使用了该规则，将推不出任何终结符号串。即该规则中含有推不出任何终结符号串的非终结符。

例如给定 $G[Z]$ ，若其中关于 $U$ 的规则只有如下一条：

$U ::= x U y$

该规则是多余规则。

若还有 $U ::= a$ ，则此规则并非多余

若某文法中无有害规则或多余规则，则称该文法是压缩过的。

例:

①  $S \rightarrow Be$

②  $S \rightarrow Ec$

③  $A \rightarrow Ae$

④  $A \rightarrow e$

⑤  $A \rightarrow A$

⑥  $B \rightarrow Ce$

⑦  $B \rightarrow Af$

⑧  $C \rightarrow Cf$

⑨  $D \rightarrow f$

①  $S \rightarrow Be$

②  $B \rightarrow Af$

③  $A \rightarrow Ae$

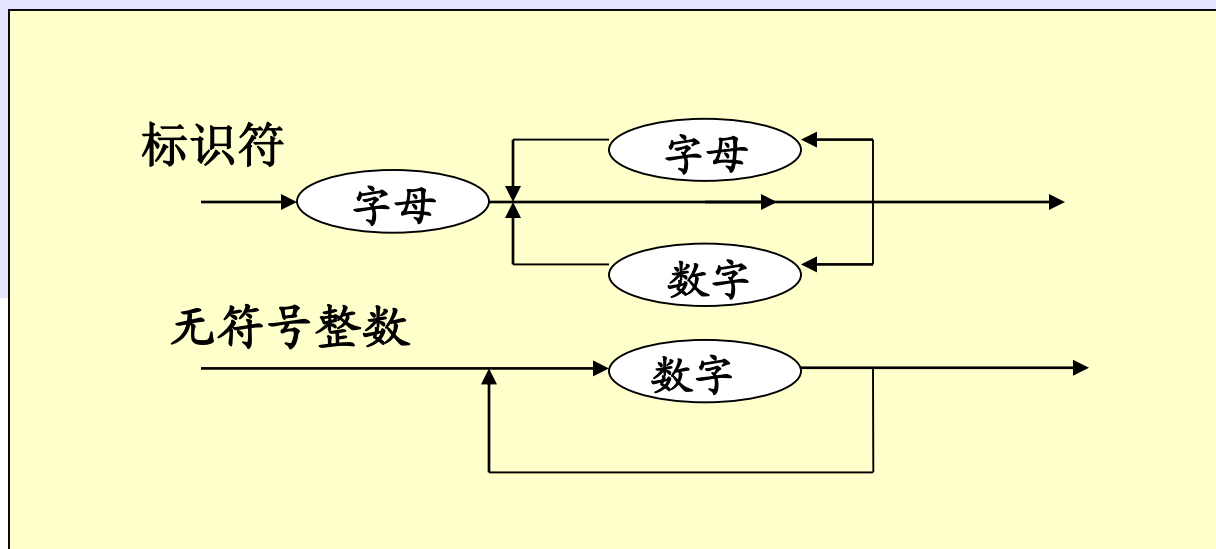
④  $A \rightarrow e$

## 2.7 文法的其它表示法

### 1、扩充的BNF表示(Backus Normal Form)

- BNF的元符号:  $\langle, \rangle, ::=, |$
- 扩充的BNF的元符号:  $\langle, \rangle, ::=, |, \{, \}, [, ] (, )$

### 2、语法图



## 2.8 文法和语言分类

**形式语言**：用文法和自动机所描述的没有语义的语言。

**语言定义**： $L(G[Z]) = \{ x \mid x \in V_t^*, Z \xRightarrow{+} x \}$

**文法定义**：乔姆斯基将所有文法都定义为一个**四元组**：

$G = (V_n, V_t, P, Z)$

$V_n$ ：非终结符号集

$V_t$ ：终结符号集

$P$ ：产生式或规则的集合

$Z$ ：开始符号（识别符号）  $Z \in V_n$

文法和语言分类：0型、1型、2型、3型

这几类文法的差别在于对产生式施加不同的限制。

0型:  $P: u ::= v$   
其中  $u \in V^+$ ,  $v \in V^*$

0型文法称为**短语结构文法**。规则的左部和右部都可以是符号串，一个短语可以产生另一个短语。

0型语言:  $L_0$  这种语言可以用图灵机(Turing)接受。

1型:  $P: xUy ::= xuy$   
其中  $U \in V_n$ ,  
 $x, y, u \in V^*$

称为上下文敏感或上下文有关。也即只有在 $x, y$ 这样的上下文中才能把 $U$ 改写为 $u$ 。

1型语言:  $L1$  这种语言可以由一种线性界限自动机接受。

2型:      $P: U ::= u$   
      其中  $U \in V_n$ ,  
           $u \in V^*$

称为上下文无关文法。也即把  $U$  改写为  $u$  时, 不必考虑上下文。

注意: 2型文法与BNF表示相等价。

2型语言:  $L_2$    这种语言可以由下推自动机接受。

### 3型文法:

(左线性)

$P: U ::= T$

或  $U ::= wT$

其中  $U, w \in V_n$

$T \in V_t$

(右线性)

$P: U ::= T$

或  $U ::= Tw$

其中  $U, w \in V_n$

$T \in V_t$

3型文法称为正则文法。它是对2型文法进行进一步限制。

3型语言:  $L_3$  又称正则语言、正则集合

这种语言可以由有穷自动机接受。





根据上述讨论,  $L0 \supset L1 \supset L2 \supset L3$

0型文法可以产生 $L0$ 、 $L1$ 、 $L2$ 、 $L3$ , 但2型文法只能产生 $L2$ , 不能产生 $L1$ 。



## 小结

- 掌握符号串和符号串集合的运算、文法和语言的定义。
- 几个重要概念：递归、短语、简单短语和句柄、语法树、文法的二义性、文法的实用限制等。
- 掌握文法的表示：**BNF**、扩充的**BNF**范式、语法图。
- 了解文法和语言的分类。

# 本章作业

- P22 第3题
- P28 第1、2、4、5、6、7题  
(第1题根据给定文法无法推导出ab0、0a和11!)
- P36 第1、5、6、8、9
- P41 第2题

做 $i + i * i$ 或 $i + i + i$ 其中一个即可