

Compiladores

Análise sintática (3) Análise LL(1) com tabela preditiva.

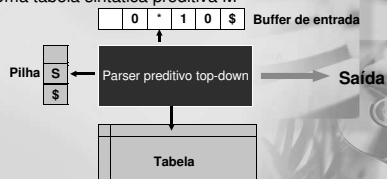
Análise top-down com tabela preditiva

- Os dois métodos apresentados até agora para fazer análise descendente usam recursividade.
 - Cada não-terminal tem um procedimento associado;
 - Chamadas com ou sem retrocesso.
 - Para gramáticas LL1 não tem retrocesso.
- Chamadas recursivas usam uma pilha implícita
 - A pilha das chamadas!
 - Sobrecusto!
- Idéia: retirar a recursão do procedimento:
 - Usa-se uma pilha para armazenar os não-terminais encontrados;
 - Usa-se uma tabela para orientar as derivações.

2

Reconhecedor preditivo com Pilha

- Tem um buffer em entrada;
 - \$ marca seu fim.
- Tem um fluxo de saída;
- Uma pilha cujo fundo é marcado por \$
 - Inicializada com S (Start)
- Uma tabela sintática preditiva M



3

Funcionamento do parser

- Seja X o símbolo no topo da pilha
- Seja a o símbolo de entrada a analisar
 - a é um terminal
- Se $X = \$$ e $a = \$$
 - Reconheceu uma sentença
 - Termina execução
- Se $X = a \neq \$$
 - Desempilha X
 - Avança de um símbolo na entrada
- Se X é não-terminal: Consulta a tabela $M(X, a)$
 - Se a entrada for vazia: ERRO
 - Se a entrada contém $X \rightarrow UVW$
 - Então substitui X no topo da pilha por UVW

4

A tabela preditiva M(X, t)

- Tabela Bi-dimensional:
 - Dimensão 1: Não-terminal X
 - Dimensão 2: Caractere da entrada (terminal) t
 - A entrada (X,t) contém a regra de produção a aplicar

	a	b	c	\$
S				
A				
B				

$S \rightarrow cAa$

$A \rightarrow cB \mid B$

$B \rightarrow bcB \mid \epsilon$

$\text{First}(A) = \{b, c, \epsilon\}$

$\text{First}(B) = \{b, \epsilon\}$

$\text{First}(S) = \{c\}$

$\text{Follow}(S) = \{\$\}$

$\text{Follow}(A) = \{a\}$

$\text{Follow}(B) = \{a\}$

5

Exemplo de tabela M(X, t)

- Tabela Bi-dimensional:
 - Dimensão 1: Não-terminal X
 - Dimensão 2: Caractere da entrada (terminal) t
 - A entrada (X,t) contém a regra de produção a aplicar

	a	b	c	\$
S			$S \rightarrow cAa$	
A				
B				

$S \rightarrow cAa$

$A \rightarrow cB \mid B$

$B \rightarrow bcB \mid \epsilon$

$\text{First}(A) = \{b, c, \epsilon\}$

$\text{First}(B) = \{b, \epsilon\}$

$\text{First}(S) = \{c\}$

$\text{Follow}(S) = \{\$\}$

$\text{Follow}(A) = \{a\}$

$\text{Follow}(B) = \{a\}$

6

Exemplo de tabela M(X, t)

- Tabela Bi-dimensional:
 - Dimensão 1: Não-terminal X
 - Dimensão 2: Caractere da entrada (terminal) t
 - A entrada (X,t) contém a regra de produção a aplicar

	a	b	c	\$
S			$S \rightarrow cAa$	
A	$A \rightarrow B$	$A \rightarrow B$		
B				

$S \rightarrow cAa$ $\text{First}(A) = \{b, c, \epsilon\}$ $\text{Follow}(S) = \{\$ \}$
 $A \rightarrow cB \mid B$ $\text{First}(B) = \{b, \epsilon\}$ $\text{Follow}(A) = \{a\}$
 $B \rightarrow bcB \mid \epsilon$ $\text{First}(S) = \{c\}$ $\text{Follow}(B) = \{a\}$

7

Exemplo de tabela M(X, t)

- Tabela Bi-dimensional:
 - Dimensão 1: Não-terminal X
 - Dimensão 2: Caractere da entrada (terminal) t
 - A entrada (X,t) contém a regra de produção a aplicar

	a	b	c	\$
S			$S \rightarrow cAa$	
A	$A \rightarrow B$	$A \rightarrow B$	$A \rightarrow cB$	
B				

$S \rightarrow cAa$ $\text{First}(A) = \{b, c, \epsilon\}$ $\text{Follow}(S) = \{\$ \}$
 $A \rightarrow cB \mid B$ $\text{First}(B) = \{b, \epsilon\}$ $\text{Follow}(A) = \{a\}$
 $B \rightarrow bcB \mid \epsilon$ $\text{First}(S) = \{c\}$ $\text{Follow}(B) = \{a\}$

8

Exemplo de tabela M(X, t)

- Tabela Bi-dimensional:
 - Dimensão 1: Não-terminal X
 - Dimensão 2: Caractere da entrada (terminal) t
 - A entrada (X,t) contém a regra de produção a aplicar

	a	b	c	\$
S			$S \rightarrow cAa$	
A	$A \rightarrow B$	$A \rightarrow B$	$A \rightarrow cB$	
B	$B \rightarrow \epsilon$			

$S \rightarrow cAa$ $\text{First}(A) = \{b, c, \epsilon\}$ $\text{Follow}(S) = \{\$ \}$
 $A \rightarrow cB \mid B$ $\text{First}(B) = \{b, \epsilon\}$ $\text{Follow}(A) = \{a\}$
 $B \rightarrow bcB \mid \epsilon$ $\text{First}(S) = \{c\}$ $\text{Follow}(B) = \{a\}$

9

Exemplo de tabela M(X, t)

- Tabela Bi-dimensional:
 - Dimensão 1: Não-terminal X
 - Dimensão 2: Caractere da entrada (terminal) t
 - A entrada (X,t) contém a regra de produção a aplicar

	a	b	c	\$
S			$S \rightarrow cAa$	
A	$A \rightarrow B$	$A \rightarrow B$	$A \rightarrow cB$	
B	$B \rightarrow \epsilon$	$B \rightarrow bcB$		

$S \rightarrow cAa$ $\text{First}(A) = \{b, c, \epsilon\}$ $\text{Follow}(S) = \{\$ \}$
 $A \rightarrow cB \mid B$ $\text{First}(B) = \{b, \epsilon\}$ $\text{Follow}(A) = \{a\}$
 $B \rightarrow bcB \mid \epsilon$ $\text{First}(S) = \{c\}$ $\text{Follow}(B) = \{a\}$

10

Exemplo de tabela M(X, t)

- Tabela Bi-dimensional:
 - Dimensão 1: Não-terminal X
 - Dimensão 2: Caractere da entrada (terminal) t
 - A entrada (X,t) contém a regra de produção a aplicar

	a	b	c	\$
S	ERRO	ERRO	$S \rightarrow cAa$	ERRO
A	$A \rightarrow B$	$A \rightarrow B$	$A \rightarrow cB$	ERRO
B	$B \rightarrow \epsilon$	$B \rightarrow bcB$	ERRO	ERRO

$S \rightarrow cAa$ $\text{First}(A) = \{b, c, \epsilon\}$ $\text{Follow}(S) = \{\$ \}$
 $A \rightarrow cB \mid B$ $\text{First}(B) = \{b, \epsilon\}$ $\text{Follow}(A) = \{a\}$
 $B \rightarrow bcB \mid \epsilon$ $\text{First}(S) = \{c\}$ $\text{Follow}(B) = \{a\}$

11

Usando a tabela

- String: "cbca"

Pilha	Entrada	Ação
S\$	cbca\$	$S \rightarrow cAa$
cAa\$	cbca\$	casar c
Aa\$	bca\$	$A \rightarrow B$
Ba\$	bca\$	$B \rightarrow bcB$
bcBa\$	bca\$	casar b
cBa\$	ca\$	casar c
Ba\$	a\$	$B \rightarrow \epsilon$
a\$	a\$	casar a
\$	\$	casar \$, sucesso

12

Algoritmo para construir a tabela

- Re-escrever a gramática para satisfazer condições de LL(1)
- Calcular os conjuntos First e Follow
- Para cada produção $A \rightarrow \alpha$
 - Para cada $a \in \text{First}(\alpha)$
 - incluir a produção $A \rightarrow \alpha$ em $M[A,a]$
 - Se $\epsilon \in \text{First}(\alpha)$
 - incluir a produção $A \rightarrow \alpha$ em $M[A,b]$ para cada b em $\text{Follow}(A)$
 - Se $\epsilon \in \text{First}(\alpha)$ e $\$ \in \text{Follow}(A)$
 - incluir $A \rightarrow \alpha$ to $M[A,\$]$
- Todas entradas não definidas são erros

13

Mais um exemplo...

$E \rightarrow TE'$	Símbolo	First	Follow
$E' \rightarrow +TE' \mid \epsilon$	E	{(, id}	{\$,)}
$T \rightarrow FT'$	E'	{+, \epsilon}	{\$,)}
$T' \rightarrow *FT' \mid \epsilon$	T	{(, id}	{+, \$,)}
$F \rightarrow (E) \mid \text{id}$	T'	{*, \epsilon}	{+, \$,)}
	F	{(, id}	{*, +, \$,)}

Construir Tabela

14

Mais um exemplo...

$E \rightarrow TE'$	Símbolo	First	Follow
$E' \rightarrow +TE' \mid \epsilon$	E	{(, id}	{\$,)}
$T \rightarrow FT'$	E'	{+, \epsilon}	{\$,)}
$T' \rightarrow *FT' \mid \epsilon$	T	{(, id}	{+, \$,)}
$F \rightarrow (E) \mid \text{id}$	T'	{*, \epsilon}	{+, \$,)}
	F	{(, id}	{*, +, \$,)}

	*	id	(+)	\$
F		$F \rightarrow \text{id}$	$F \rightarrow (E)$			
E		$E \rightarrow TE'$	$E \rightarrow TE'$			
E'			$E' \rightarrow +TE'$	$E' \rightarrow \epsilon$	$E' \rightarrow \epsilon$	
T			$T \rightarrow FT'$	$T \rightarrow FT'$		
T'			$T' \rightarrow *FT'$	$T' \rightarrow \epsilon$	$T' \rightarrow \epsilon$	

15

Exercício LL(1)

Para: $G = (T, N, P, S)$ $P: S \rightarrow XYZ$
 $T = \{a, b, c, d, e, f\}$ $X \rightarrow aXb \mid \epsilon$
 $N = \{S, X, Y, Z\}$ $Y \rightarrow cYZcX \mid d$
 $Z \rightarrow eZYe \mid f$

Construir Tabela e Analisar a string: abcdcf

First(X) = {a, \epsilon} Follow(X) = {c, d, b, e, f}
 First(Y) = {c, d} Follow(Y) = {e, f}
 First(Z) = {e, f} Follow(Z) = {\$, c, d}
 First(S) = {a, c, d} Follow(S) = {\$}

16

Observação sobre a Tabela

- A tabela indica se há ambigüidade!
 - Mais de uma regra numa entrada!
- Soluções?
 - Tornar a gramática LL(1)
 - Eliminar ambigüidade, recursividade...
 - Usar uma heurística para desempatar as regras
 - Qual?
 - Usar outros algoritmos do que os top-down!
- Exemplo total: if... Then... Else:

$$S \rightarrow iEtS \mid iEtSeS \mid a$$

$$E \rightarrow b$$

17

Gerenciamento de Erros

- Relatar erros & recuperar
 - Relatar erros assim que possível
 - Mensagens de erro adequadas
 - Continua após o erro
 - Evitar a cascata de erros
- Nível-Frase (local) x Modo-Pânico
 - Nível frase: tenta-se alterar UM símbolo para recuperar.
 - Modo pânico: pula x tokens de entrada até poder voltar a fazer a análise.
 - = até encontrar um token de sincronização.

18

Recuperação em Modo Pânico

- Pula tokens até que um “conjunto de sincronização” é encontrado
 - Follow(A) (A sendo no topo da pilha)
 - Símbolos de alta hierarquia na gramática
 - { , for, while, if...
 - First(A)
 - Epsilon produção
 - Pop/Insert um terminal no topo da pilha.
- Adicione ações de sincronia para a tabela

19

Sumário

- Análise top-down possibilita o reconhecimento eficiente e simples de gramáticas LL(1):
 - Implementação preditiva com tabela.
 - Baseada nos cálculos dos conjuntos First/Follow
 - Obs: têm casos que não foram tratados (e.g. o '+'!)
- Limitação:
 - Quando a gramática não é LL(1) !
- Por isso: usa-se também análise ascendente (bottom-up).

20

Bibliografia

Leituras:

- A. M. A. Price, S. S. Toscani. **Implementação de Linguagens de Programação**: Compiladores. 3ª ed. Porto Alegre: Sagra-Luzzatto. 2005. Cap 3, Seção 3.2.3.
- A. V. Aho, R. Sethi, J. D. Ullman. **Compilers**: Principles, Techniques and Tools. Reading: Addison-Wesley. 1985. Seção 4.4 (parser não recursivo, preditivo).

21

Exercícios

- A. M. A. Price, S. S. Toscani. **Implementação de Linguagens de Programação**: Compiladores. 3ª ed. Porto Alegre: Sagra-Luzzatto. 2005. Cap 3.
 - 1 a 7

22