

语法分析

(1. 上下文无关文法、ANTLR 4 语法分析器)

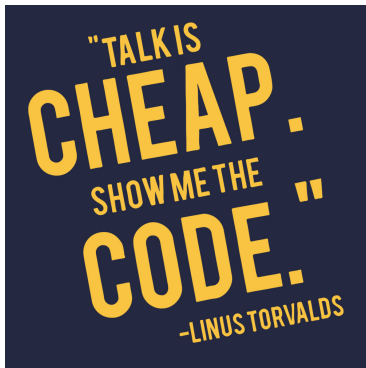
魏恒峰

hfwei@nju.edu.cn

2022 年 11 月 21 日



Cymbol.g4



IfStat.g4



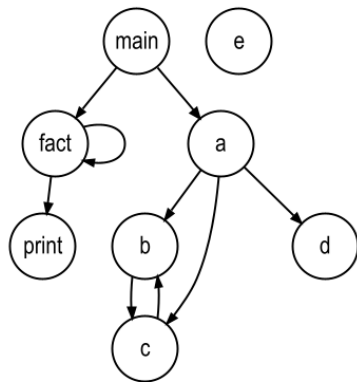
```
stat : 'if' expr 'then' stat  
      | 'if' expr 'then' stat 'else' stat  
      ;
```

Expr.g4



```
expr :  
    | expr '*' expr  
    | expr '+' expr  
    | DIGIT  
    ;
```

Call Graphs



Calculator





<Context-Free Grammar>

上下文无关文法

Definition (Context-Free Grammar (CFG); 上下文无关文法)

上下文无关文法 G 是一个四元组 $G = (T, N, P, S)$:

- ▶ T 是**终结符号** (Terminal) 集合, 对应于词法分析器产生的词法单元;
- ▶ N 是**非终结符号** (Non-terminal) 集合;
- ▶ P 是**产生式** (Production) 集合;

$$A \in N \longrightarrow \alpha \in (T \cup N)^*$$

头部/左部 (Head) A : **单个**非终结符

体部/右部 (Body) α : 终结符与非终结符构成的串, 也可以是空串 ϵ

- ▶ S 为**开始** (Start) 符号。要求 $S \in N$ 且唯一。

Syntax

Semantics

语义: 上下文无关文法 G 定义了一个**语言** $L(G)$

Syntax

Semantics

语义: 上下文无关文法 G 定义了一个**语言** $L(G)$

语言是**串**的集合

串从何来?

推导 (Derivation)

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

推导即是将某个产生式的左边**替换**成它的右边

每一步推导需要选择**替换哪个非终结符号**, 以及**使用哪个产生式**

推导 (Derivation)

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

$$E \Longrightarrow -E \Longrightarrow -(E) \Longrightarrow -(E + E) \Longrightarrow -(\mathbf{id} + E) \Longrightarrow -(\mathbf{id} + \mathbf{id})$$

推导 (Derivation)

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

$$E \Longrightarrow -E \Longrightarrow -(E) \Longrightarrow -(E + E) \Longrightarrow -(\mathbf{id} + E) \Longrightarrow -(\mathbf{id} + \mathbf{id})$$

$E \Longrightarrow -E$: 经过一步推导得出

$E \overset{+}{\Longrightarrow} -(\mathbf{id} + E)$: 经过一步或多步推导得出

$E \overset{*}{\Longrightarrow} -(\mathbf{id} + E)$: 经过零步或多步推导得出

推导 (Derivation)

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

$$E \Longrightarrow -E \Longrightarrow -(E) \Longrightarrow -(E + E) \Longrightarrow -(\mathbf{id} + E) \Longrightarrow -(\mathbf{id} + \mathbf{id})$$

$E \Longrightarrow -E$: 经过一步推导得出

$E \stackrel{+}{\Longrightarrow} -(\mathbf{id} + E)$: 经过一步或多步推导得出

$E \stackrel{*}{\Longrightarrow} -(\mathbf{id} + E)$: 经过零步或多步推导得出

$$E \Longrightarrow -E \Longrightarrow -(E) \Longrightarrow -(E + E) \Longrightarrow -(E + \mathbf{id}) \Longrightarrow -(\mathbf{id} + \mathbf{id})$$

Definition (Sentential Form; 句型)

如果 $S \xRightarrow{*} \alpha$, 且 $\alpha \in (T \cup N)^*$, 则称 α 是文法 G 的一个**句型**。

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

$$E \Rightarrow -E \Rightarrow -(E) \Rightarrow -(E + E) \Rightarrow -(\text{id} + E) \Rightarrow -(\text{id} + \text{id})$$

Definition (Sentential Form; 句型)

如果 $S \xRightarrow{*} \alpha$, 且 $\alpha \in (T \cup N)^*$, 则称 α 是文法 G 的一个**句型**。

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

$$E \Longrightarrow -E \Longrightarrow -(E) \Longrightarrow -(E+E) \Longrightarrow -(\text{id} + E) \Longrightarrow -(\text{id} + \text{id})$$

Definition (Sentence; 句子)

如果 $S \xRightarrow{*} w$, 且 $w \in T^*$, 则称 w 是文法 G 的一个**句子**。

Definition (文法 G 生成的语言 $L(G)$)

文法 G 的**语言** $L(G)$ 是它能推导出的**所有句子**构成的集合。

$$w \in L(G) \iff S \xRightarrow{*} w$$

关于文法 G 的**两个基本问题**:

- ▶ **Membership 问题**: 给定字符串 $x \in T^*$, $x \in L(G)$?
- ▶ $L(G)$ 究竟是什么?

给定字符串 $x \in T^*$, $x \in L(G)$?
(即, 检查 x 是否符合文法 G)

给定字符串 $x \in T^*$, $x \in L(G)$?

(即, 检查 x 是否符合文法 G)

这就是**语法分析器**的任务:

为输入的词法单元流寻找推导、**构建语法分析树**, 或者报错

根节点是文法 G 的起始符号

$\langle \text{Stmt} \rangle$		
if (	$\langle \text{Expr} \rangle$	) $\langle \text{Stmt} \rangle$
if (	$\langle \text{Expr} \rangle$ $\langle \text{Optr} \rangle$ $\langle \text{Expr} \rangle$	) $\langle \text{Stmt} \rangle$
if (	$\langle \text{Id} \rangle$ $\langle \text{Optr} \rangle$ $\langle \text{Expr} \rangle$	) $\langle \text{Stmt} \rangle$
if (	x $\langle \text{Optr} \rangle$ $\langle \text{Expr} \rangle$	) $\langle \text{Stmt} \rangle$
if (	x $>$ $\langle \text{Expr} \rangle$	) $\langle \text{Stmt} \rangle$
if (	x $>$ $\langle \text{Num} \rangle$	) $\langle \text{Stmt} \rangle$
if (	x $>$ 9) $\langle \text{Stmt} \rangle$
if (	x $>$ 9) { $\langle \text{StmtList} \rangle$ }
if (	x $>$ 9) { $\langle \text{StmtList} \rangle$ $\langle \text{Stmt} \rangle$ }
if (	x $>$ 9) { $\langle \text{Stmt} \rangle$ $\langle \text{Stmt} \rangle$ }
if (	x $>$ 9) { $\langle \text{Id} \rangle = \langle \text{Expr} \rangle ;$ $\langle \text{Stmt} \rangle$ }
if (	x $>$ 9) { $x = \langle \text{Expr} \rangle ;$ $\langle \text{Stmt} \rangle$ }
if (	x $>$ 9) { $x = \langle \text{Num} \rangle ;$ $\langle \text{Stmt} \rangle$ }
if (	x $>$ 9) { $x = 0 ;$ $\langle \text{Stmt} \rangle$ }
if (	x $>$ 9) { $x = 0 ;$ $\langle \text{Id} \rangle = \langle \text{Expr} \rangle ;$ }
if (	x $>$ 9) { $x = 0 ;$ $y = \langle \text{Expr} \rangle ;$ }
if (	x $>$ 9) { $x = 0 ;$ $y = \langle \text{Expr} \rangle \langle \text{Optr} \rangle \langle \text{Expr} \rangle ;$ }
if (	x $>$ 9) { $x = 0 ;$ $y = \langle \text{Id} \rangle \langle \text{Optr} \rangle \langle \text{Expr} \rangle ;$ }
if (	x $>$ 9) { $x = 0 ;$ $y = y \langle \text{Optr} \rangle \langle \text{Expr} \rangle ;$ }
if (	x $>$ 9) { $x = 0 ;$ $y = y + \langle \text{Expr} \rangle ;$ }
if (	x $>$ 9) { $x = 0 ;$ $y = y + \langle \text{Num} \rangle ;$ }
if (	x $>$ 9) { $x = 0 ;$ $y = y + 1 ;$ }

叶子节点是输入的词法单元流

常用的语法分析器以**自顶向下**或**自底向上**的方式构建中间部分

$L(G)$ 是什么?

这是**程序设计语言设计者**需要考虑的问题

$$S \rightarrow SS$$

$$S \rightarrow (S)$$

$$S \rightarrow ()$$

$$S \rightarrow \epsilon$$

$$L(G) =$$

$$S \rightarrow SS$$

$$S \rightarrow (S)$$

$$S \rightarrow ()$$

$$S \rightarrow \epsilon$$

$$L(G) = \{\text{良匹配括号串}\}$$

$$S \rightarrow SS$$

$$S \rightarrow (S)$$

$$S \rightarrow ()$$

$$S \rightarrow \epsilon$$

$$S \rightarrow aSb$$

$$S \rightarrow \epsilon$$

$$L(G) =$$

$$L(G) = \{\text{良匹配括号串}\}$$

$$S \rightarrow SS$$

$$S \rightarrow (S)$$

$$S \rightarrow ()$$

$$S \rightarrow \epsilon$$

$$S \rightarrow aSb$$

$$S \rightarrow \epsilon$$

$$L(G) = \{a^n b^n \mid n \geq 0\}$$

$$L(G) = \{\text{良匹配括号串}\}$$

字母表 $\Sigma = \{a, b\}$ 上的所有回文串 (Palindrome) 构成的语言

字母表 $\Sigma = \{a, b\}$ 上的所有**回文串** (Palindrome) 构成的语言

$$S \rightarrow aSa$$

$$S \rightarrow bSb$$

$$S \rightarrow a$$

$$S \rightarrow b$$

$$S \rightarrow \epsilon$$

$$\{b^n a^m b^{2n} \mid n \geq 0, m \geq 0\}$$

$$\{b^n a^m b^{2n} \mid n \geq 0, m \geq 0\}$$

$$S \rightarrow bSbb \mid A$$

$$A \rightarrow aA \mid \epsilon$$

$$\{x \in \{a, b\}^* \mid x \text{ 中 } a, b \text{ 个数相同}\}$$

$\{x \in \{a, b\}^* \mid x \text{ 中 } a, b \text{ 个数相同}\}$

$$V \rightarrow aVbV \mid bVaV \mid \epsilon$$

$$\{x \in \{a, b\}^* \mid x \text{ 中 } a, b \text{ 个数不同}\}$$

$\{x \in \{a, b\}^* \mid x \text{ 中 } a, b \text{ 个数不同}\}$

$$S \rightarrow T \mid U$$

$$T \rightarrow VaT \mid VaV$$

$$U \rightarrow VbU \mid VbV$$

$$V \rightarrow aVbV \mid bVaV \mid \epsilon$$

$\{x \in \{a, b\}^* \mid x \text{ 中 } a, b \text{ 个数不同}\}$

$$S \rightarrow T \mid U$$
$$T \rightarrow VaT \mid VaV$$
$$U \rightarrow VbU \mid VbV$$
$$V \rightarrow aVbV \mid bVaV \mid \epsilon$$


Thank
You!



Office 926

hfwei@nju.edu.cn