Um compilador simples de uma passagem

A análise gramatical

Prof. Edson Alves

Faculdade UnB Gama

Análise gramatical

- A análise gramatical é o processo de se determinar se uma cadeia de tokens pode ser gerada por uma gramática
- O compilador deve ser capaz de construir uma árvore gramatical, mesmo que de forma implícita
- Um analisador gramatical pode ser construído para qualquer gramática
- Para qualquer gramática livre de contexto existe um analisador gramatical que analisa N tokens com complexidade $O(N^3)$
- Contudo, existem analisadores lineares para quase todas as gramáticas livres de contexto que surgem na prática

Análise *top-down* e *bottom-up*

- Há duas classes principais de analisadores gramaticais
- Analisadores *top-down* a construção parte da raiz da árvore gramatical para suas folhas
- Analisadores *bottom-up* partem das folhas em direção à raiz
- Os analisadores *top-down* são mais populares, pois é possível construir analisadores eficientes desta classe de forma manual
- Já os analisadores *bottom-up* podem manipular uma gama mais ampla de gramáticas
- Geradores de analisadores gramaticais tendem a usar métodos *bottom-up*

Construção *top-down* de uma árvore gramatical

1. Inicie na raiz, rotulada pelo não-terminal de partida
2. Repita os seguintes passos:
   - **(a)** Para o nó n, rotulado pelo não-terminal A, selecione uma das produções para A e construa os filhos de n com os símbolos do lado direito da produção
   - **(b)** Encontre o próximo nó no qual uma subárvore deve ser construída

Observações:

- **(i)** A depender da gramática, esta construção pode ser implementada com uma única passagem da entrada, da esquerda para a direita
- **(ii)** O token que está sendo observado é frequentemente denominado *lookahead*
- **(iii)** Inicialmente *lookahead* é o token mais à esquerda da entrada

Exemplo: gramática para geração de subtipos em Pascal

$$
\begin{array}{rcl}
\mathit{tipo} & \rightarrow & \mathit{primitivo} \\
& | & \uparrow \textbf{id} \\
& | & \textbf{array}\ [\ \mathit{primitivo}\ ]\ \textbf{of}\ \mathit{tipo} \\
 & & \\
\mathit{primitivo} & \rightarrow & \textbf{integer} \\
& | & \textbf{char} \\
& | & \textbf{num}\ ..\ \textbf{num}
\end{array}
$$

Observação: os dois pontos ('..') formam um único token.

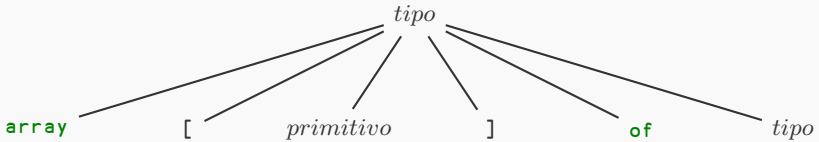
Exemplo de construção *top-down* da árvore gramatical

Considere a expressão `array [ num .. num ] of integer`, gerada a partir da gramática de subtipos em Pascal.

(a) A construção inicial na raiz da árvore. O rótulo da raiz é o não-terminal de partida

$$tipo$$

(b) A única produção de $tipo$ que inicia com o *lookahead* (neste momento, `array`) é a terceira. Esta produção será usada para a criação dos filhos do nó raiz.

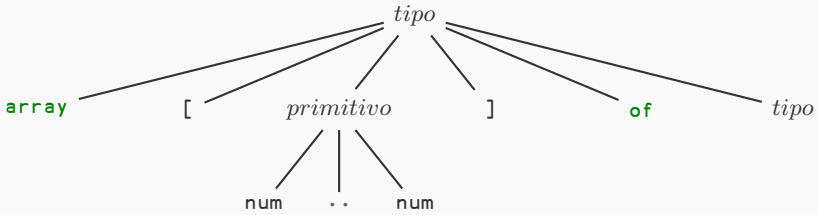


Exemplo de construção *top-down* da árvore gramatical

(c) O filho mais à esquerda tem como rótulo `array`. Como este rótulo coincide com *lookahead*, a construção prossegue para o próximo filho

(d) *Lookahead* é atualizado para [e confrontado com o segundo filho à esquerda da raiz. Como há nova coincidência entre o rótulo e *lookahead*, a construção prossegue

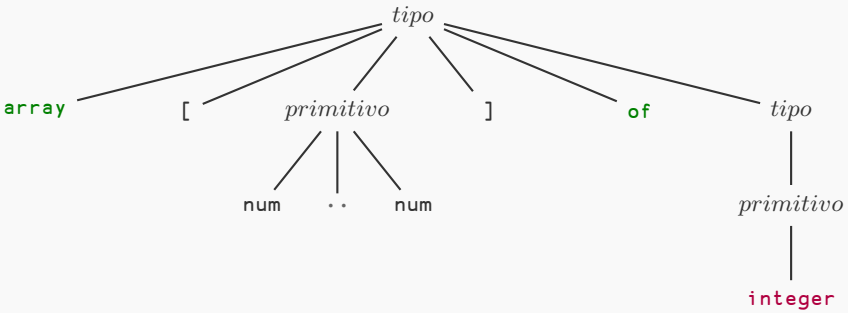
(e) O nó seguinte contém o não-terminal $primitivo$ e *lookahead* contém o token `num`. Assim a terceira produção de $primitivo$ é utilizada para gerar os novos filhos



Exemplo de construção *top-down* da árvore gramatical

(g) Os próximos tokens (`:`, `num`, `of`) coincidem com os respectivos filhos

(h) O último valor que *lookahead* assum é `integer`, o qual é confrontado com o filho mais à direita da raiz. Como o nó tem como rótulo o não-terminal $tipo$, a primeira produção deste deve ser usada para construir o novo nó, que por sua vez usa a primeira produção de $primitivo$ para construir seu único filho



Análise gramatical preditiva

- Uma análise gramatical descendente recursiva é um método *top-down* de análise sintática na qual são executados procedimentos recursivos para processar a entrada
- Cada não-terminal da entrada é associado a um procedimento
- Se *lookahead* determina, sem ambiguidades, o procedimento a ser executado, a análise gramatical descendente recursiva é denominada análise gramatical preditiva
- A sequência de chamadas de procedimentos no processamento da entrada determina, de forma implícita, a árvore gramatical
- Além dos procedimentos associados aos não-terminais, a análise pode definir outros procedimentos auxiliares que podem simplificar tarefas como a leitura de tokens e a atualização de *lookahead*

Reconhecimento de tokens

O procedimento RECONHECER( ) confronta o valor de *lookahead* e um determinado token. Em caso de coincidência, ele atualiza *lookahead* com o próximo token da entrada.

```
1: procedure RECONHECER(token)

2:     if lookahead = token then          ▷ lookahead é uma variável global
3:         lookahead ←PROXIMOTOKEN( )
4:     else
5:         ERRO( )
```

Procedimento associado ao não terminal *tipo*

```
1:  procedure TIPO( )
2:      if lookahead ∈ { integer, char, num } then
3:          PRIMITIVO( )
4:      else if lookahead = ↑ then
5:          RECONHECER(↑)
6:          RECONHECER(id)
7:      else if lookahead = array then
8:          RECONHECER(array),
9:          RECONHECER([)
10:         PRIMITIVO( )
11:         RECONHECER(]),
12:         RECONHECER(of)
13:         TIPO( )
14:     else
15:         ERRO( )
```

Procedimento associado ao não terminal *primitivo*

```
1:  procedure PRIMITIVO( )
2:      if lookahead = integer then
3:          RECONHECER(integer)
4:      else if lookahead = char then
5:          RECONHECER(char)
6:      else if lookahead = num then
7:          RECONHECER(num)
8:          RECONHECER(:)
9:          RECONHECER(num)
10:     else
11:         ERRO( )
```

Primeiros símbolos

Definição de primeiros símbolos

Seja α o lado direito de uma produção. Então $\text{PRIMEIRO}(\alpha)$ é o conjunto de tokens que figuram como primeiros símbolos de uma ou mais cadeias geradas a partir de α. Se ϵ pode ser gerado a partir de α, então ϵ pertence a $\text{PRIMEIRO}(\alpha)$.

Por exemplo, na gramática de geração de subtipos em Pascal,

$$\text{PRIMEIRO}(primitivo) = \{ \texttt{integer}, \texttt{char}, \texttt{num} \}$$

e

$$\text{PRIMEIRO}(\uparrow\texttt{id}) = \{ \uparrow \}$$

Primeiros símbolos e análise gramatica preditiva

- A análise gramatical preditiva depende dos conjuntos $\textsc{primeiro}(X)$ de todos não-terminais X da gramática
- Isto acontece principalmente nos casos onde a gramática possui duas ou mais produções para um mesmo não-terminal (por exemplo, $A \to \alpha$ e $A \to \beta$)
- Para que a análise gramatical recursiva descendente seja preditiva é necessário que os primeiros símbolos de cada produção sejam distintos
- No exemplo dado,

$$\textsc{primeiro}(\alpha) \cap \textsc{primeiro}(\beta) = \emptyset$$

- Caso esta condição se verifique para todos os pares de produções distintas de um mesmo não-terminal, a produção γ deve ser usada se $lookahead \in \textsc{primeiro}(\gamma)$

Projeto de um analisador gramatical preditivo

Um analisador gramatical preditivo é um programa que contém um procedimento para cada não-terminal. Cada procedimento deve seguir dois passos:

1. Determinar a produção a ser usada a partir de $lookahead$. Para tanto, deve ser localizada, entre as produções $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_N$, a produção α_i tal que $lookahead \in \text{PRIMEIRO}(\alpha_i)$ (deve valer a seguinte propriedade: $\text{PRIMEIRO}(\alpha_i) \cap \text{PRIMEIRO}(\alpha_j) = \emptyset$ se $i \neq j$). Se $\alpha_k = \epsilon$ para algum k, α_k deve ser usada se $lookahead$ não estiver presente em nenhuma outra produção
2. Identificada a produção, o procedimento imita a produção, reconhecendo os terminais da produção e chamando os procedimentos dos não-terminais, na mesma ordem da produção

Produções recursivas à esquerda

Definição de produção recursiva à esquerda

Uma produção é recursiva à esquerda se o não-terminal à esquerda da produção figura como primeiro símbolo da produção. Por exemplo, se α e β são sequências de terminais e não-terminais que não iniciam em A, então a produção

$$A \rightarrow A\alpha \mid \beta$$

é recursiva à esquerda.

Observação: analisadores gramaticais recursivos descendentes pode rodar indefinidamente caso usem uma produção recursiva à esquerda

Produções recursivas à direita

Definição de produção recursiva à direita

Uma produção é recursiva à direita se o não-terminal à esquerda da produção figura como último símbolo da produção. Por exemplo, se α e β são sequências de terminais e não-terminais que não terminam em R, então a segunda produção abaixo

$$A \rightarrow \beta R$$
$$R \rightarrow \alpha R \mid \epsilon$$

é recursiva à direita.

Observação: produções recursivas à direita dificultam a tradução de expressões que contém operadores associativos à esquerda

Referências

1. **AHO**, Alfred V, **SETHI**, Ravi, **ULLMAN**, Jeffrey D. *Compiladores: Princípios, Técnicas e Ferramentas*, LTC Editora, 1995.