

第 2 章 文 法



2.1 问题的提出

2.2 文法的定义

2.3 文法的乔姆斯基体系

2.1 问题的提出



1. 什么是语言？
2. 自然语言与程序设计语言的区别？
3. 如何判断一个句子（字符串）是否属于一个语言？

巴科斯—瑙尔范式



例2.1 在类Pascal语言中，〈语句〉是用下述一组规则定义的：

〈语句〉::=〈条件语句〉|〈当语句〉|〈复合语句〉|〈赋值语句〉

〈条件语句〉::= if〈布尔表达式〉then〈语句〉else〈语句〉

〈当语句〉::= while〈布尔表达式〉 do〈语句〉

〈复合语句〉::=begin〈语句表〉end

〈语句表〉::=〈语句〉|〈语句〉; 〈语句表〉

〈赋值语句〉::=〈变量〉:=〈算术表达式〉

〈布尔表达式〉::=〈算术表达式〉〈关系运算符〉〈算术表达式〉

〈关系运算符〉::= < | > | ≤ | ≥ | = | ≠

〈算术表达式〉::=〈常量〉|〈变量〉| (〈算术表达式〉〈算术运算符〉〈算术表达式〉)

〈算术运算符〉::= + | - | * | /

〈常量〉::= 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9

〈变量〉::= a | b | c | d | e | f | g | h | i | j | k | l | m | n | o | p | q | r | s | t | u | v | w | x | y | z

以上这种表示法称为巴科斯—瑙尔范式（Backus-Naur Forms），简记为BNF。

问题的提出



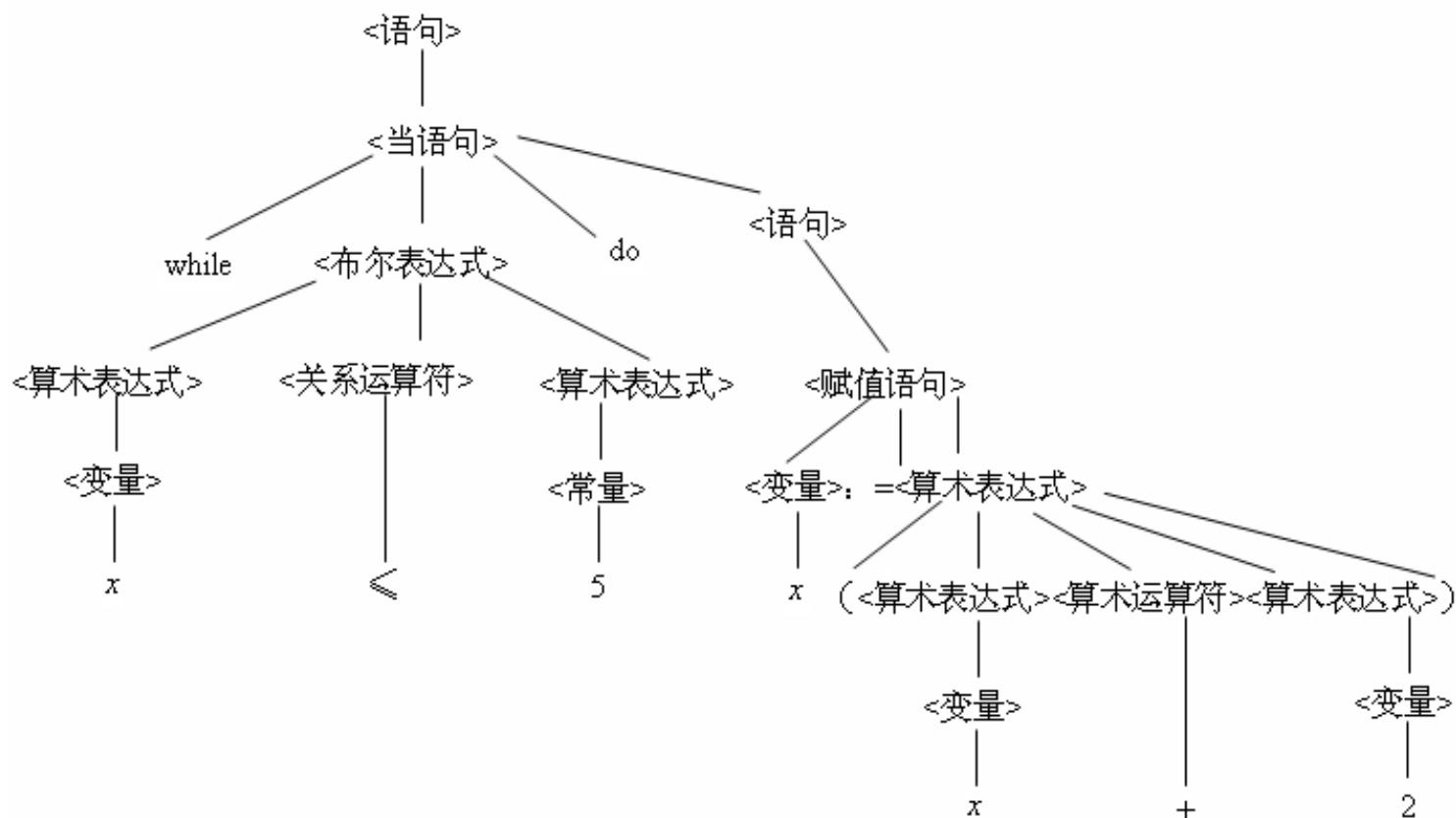
例2.2 根据例2.1中的各规则，我们指出下述的字符串

`while $x \leq 5$ do $x := (x+2)$`

是一个合法的语句。

- 它符合<当语句>的结构；
- $x \leq 5$ 是<布尔表达式>的一种；
- $x := (x+1)$ 是<赋值语句>的一种（从而也是<语句>的一种）；

语句的语法树/剖析树



2.1 问题的提出

对语言的研究主要包括三个方面：

1. 表示(representation)—— 无穷语言的表示。
2. 有穷描述(finite description) ——研究的语言要么是有穷的，要么是可数无穷的，这里主要研究可数无穷语言的有穷描述。
3. 结构(structure)——语言的结构特征。

解决办法：文法，文法可以描述语言的结构特征，而且可以产生语言的所有句子。

2.1 问题的提出--**解决办法**（文法）



- 所谓**文法**是用来定义语言的一个**数学模型**。
- 表示语言的方法：
 1. 若语言L是有限集合，可用列举法
 2. 若L是无限集合（集合中的每个元素有限长度），用其他方法。
 - ① 方法一：**文法产生系统**，由定义的**文法规则**产生出语言的每个句子
 - ② 方法二：**机器识别系统**，当一个字符串能被一个语言的识别系统接受，则这个字符串是该语言的一个句子，否则不属于该语言。

2.2 文法的定义



定义2.1 一个文法 G 是一个四元组 $G = (V, T, P, S)$, 其中

- ① V (Variables) 是变元的有限集。
- ② T (Terminal symbols) 是终结符的有限集。
- ③ P (Productions) 是产生式的有限集, 其中每个产生式都是 $\alpha \rightarrow \beta$ 的形式, 其中 $\alpha \in (V \cup T)^+$, 且其中至少有一个 V 中的符号, $\beta \in (V \cup T)^*$ 。 α 称为产生式的左部, β 称为产生式的右部。
- ④ $S \in V$, 称为文法 G 的开始符号 (**Start variable**)。

2.2 文法的定义



例2.3 下面的四元组都是文法。

$$G_1 = (\{A, B\}, \{0, 1\}, \{A \rightarrow 0B, B \rightarrow 1B, B \rightarrow 0\}, A)。$$

$$G_2 = (\{A, B, C\}, \{a, b, C\}, \{A \rightarrow aBC, B \rightarrow b, C \rightarrow CC, C \rightarrow \varepsilon\}, A)。$$

约定



- 凡有关文法的例子，都遵循下述的约定：
 - ①大写拉丁字母A,B,C,D,E和S等等表示变元，除非另做说明，**S表示开始符号**。
 - ②小写拉丁字母a,b,c,d,e数字等等表示终结符。
 - ③小写拉丁字母u, v, w, x, y, z等等表示终结符**串**。
 - ④小写希腊字母 α , β , γ 等等表示变元和终结符共同组成的串。
- 另外我们还约定，同一个文法中如果有若干个左部相同而右部不同的产生式，如
$$\alpha \rightarrow \beta_1, \alpha \rightarrow \beta_2, \dots, \alpha \rightarrow \beta_n$$
则可以缩写为
$$\alpha \rightarrow \beta_1 | \beta_2 | \dots | \beta_n$$

例 2.4 在以上的约定下，当我们要写一个文法时，只写出它的产生式集合也是可以的。如我们写出：

(1) $S \rightarrow 0A1 | 10$

(2) $0A \rightarrow 00A1$

(3) $A \rightarrow \varepsilon$

就表示该文法是

$G = (\{S, A\},$
 $\{0, 1\},$
 $\{S \rightarrow 0A1, S \rightarrow 10, 0A \rightarrow 00A1, A \rightarrow \varepsilon\},$
 $S)$

- 定义2.2 给出文法 $G = (V, T, P, S)$, 我们定义两个字符串之间的一个关系“ \Rightarrow_G ”: 若 $\alpha = \alpha_1\alpha_2\alpha_3$, $\gamma = \alpha_1\beta\alpha_3$, 并且 $\alpha_2 \rightarrow \beta$ 是 P 中的一个产生式, 则有 $\alpha \Rightarrow_G \gamma$, 此时称由 α 直接**推导(derives)**出 γ 。根据第一章关于集合上关系的闭包的定义, 我们也可将 \Rightarrow_G 扩充为 \Rightarrow_G^* , 将 $\alpha \Rightarrow_G^* \gamma$ 称为由 α **推导出** γ 。
- 若有 $S \Rightarrow_G^* \gamma$, 则称 γ 为**句型(sentential form)**, 当 $\gamma \in T^*$, 则称 γ 为**句子(sentence)**。
- 对应于推导, 还有一个重要的概念, 称为“**归约**”(reduce)。其定义是: 如果 $\alpha \Rightarrow_G^* \gamma$ 是由 α 到 γ 的推导, 则反过来称 γ 归约到 α , 记作 $\gamma \Leftarrow_G^* \alpha$ 。

文法与形式语言

$$(1) S \rightarrow 0A1 | 10$$

$$(2) 0A \rightarrow 00A1$$

$$(3) A \rightarrow \varepsilon$$

例2.5 对于例2.4中给出的文法G，我们有：

$$S \xRightarrow[G]{*} 0A1 \xRightarrow[G]{*} 00A11 \xRightarrow[G]{*} 000A111 \xRightarrow[G]{*} 000111$$

第一步直接推导用的是第（1）个产生式，第二步直接推导用的是第（2）个产生式，第三步直接推导还是用第（2）个产生式，最后一步直接推导用的是第（3）个产生式。总起来我们也可以写为

$S \xRightarrow[G]{*} 000111$ 。在这个推导中，0A1，00A11，000A111，000111都是句型，而000111又是句子。

在今后写推导式子的时候，若所指的文法是明确无误的，则可将记号 $\xRightarrow[G]{*}$ 或 $\xRightarrow[G]{*}$ 中的G省略，只写 \Rightarrow 或 $\xRightarrow{*}$ 即可。另外，如果 α 经过i步的直接推导到 β ，就可写 $\alpha \xRightarrow{i} \beta$ 。



定义2.3 给出文法 $G=(V,T,P,S)$ ，它所产生的语言记作 $L(G)$ ，由下述集合定义：

$$L(G)=\{ w | S \overset{*}{\Rightarrow} w, \text{ 并且 } w \in T^* \}。$$

换句话说，文法 G 产生的语言 $L(G)$ ，就是由 G 中开始符号 S 推导出来的全体终结符号串所构成的集合，也就是句子的集合。

例2.6 给出文法G,它有两个产生式:

$$S \rightarrow aSb$$

$$S \rightarrow ab$$

根据 $L(G)$ 的定义, 考虑从 S 的推导, 若先用 G 中第二个产生式, 则 $S \Rightarrow ab$, 就不能再往下推导了, 此时相当于语言中 $n=1$ 的情况。若从 S 出发, 先用第一个产生式 $n-1$ 次, 即 $S \Rightarrow aSb \Rightarrow aaSbb \Rightarrow \dots \Rightarrow a^{n-1}Sb^{n-1}$, 最后再使用第二个产生式一次, 得到 $S \Rightarrow a^n b^n$, 这个推导对于任何 $n>1$ 都是对的。

再加上 $n=1$ 的情况, 即可得到 $L(G) = \{a^n b^n | n \geq 1\}$ 。

思考题: 文法 $S \rightarrow aSb, S \rightarrow \varepsilon$ 生成什么语言?

语言 \rightarrow 文法



例2.7 给出语言 $L = \{a^n \mid n \geq 1\}$, 找出产生它的文法。

$L = \{a, aa, aaa, \dots\}$, 它是一个无限集。因此必须先产生出一个a来, 我们首先用产生式 $S \rightarrow a$ 来实现。因为L是无限集, 必须用递归的方法, 以一个a为基础, 不断地添加一个a。即再用一个产生式 $S \rightarrow aS$, 与第一个产生式合起来, 整个文法就是:

$$S \rightarrow a$$

$$S \rightarrow aS$$

当然, 产生L的文法不是唯一的, 我们也可以用以下两个产生式

$$S \rightarrow a$$

$$S \rightarrow Sa$$

还可以用文法

$$S \rightarrow aS$$

$$S \rightarrow \varepsilon$$

文法等价



定义2.4 对于两个不同的文法 $G_1 = (V_1, T_1, P_1, S_1)$, $G_2 = (V_2, T_2, P_2, S_2)$, 如果 $L(G_1) = L(G_2)$, 则称文法 G_1 与 G_2 等价。

同一个语言可以由不同的文法产生。在例2.7中已经看到, 一个很简单的语言 $\{a^n | n \geq 1\}$ 就可由三个不同的文法产生。

$S \rightarrow a$

$S \rightarrow a$

$S \rightarrow aS$

$S \rightarrow aS$

$S \rightarrow Sa$

$S \rightarrow \varepsilon$

2.3 文法的乔姆斯基体系



定义 2.5 对于文法 $G = (V, T, P, S)$ 按产生式分为四类:

①若 P 中的产生式, 不加另外的限制, 则 G 称为0型文法, 或短语结构文法 (Phrase Structure Grammar, PSG)。

②若 P 中每个产生式 $\alpha \rightarrow \beta$ 都满足条件 $|\alpha| \leq |\beta|$, 则 G 称为1型文法, 或上下文有关文法 (Context-Sensitive Grammar, CSG)。

③若 P 中每个产生式都具有如下形式:

$A \rightarrow \beta$, $\beta \in (V \cup T)^*$, $A \in V$, 则称 G 为2型文法, 或上下文无关文法 (Context-Free Grammar, CFG)。

④若 P 中每个产生式都具有如下形式:

$A \rightarrow a$ 或 $A \rightarrow aB$, $a \in T \cup \{\varepsilon\}$, $A, B \in V$,

则称 G 为3型文法, 或正则文法 (Regular Grammar, RG)。

2.3 文法的乔姆斯基体系

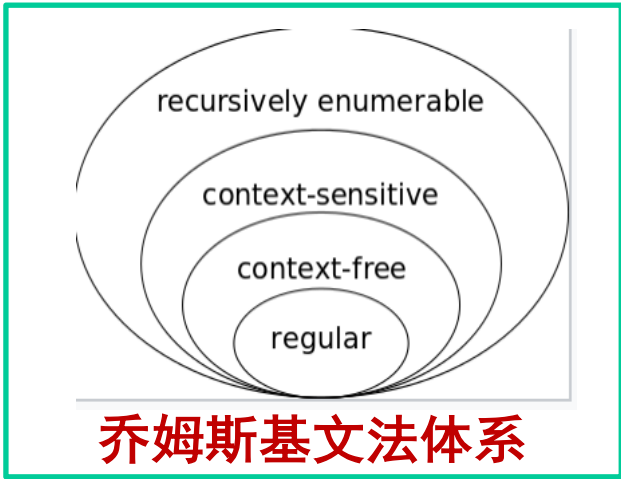


例 2.8 给出文法G

- ① $S \rightarrow ACaB$
- ② $Ca \rightarrow aaC$
- ③ $CB \rightarrow DB$
- ④ $CB \rightarrow E$
- ⑤ $aD \rightarrow Da$
- ⑥ $AD \rightarrow AC$
- ⑦ $aE \rightarrow Ea$
- ⑧ $AE \rightarrow \varepsilon$

文法G是一个“真正的”0型文法，由于有产生式（4）和（8）的存在（产生式左部的长度大于右部的长度），它不是1型文法，当然更不是2型，3型文法。

2.3 文法的乔姆斯基体系总结



Avram Noam Chomsky

抽象模型	对应语言	相当于程序或算法
有穷自动机 (FA)	•正则语言 (RL) 3型	If ,case ,goto, 无变量 (内存) 无数组
下推自动机 (PDA)	前后文无关语言 (CFL) , 2型	增加: 堆栈。仍无变量 (内存) 无数组
线性界限自动机 (LBA)	前后文有关语言 (CSL) , 1型	
图灵机 (TM)	递归可枚举 (r.e.) , 0型	输入在语言外时, 可能死 循环,

2.3 文法的乔姆斯基体系



- 线性文法(liner grammar)
 - 设 $G=(V, T, P, S)$, 如果对于 $\forall \alpha \rightarrow \beta \in P$, $\alpha \rightarrow \beta$ 均具有如下形式:
 - $A \rightarrow w$
 - $A \rightarrow wBx$
 - 其中 $A, B \in V$, $w, x \in T^*$, 则称 G 为线性文法。
- 线性语言(liner language)
 - $L(G)$ 叫做线性语言

2.3 文法的乔姆斯基体系



- 右线性文法(right liner grammar)
 - 设 $G=(V, T, P, S)$, 如果对于 $\forall \alpha \rightarrow \beta \in P$, $\alpha \rightarrow \beta$ 均具有如下形式:
 - $A \rightarrow w$
 - $A \rightarrow wB$
 - 其中 $A, B \in V$, $w, x \in T^*$, 则称 G 为线性文法。
- 右线性语言(right liner language)
 - $L(G)$ 叫做右线性语言。

2.3 文法的乔姆斯基体系



- 左线性文法(left liner grammar)
 - 设 $G=(V, T, P, S)$, 如果对于 $\forall \alpha \rightarrow \beta \in P$, $\alpha \rightarrow \beta$ 均具有如下形式:
 - $A \rightarrow w$
 - $A \rightarrow Bw$
 - 其中 $A, B \in V$, $w, x \in T^*$, 则称 G 为线性文法。
- 左线性语言(left liner language)
 - $L(G)$ 叫做右线性语言。

可以证明：左线性文法与右线性文法等价的。

正则文法是右线型文法吗？

本章小结

1、**文法**作为语言的**描述**，不仅可以描述语言的**结构特征**，而且还可以**产生**这个语言的**所有句子**。从而，解决了语言的有穷描述，且提供了语言归属问题的判定方法（或计算问题的思路）。

Exp. $S = '001100'$, $L = \{x | x = 0^n 1^n, x \in Z^+\}$, 问题：S属于语言L吗？

2、文法的形式化定义、派生与规约；

3、0型~3型文法的**区别**在于：**产生式的形式**。

4、左线性文法+右线性文法 \neq 正则文法

5、文法的构造

6、上下文**有关**与上下文**无关**的区别