



编译原理  
第二章  
语言及其文法

哈尔滨工业大学 朱庆福





# 本章内容

**2.1 基本概念**

**2.2 文法的定义**

**2.3 语言的定义**

**2.4 文法的分类**

**2.5 CFG的语法分析树**

## 2.1 基本概念

➤ 串 (*String*)

➤ 串是一个有穷符号 (*symbol*) 序列

➤ 符号的典型例子：字母、数字、标点符号、...

例：

➤ 符号： *a*、*b*、*c*

➤ 串： *abcb*

## 2.1 基本概念

### ➤ 串 (*String*)

➤ 串是一个有穷符号 (*symbol*) 序列

➤ 串  $s$  的长度, 通常记作  $|s|$ , 是指  $s$  中符号的个数

➤ 例:  $|abcb|=4$

➤ 空串 (*empty string*) 是长度为0的串, 用  $\varepsilon$  (*epsilon*) 表示

➤  $|\varepsilon|=0$

## 串上的运算——连接

- 如果  $x$  和  $y$  是串，那么  $x$  和  $y$  的 **连接** (concatenation) 是把  $y$  附加到  $x$  后面而形成的串，记作  $xy$
- 例如，如果  $x=dog$  且  $y=house$ ，那么  $xy=doghouse$
- **空串** 是连接运算的 **单位元** (identity)，即，对于任何串  $s$  都有， $\epsilon s = s\epsilon = s$

设  $x, y, z$  是三个字符串，如果  $x=yz$ ，则称  $y$  是  $x$  的 **前缀**， $z$  是  $x$  的 **后缀**

# 串上的运算——幂

## ➤ 串 $s$ 的 幂 运算

$$\begin{cases} s^0 = \varepsilon, \\ s^n = s^{n-1}s, n \geq 1 \end{cases}$$

➤  $s^1 = s^0 s = \varepsilon s = s, s^2 = ss, s^3 = sss, \dots$

➤ 例：如果  $s = ba$ ，那么  $s^1 = ba, s^2 = baba, s^3 = bababa, \dots$

串  $s$  的  $n$  次幂：将  $n$  个  $s$  连接起来

# 字母表 (*Alphabet*)

➤ 字母表  $\Sigma$  是一个有穷符号集合

例：

➤ 二进制字母表：{ 0,1 }

➤ *ASCII* 字符集

➤ *Unicode* 字符集

# 字母表上的运算

➤ 字母表 $\Sigma_1$ 和 $\Sigma_2$ 的乘积(*product*)

➤  $\Sigma_1\Sigma_2 = \{ab \mid a \in \Sigma_1, b \in \Sigma_2\}$

例：  $\{0, 1\} \{a, b\} = \{0a, 0b, 1a, 1b\}$



# 字母表上的运算

➤ 字母表 $\Sigma_1$ 和 $\Sigma_2$ 的乘积(*product*)

➤ 字母表 $\Sigma$ 的 $n$ 次幂(*power*)

$$\begin{cases} \Sigma^0 = \{ \epsilon \} \\ \Sigma^n = \Sigma^{n-1} \Sigma, n \geq 1 \end{cases}$$

例：  $\{0, 1\}^3 = \{0, 1\} \{0, 1\} \{0, 1\}$   
 $= \{000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111\}$

字母表的 $n$ 次幂：长度为 $n$ 的符号串构成的集合

# 字母表上的运算

- 字母表 $\Sigma_1$ 和 $\Sigma_2$ 的**乘积**(*product*)
- 字母表 $\Sigma$ 的 **$n$ 次幂**(*power*)
- 字母表 $\Sigma$ 的**正闭包**(*positive closure*)
  - $\Sigma^+ = \Sigma \cup \Sigma^2 \cup \Sigma^3 \cup \dots$

例：  $\{a, b, c, d\}^+ = \{a, b, c, d,$   
 $aa, ab, ac, ad, ba, bb, bc, bd, \dots,$   
 $aaa, aab, aac, aad, aba, abb, abc, \dots\}$

字母表的正闭包：长度正数的符号串构成的集合

# 字母表上的运算

- 字母表 $\Sigma_1$ 和 $\Sigma_2$ 的**乘积**(*product*)
- 字母表 $\Sigma$ 的 **$n$ 次幂**(*power*)
- 字母表 $\Sigma$ 的**正闭包**(*positive closure*)
- 字母表 $\Sigma$ 的**克林闭包**(*Kleene closure*)
  - $\Sigma^* = \Sigma^0 \cup \Sigma^+ = \Sigma^0 \cup \Sigma \cup \Sigma^2 \cup \Sigma^3 \cup \dots$

例：  $\{a, b, c, d\}^* = \{\epsilon, a, b, c, d, aa, ab, ac, ad, ba, bb, bc, bd, \dots, aaa, aab, aac, aad, aba, abb, abc, \dots\}$

字母表的克林闭包：任意符号串（长度可以为零）构成的集合



# 提纲

2.1 基本概念

**2.2 文法的定义**

2.3 语言的定义

2.4 文法的分类

2.5 CFG的语法分析树

## 2.2 文法的定义

### ➤ 自然语言的例子——句子的构成规则

➤ <句子> → <名词短语> <动词短语>

➤ <名词短语> → <形容词> <名词短语>

➤ <名词短语> → <名词>

➤ <动词短语> → <动词> <名词短语>

➤ <形容词> → *little*

➤ <名词> → *boy*

➤ <名词> → *apple*

➤ <动词> → *eat*

未用尖括号括起来部分表示  
语言的基本符号

尖括号括起来部分称为语法成分

# 文法的形式化定义

$$G = (V_T, V_N, P, S)$$

➤  $V_T$ : 终结符集合

**终结符** (*terminal symbol*) 是文法所定义的语言的**基本符号**，有时也称为*token*

➤ 例:  $V_T = \{ \textit{apple}, \textit{boy}, \textit{eat}, \textit{little} \}$

# 文法的形式化定义

$$G = (V_T, V_N, P, S)$$

➤  $V_T$ : 终结符集合

➤  $V_N$ : 非终结符集合

**非终结符**(*nonterminal*) 是用来表示语法成分的符号，有时也称为“语法变量”

➤ 例:  $V_N = \{ \langle \text{句子} \rangle, \langle \text{名词短语} \rangle, \langle \text{动词短语} \rangle, \langle \text{名词} \rangle, \dots \}$

# 文法的形式化定义

$$G = (V_T, V_N, P, S)$$

➤  $V_T$ : 终结符集合

$$V_T \cap V_N = \Phi$$

➤  $V_N$ : 非终结符集合

$$V_T \cup V_N: \text{文法符号集}$$

➤  $P$ : 产生式集合

**产生式**(*production*)描述了将终结符和非终结符组合成串的方法  
产生式的一般形式:

$$\alpha \rightarrow \beta$$

读作:  $\alpha$  定义为  $\beta$

➤  $\alpha \in (V_T \cup V_N)^+$ , 且  $\alpha$  中至少包含一个  $V_N$  中的元素: 称为产生式的**头**  
(*head*)或**左部**(*left side*)

➤  $\beta \in (V_T \cup V_N)^*$ : 称为产生式的**体**(*body*)或**右部**(*right side*)



# 文法的形式化定义

$$G = (V_T, V_N, P, S)$$

➤  $V_T$ : 终结符集合

➤  $V_N$ : 非终结符集合

➤  $P$ : 产生式集合

**产生式**(*production*)描述了将终结符和非终结符组合成串的方法  
产生式的一般形式:

$$\alpha \rightarrow \beta$$

➤ 例:  $P = \left\{ \begin{array}{l} \langle \text{句子} \rangle \rightarrow \langle \text{名词短语} \rangle \langle \text{动词短} \rangle, \\ \langle \text{名词短语} \rangle \rightarrow \langle \text{形容词} \rangle \langle \text{名词短语} \rangle, \\ \dots \end{array} \right\}$

# 文法的形式化定义

$$G = (V_T, V_N, P, S)$$

➤  $V_T$  : 终结符集合

➤  $V_N$  : 非终结符集合

➤  $P$  : 产生式集合

➤  $S$  : 开始符号

$S \in V_N$ 。 **开始符号** (*start symbol*) 表示的是该文法中最大的语法成分

➤ 例:  $S = \langle \text{句子} \rangle$

# 文法的形式化定义

$$G = (V_T, V_N, P, S)$$

- $V_T$  : 终结符集合
- $V_N$  : 非终结符集合
- $P$  : 产生式集合
- $S$  : 开始符号

例:  $G = (\{ \text{id}, +, *, (, ) \}, \{E\}, P, E)$

$$P = \{ \begin{aligned} E &\rightarrow E + E, \\ E &\rightarrow E * E, \\ E &\rightarrow (E), \\ E &\rightarrow \text{id} \end{aligned} \}$$

约定:

不引起歧义的前提下, 可以只写产生式


$$\begin{aligned} G : E &\rightarrow E + E \\ E &\rightarrow E * E \\ E &\rightarrow (E) \\ E &\rightarrow \text{id} \end{aligned}$$

# 产生式的简写

➤ 对一组有相同左部的 $\alpha$ 产生式

$$\alpha \rightarrow \beta_1, \alpha \rightarrow \beta_2, \dots, \alpha \rightarrow \beta_n$$

可以简记为:

$$\alpha \rightarrow \beta_1 \mid \beta_2 \mid \dots \mid \beta_n$$

读作:  $\alpha$  定义为  $\beta_1$ , 或者  $\beta_2$ , ..., 或者  $\beta_n$ 。

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  称为  $\alpha$  的候选式 (Candidate)

➤ 例

$$E \rightarrow E + E$$

$$E \rightarrow E * E$$

$$E \rightarrow ( E )$$

$$E \rightarrow \text{id}$$



$$E \rightarrow E + E \mid E * E \mid ( E ) \mid \text{id}$$

# 符号约定

➤ 下述符号是**终结符**

➤ (a) 字母表中**排在前面的小写字母**，如 *a*、*b*、*c*

➤ (b) **运算符**，如 +、\*等

➤ (c) **标点符号**，如括号、逗号等

➤ (d) **数字**0、1、...、9

➤ (e) **粗体字符串**，如id、if等

# 符号约定

- 下述符号是终结符
- 下述符号是非终结符
  - (a) 字母表中排在前面的大写字母，如  $A$ 、 $B$ 、 $C$
  - (b) 字母  $S$ 。通常表示开始符号
  - (c) 小写、斜体的名字，如  $expr$ 、 $stmt$  等
  - (d) 代表程序构造的大写字母。如  $E$ (表达式)、 $T$ (项) 和  $F$ (因子)

# 符号约定

- 下述符号是**终结符**
- 下述符号是**非终结符**

终结符	$a, b, c$	终结符号串	$u, v, \dots, z$
非终结符	$A, B, C$		
文法符号	$X, Y, Z$	文法符号串	$\alpha, \beta, \gamma$

- 字母表中**排在后面的大写字母**（如 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ ）  
表示**文法符号**（即终结符或非终结符）
- 字母表中**排在后面的小写字母**（主要是 $u$ 、 $v$ 、 $\dots$ 、 $z$ ）  
表示**终结符号串**（包括空串）
- **小写希腊字母**，如 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ ，表示**文法符号串**（包括空串）
- 除非特别说明，**第一个产生式的左部**就是**开始符号**



# 提纲

2.1 基本概念

2.2 文法的定义

**2.3 语言的定义**

2.4 文法的分类

2.5 CFG的语法分析树



## 2.3 语言的定义

自然语言文法的例子：

- ① <句子>  $\rightarrow$  <名词短语> <动词短语>
- ② <名词短语>  $\rightarrow$  <形容词> <名词短语>
- ③ <名词短语>  $\rightarrow$  <名词>
- ④ <动词短语>  $\rightarrow$  <动词> <名词短语>
- ⑤ <形容词>  $\rightarrow$  *little*
- ⑥ <名词>  $\rightarrow$  *boy*
- ⑦ <名词>  $\rightarrow$  *apple*
- ⑧ <动词>  $\rightarrow$  *eat*

有了文法（语言规则），  
如何判定一个词串是否是  
满足文法的句子？

单词串：*little boy eats apple*

## 推导 (Derivations) 和归约 (Reductions)

- 给定文法  $G=(V_T, V_N, P, S)$ ，如果  $\alpha \rightarrow \beta \in P$ ，那么可以将符号串  $\gamma\alpha\delta$  中的  $\alpha$  替换为  $\beta$ ，也就是说，将  $\gamma\alpha\delta$  重写 (rewrite) 为  $\gamma\beta\delta$ ，记作  $\gamma\alpha\delta \Rightarrow \gamma\beta\delta$ 。此时，称文法中的符号串  $\gamma\alpha\delta$  直接推导 (directly derive) 出  $\gamma\beta\delta$
- 简而言之，就是用产生式的右部替换产生式的左部

## 推导 (Derivations) 和归约 (Reductions)

- 如果  $\alpha_0 \Rightarrow \alpha_1, \alpha_1 \Rightarrow \alpha_2, \alpha_2 \Rightarrow \alpha_3, \dots, \alpha_{n-1} \Rightarrow \alpha_n$ , 则可以记作  $\alpha_0 \Rightarrow \alpha_1 \Rightarrow \alpha_2 \Rightarrow \alpha_3 \Rightarrow \dots \Rightarrow \alpha_{n-1} \Rightarrow \alpha_n$ , 称符号串  $\alpha_0$  经过  $n$  步推导出  $\alpha_n$ , 可简记为  $\alpha_0 \Rightarrow^n \alpha_n$
- $\alpha \Rightarrow^0 \alpha$
- $\Rightarrow^+$  表示“经过正数步推导”
- $\Rightarrow^*$  表示“经过若干 (可以是0) 步推导”

# 推导 (Derivations) 和 归约 (Reductions)

例

文法:

- ① <句子> → <名词短语> <动词短语>
- ② <名词短语> → <形容词> <名词短语>
- ③ <名词短语> → <名词>
- ④ <动词短语> → <动词> <名词短语>
- ⑤ <形容词> → *little*
- ⑥ <名词> → *boy*
- ⑦ <名词> → *apple*
- ⑧ <动词> → *eat*

<句子> ⇒ <名词短语> <动词短语>  
⇒ <形容词> <名词短语> <动词短语>  
⇒ *little* <名词短语> <动词短语>  
⇒ *little* <名词> <动词短语>  
⇒ *little boy* <动词短语>  
⇒ *little boy* <动词> <名词短语>  
⇒ *little boy eats* <名词短语>  
⇒ *little boy eats* <名词>  
⇒ *little boy eats apple*

推导

归约

第编译一今天课开始上节  
今天开始上第一节编译课

## 回答前面的问题

- 有了文法（语言规则），如何判定某一词串是否是该语言的句子？
    - 句子的**推导**（派生）-从**生成**语言的角度
    - 句子的**归约** -从**识别**语言的角度
- } 均根据规则

# 句型 and 句子

- 如果  $S \Rightarrow^* \alpha$ ,  $\alpha \in (V_T \cup V_N)^*$ , 则称  $\alpha$  是  $G$  的一个 **句型** (sentential form)
  - 一个句型中既可以包含 **终结符**, 又可以包含 **非终结符**, 也可能是 **空串**
- 如果  $S \Rightarrow^* w$ ,  $w \in V_T^*$ , 则称  $w$  是  $G$  的一个 **句子** (sentence)
  - 句子是 **不包含非终结符** 的 **句型**

# 例

<句子>⇒<名词短语><动词短语>

⇒<形容词><名词短语><动词短语>

⇒ *little* <名词短语><动词短语>

⇒ *little* <名词><动词短语>

⇒ *little boy* <动词短语>

⇒ *little boy* <动词><名词短语>

⇒ *little boy eats* <名词短语>

⇒ *little boy eats* <名词>

句子 → ⇒ *little boy eats apple*

句型

# 语言的形式化定义

➤ 由文法 $G$ 的开始符号 $S$ 推导出的所有句子构成的集合称为**文法 $G$ 生成的语言**，记为 $L(G)$ 。

即

$$L(G) = \{w \mid S \Rightarrow^* w, w \in V_T^*\}$$

文法  $E \rightarrow E+E \mid E * E \mid (E) \mid \text{id}$   
生成的语言中包含多少个句子？



# 例

## ➤ 文法 $G$

$$\textcircled{1} S \rightarrow L \mid LT$$

$$\textcircled{2} T \rightarrow L \mid D \mid TL \mid TD$$

$$\textcircled{3} L \rightarrow a \mid b \mid c \mid \dots \mid z$$

$$\textcircled{4} D \rightarrow 0 \mid 1 \mid 2 \mid 3 \mid \dots \mid 9$$

该文法生成的语言是：标识符

请写出无符号整数  
或浮点数的文法

$$T \Rightarrow TL$$

$$\Rightarrow TDL$$

$$\Rightarrow TDDL$$

$$\Rightarrow TLDDL$$

...

$$\Rightarrow TD\dots LDDL$$

$$\Rightarrow DD\dots LDDL$$

$T$ : 字母数字串

# 语言上的运算

运算	定义和表示
$L$ 和 $M$ 的并	$L \cup M = \{s \mid s \text{ 属于 } L \text{ 或者 } s \text{ 属于 } M\}$
$L$ 和 $M$ 的连接	$LM = \{st \mid s \text{ 属于 } L \text{ 且 } t \text{ 属于 } M\}$
$L$ 的幂	$\begin{cases} L^0 = \{ \varepsilon \} \\ L^n = L^{n-1}L, n \geq 1 \end{cases}$
$L$ 的Kleene闭包	$L^* = \bigcup_{i=0}^{\infty} L^i$
$L$ 的正闭包	$L^+ = \bigcup_{i=1}^{\infty} L^i$

例：令 $L = \{A, B, \dots, Z, a, b, \dots, z\}$ ,  $D = \{0, 1, \dots, 9\}$ 。则 $L(L \cup D)^*$ 表示的语言是标识符



# 提纲

2.1 基本概念

2.2 文法的定义

2.3 语言的定义

**2.4 文法的分类**

2.5 CFG的语法分析树

## 2.4 文法的分类

### ➤ *Chomsky* 文法分类体系

➤ 0型文法 (*Type-0 Grammar*)

➤ 1型文法 (*Type-1 Grammar*)

➤ 2型文法 (*Type-2 Grammar*)

➤ 3型文法 (*Type-3 Grammar*)

# 0型文法 (*Type-0 Grammar*)

$$\alpha \rightarrow \beta$$

➤ 无限制文法(*Unrestricted Grammar*) / 短语结构文法

(*Phrase Structure Grammar, PSG*)

➤  $\forall \alpha \rightarrow \beta \in P$ ,  $\alpha$ 中至少包含1个非终结符

➤ 0型语言

➤ 由0型文法 $G$ 生成的语言 $L(G)$

# 1型文法 (*Type-1 Grammar*)

$$\alpha \rightarrow \beta$$

➤ 上下文有关文法 (*Context-Sensitive Grammar, CSG*)

➤  $\forall \alpha \rightarrow \beta \in P, \quad |\alpha| \leq |\beta|$

➤ 产生式的一般形式:  $\alpha_1 A \alpha_2 \rightarrow \alpha_1 \beta \alpha_2 \quad (\beta \neq \varepsilon)$

➤ 上下文有关语言 (1型语言)

➤ 由上下文有关文法 (1型文法)  $G$  生成的语言  $L(G)$

CSG中不包含 $\varepsilon$ -产生式

## 2型文法 (*Type-2 Grammar*)

$$\alpha \rightarrow \beta$$

➤ 上下文无关文法 (*Context-Free Grammar, CFG*)

➤  $\forall \alpha \rightarrow \beta \in P, \alpha \in V_N$

➤ 产生式的一般形式:  $A \rightarrow \beta$

例:

$$S \rightarrow L \mid LT$$

$$T \rightarrow L \mid D \mid TL \mid TD$$

$$L \rightarrow a \mid b \mid c \mid d \mid \dots \mid z$$

$$D \rightarrow 0 \mid 1 \mid 2 \mid 3 \mid \dots \mid 9$$

## 2型文法 (*Type-2 Grammar*)

$$\alpha \rightarrow \beta$$

➤ 上下文无关文法 (*Context-Free Grammar, CFG*)

➤  $\forall \alpha \rightarrow \beta \in P, \alpha \in V_N$

➤ 产生式的一般形式:  $A \rightarrow \beta$

➤ 上下文无关语言 (2型语言)

➤ 由上下文无关文法 (2型文法)  $G$  生成的语言  $L(G)$



## 3型文法 (*Type-3 Grammar*)

$$\alpha \rightarrow \beta$$

### ➤ 正则文法 (*Regular Grammar, RG*)

➤ 右线性 (*Right Linear*) 文法:  $A \rightarrow wB$  或  $A \rightarrow w$

➤ 左线性 (*Left Linear*) 文法:  $A \rightarrow Bw$  或  $A \rightarrow w$

➤ 左线性文法和右线性文法都称为正则文法

例 (右线性文法)

①  $S \rightarrow a \mid b \mid c \mid d$

②  $S \rightarrow aT \mid bT \mid cT \mid dT$

③  $T \rightarrow a \mid b \mid c \mid d \mid 0 \mid 1 \mid 2 \mid 3 \mid 4 \mid 5$

④  $T \rightarrow aT \mid bT \mid cT \mid dT \mid 0T \mid 1T \mid 2T \mid 3T \mid 4T \mid 5T$

文法  $G$  (上下文无关文法)

①  $S \rightarrow L \mid LT$

②  $T \rightarrow L \mid D \mid TL \mid TD$

③  $L \rightarrow a \mid b \mid c \mid d$

④  $D \rightarrow 0 \mid 1 \mid 2 \mid 3 \mid 4 \mid 5$

## 3型文法 (*Type-3 Grammar*)

$$\alpha \rightarrow \beta$$

- **正则文法** (*Regular Grammar, RG*)
  - **右线性** (*Right Linear*) **文法**:  $A \rightarrow wB$  或  $A \rightarrow w$
  - **左线性** (*Left Linear*) **文法**:  $A \rightarrow Bw$  或  $A \rightarrow w$
  - 左线性文法和右线性文法都称为正则文法
- **正则语言 (3型语言)**
  - 由正则文法 (3型文法)  $G$  生成的语言  $L(G)$

正则文法能描述程序设计语言的多数单词

# 四种文法之间的关系

## ➤ 逐级限制

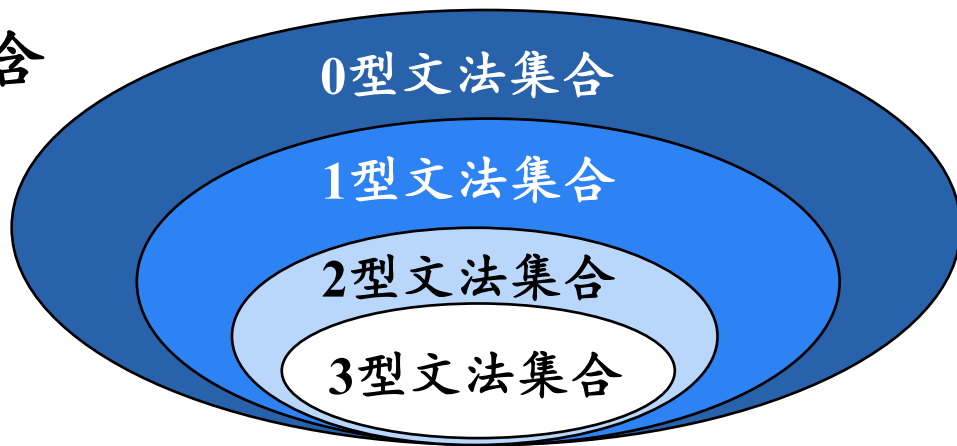
➤ 0型文法： $\alpha$ 中至少包含1个非终结符

➤ 1型文法 (CSG) :  $|\alpha| \leq |\beta|$

➤ 2型文法 (CFG) :  $\alpha \in V_N$

➤ 3型文法 (RG) :  $A \rightarrow wB$  或  $A \rightarrow w$  ( $A \rightarrow Bw$  或  $A \rightarrow w$ )

## ➤ 逐级包含





# 提纲

2.1 基本概念

2.2 文法的定义

2.3 语言的定义

2.4 文法的分类

**2.5 CFG的语法分析树**

# CFG 的分析树

**G:**

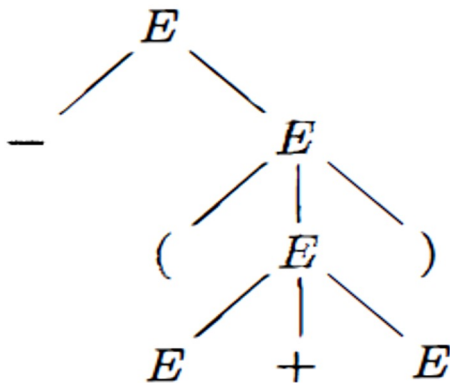
①  $E \rightarrow E + E$

②  $E \rightarrow E * E$

③  $E \rightarrow - E$

④  $E \rightarrow ( E )$

⑤  $E \rightarrow \text{id}$



- 根节点的标号为文法开始符号
- 内部结点表示对一个产生式 $A \rightarrow \beta$ 的应用，该结点的标号是此产生式左部 $A$ 。该结点的子结点的标号从左到右构成了产生式的右部 $\beta$
- 叶结点的标号既可以是非终结符，也可以是终结符。从左到右排列叶节点得到的符号串称为是这棵树的产出(yield)或边缘(frontier)

# 分析树是推导的图形化表示

- 给定一个推导  $S \Rightarrow \alpha_1 \Rightarrow \alpha_2 \Rightarrow \dots \Rightarrow \alpha_n$ ，对于推导过程中得到的每一个句型  $\alpha_i$ ，都可以构造出一个边缘为  $\alpha_i$  的分析树

推导过程:  $E \Rightarrow -E \Rightarrow -(E) \Rightarrow -(E+E) \Rightarrow -(\text{id}+E) \Rightarrow -(\text{id}+\text{id})$

文法:

①  $E \rightarrow E + E$

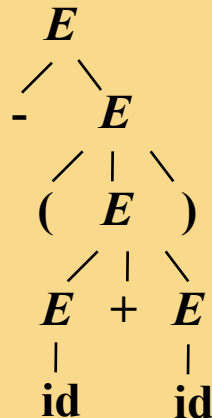
②  $E \rightarrow E * E$

③  $E \rightarrow -E$

④  $E \rightarrow (E)$

⑤  $E \rightarrow \text{id}$

分析树:



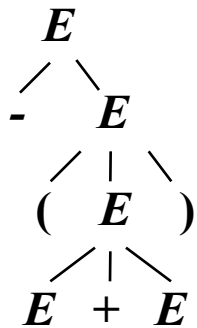
# (句型的) 短语

- 给定一个句型，其分析树中的每一棵子树的边缘称为该句型的一个短语(*phrase*)
- 如果子树只有父子两代结点，那么这棵子树的边缘称为该句型的一个直接短语(*immediate phrase*)

文法:

- ①  $E \rightarrow E + E$
- ②  $E \rightarrow E * E$
- ③  $E \rightarrow - E$
- ④  $E \rightarrow ( E )$
- ⑤  $E \rightarrow \text{id}$

分析树:



短语:

- $-(E+E)$
- $(E+E)$
- $E+E$

直接短语:

- $E+E$

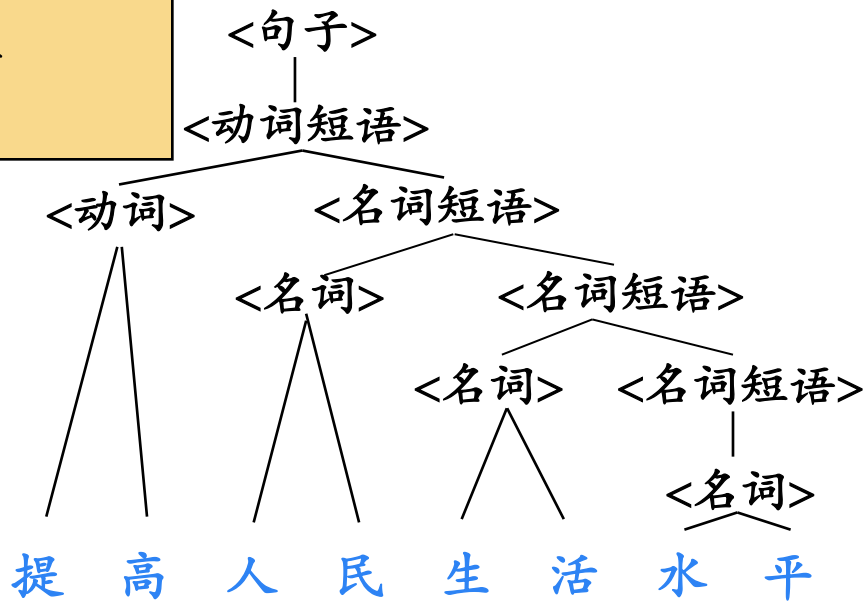
直接短语一定是某产生式的右部  
但产生式的右部不一定是给定句型的直接短语

# 例

文法:

- ① <句子> → <动词短语>
- ② <动词短语> → <动词> <名词短语>
- ③ <名词短语> → <名词> <名词短语> | <名词>
- ④ <动词> → 提 高
- ⑤ <名词> → 高 人 | 人 民 | 民 生 | 生 活  
                  | 活 水 | 水 平

输入: 提高人民生活水平





## 二义性文法 (*Ambiguous Grammar*)

- 如果一个文法可以为某个句子生成多棵分析树，  
则称这个文法是二义性的

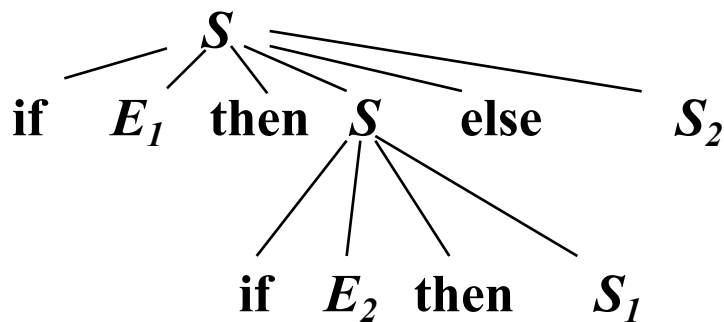
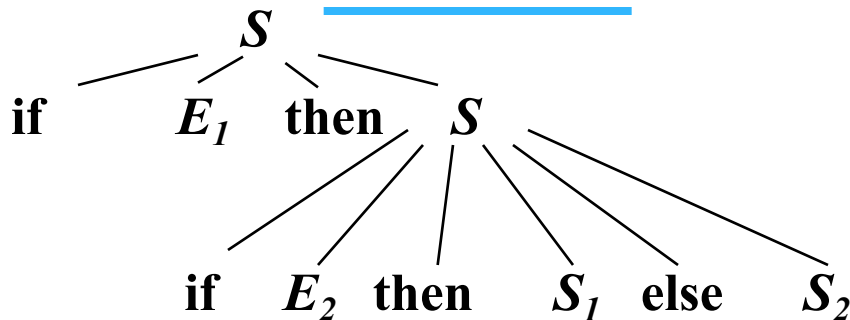
► 文法

➤  $S \rightarrow$   $\left. \begin{array}{l} \text{if } E \text{ then } S \\ \text{if } E \text{ then } S \text{ else } S \end{array} \right\}$  条件语句

$\quad \quad \quad | \text{ other} \leftarrow$  其他语句

## ► 句型

➤ **if  $E_1$  then if  $E_2$  then  $S_1$  else  $S_2$**



# 例

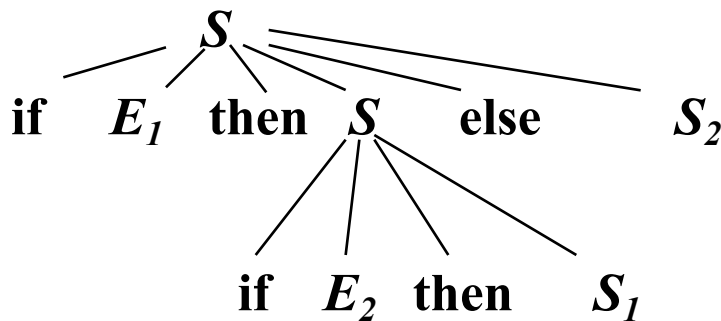
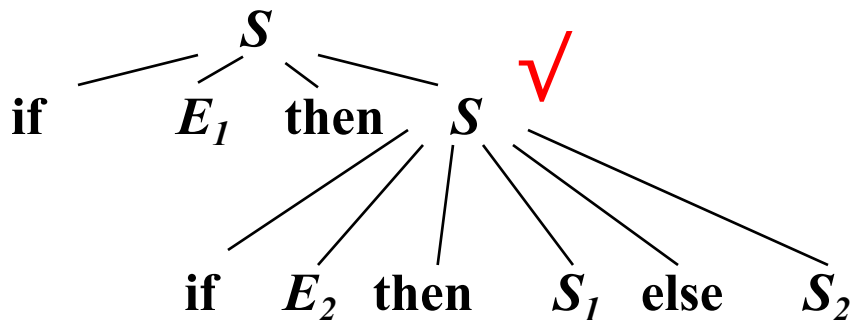
## ➤ 文法

- $S \rightarrow$  if  $E$  then  $S$   
| if  $E$  then  $S$  else  $S$   
| *other*

消歧规则：每个else和最近的尚未匹配的if匹配

## ➤ 句型

- if  $E_1$  then if  $E_2$  then  $S_1$  else  $S_2$



# 二义性文法的判定

- 对于任意一个上下文无关文法，不存在一个算法，判定它是否为二义性的；但能给出一组充分条件，满足这组充分条件的文法是无二义性的
- 满足，肯定无二义性
- 不满足，也未必就是有二义性的

# 本章小结

- 基本概念
- 文法的定义
- 语言的定义
- 文法的分类
- CFG的分析树



# 结束

