

Análise sintática

Função, interação com o compilador
Análise descendente e ascendente
Especificação e reconhecimento de cadeias de tokens válidas
Implementação
Tratamento de erros

Prof. Thiago A. S. Pardo
taspardo@icmc.usp.br

1

Análise sintática ascendente

- Parte-se dos **símbolos terminais em direção ao símbolo inicial** da gramática
- Derivação mais à direita

2

Análise sintática ascendente

- **Redução**: operação de substituição do lado direito de uma produção pelo não-terminal correspondente do lado esquerdo
 - Para a regra $A \rightarrow \alpha$, α pode ser reduzido em A
- Analisadores sintáticos ascendentes
 - Analisadores de **empilha-reduz** (*shift-reduce*)

3

Análise sintática ascendente

- **Componentes** do analisador ascendente
 - **Pilha**, onde os símbolos a serem reduzidos são empilhados
 - **Tabela sintática** que guia o processo de empilhamento e redução
- **Processo** de reconhecimento de uma sentença
 - Empilhar símbolos da cadeia de entrada
 - Quando um lado direito apropriado de uma produção aparece, ele é reduzido (substituído) pelo lado esquerdo da produção
 - Se a análise tiver sucesso, esse processo ocorre até que os símbolos da cadeia de entrada sejam todos consumidos e a pilha fique apenas com o símbolo inicial da gramática

4

Análise sintática ascendente

■ Exemplo

$\langle S \rangle ::= [\langle L \rangle] \mid a$
 $\langle L \rangle ::= \langle L \rangle ; \langle S \rangle \mid \langle S \rangle$

Reconhecer a cadeia [a;a]

Pilha	Cadeia	Regra
\$	[a;a]\$	

5

Análise sintática ascendente

■ Exemplo

$\langle S \rangle ::= [\langle L \rangle] \mid a$
 $\langle L \rangle ::= \langle L \rangle ; \langle S \rangle \mid \langle S \rangle$

Reconhecer a cadeia [a;a]

Pilha	Cadeia	Regra
\$	[a;a]\$	empilha [
\$[	a;a]\$	empilha a
\$[a	;a]\$	reduz $S \rightarrow a$
\$[S	;a]\$	reduz $L \rightarrow S$
\$[L	;a]\$	empilha ;
\$[L;	a]\$	empilha a
\$[L;a	]\$	reduz $S \rightarrow a$
\$[L;S	]\$	reduz $L \rightarrow L;S$
\$[L	]\$	empilha]
\$[L]	\$	reduz $S \rightarrow [L]$
\$S	\$	SUCESSO

6

Análise sintática ascendente

- O analisador empilha símbolos até ter na pilha uma seqüência de símbolos que corresponde à definição de um não terminal
 - Seqüência de símbolos: lado direito da produção
 - Não terminal: lado esquerdo da produção
- *Handle*
 - Produção cujo lado direito está na pilha
- Operação de **redução**: substituição do **lado direito do handle** pelo seu **lado esquerdo**
 - O uso da **seqüência correta de handles** no processo de análise leva ao símbolo inicial da gramática
 - Derivação mais a direita para a cadeia de entrada

7

Análise sintática ascendente

Exemplo

$\langle S \rangle ::= [\langle L \rangle] \mid a$
 $\langle L \rangle ::= \langle L \rangle ; \langle S \rangle \mid \langle S \rangle$

Haveria outras opções de handles?

Pilha	Cadeia	Regra
\$	[a;a]\$	empilha [
\$[	a;a]\$	empilha a
\$[a	;a]\$	reduz $S \rightarrow a$
\$[S	;a]\$	reduz $L \rightarrow S$
\$[L	;a]\$	empilha ;
\$[L;	a]\$	empilha a
\$[L;a	]\$	reduz $S \rightarrow a$
\$[L;S	]\$	reduz $L \rightarrow L;S$
\$[L	]\$	empilha]
\$[L]	\$	reduz $S \rightarrow [L]$
\$S	\$	SUCESSO

8

Análise sintática ascendente

Exemplo

$\langle S \rangle ::= [\langle L \rangle] \mid a$
 $\langle L \rangle ::= \langle L \rangle ; \langle S \rangle \mid \langle S \rangle$

Haveria outras opções de handles?

- $L \rightarrow S$
 - O que aconteceria?

Pilha	Cadeia	Regra
\$	[a;a]\$	empilha [
\$[	a;a]\$	empilha a
\$[a	;a]\$	reduz $S \rightarrow a$
\$[S	;a]\$	reduz $L \rightarrow S$
\$[L	;a]\$	empilha ;
\$[L;	a]\$	empilha a
\$[L;a	]\$	reduz $S \rightarrow a$
\$[L;S	]\$	reduz $L \rightarrow L;S$
\$[L	]\$	empilha]
\$[L]	\$	reduz $S \rightarrow [L]$
\$S	\$	SUCESSO

9

Análise sintática ascendente

Operações durante a análise

- **Empilha:** coloca-se no topo da pilha o primeiro símbolo da cadeia de entrada
- **Reduz:** substitui-se a lado direito do *handle* pelo seu lado esquerdo
- **Aceita:** a cadeia de entrada é reconhecida
- **Erro:** a cadeia de entrada não é reconhecida

10

Análise sintática ascendente

- *Bottom-up*, ascendente ou redutiva
 - Analisadores de precedência de operadores
 - Analisadores LR
 - SLR: *Simple LR*
 - LR Canônico
 - *Look Ahead LR*: LALR

11

ASA: precedência de operadores

- Simples e eficiente
- Aplicada, principalmente, para o reconhecimento de expressões
- Subclasse de gramáticas
 - Gramáticas de (precedência de) operadores
 - Não há símbolos não terminais adjacentes
 - Não há produções que derivam a cadeia nula

12

ASA: precedência de operadores

- Exemplo: a gramática abaixo não é de precedência de operadores

$$\begin{aligned} \langle E \rangle &::= \langle E \rangle \langle O \rangle \langle E \rangle \mid (\langle E \rangle) \mid \text{id} \\ \langle O \rangle &::= + \mid - \end{aligned}$$

- Transformando-a em gramática de operadores:

$$\langle E \rangle ::= \langle E \rangle + \langle E \rangle \mid \langle E \rangle - \langle E \rangle \mid (\langle E \rangle) \mid \text{id}$$

13

ASA: precedência de operadores

- Para identificar os *handles*, utilizam-se **relações de precedência** existentes entre os símbolos terminais (operandos e operadores) em uma tabela sintática (ou de precedência)

- $<, > \text{ e } =$

- Considere os terminais a e b

- $a < b$ significa que a tem precedência menor do que b
- $a = b$ significa que a e b têm a mesma precedência
- $a > b$ significa que a tem precedência maior do que b

- Durante a análise ascendente, na pilha:

- $<$ identifica o limite esquerdo do lado direito do *handle*
- $=$ indica que os terminais envolvidos pertencem ao mesmo *handle*
- $>$ identifica o limite direito do lado direito do *handle*

14

ASA: precedência de operadores

■ Tabela sintática

- Matriz quadrada que relaciona todos os terminais da gramática e o símbolo delimitador utilizado (\$)
- Primeira linha da tabela: terminais da cadeia sendo analisada
- Primeira coluna da tabela: terminais do topo da pilha

	id	+	*	→ cadeia
id		>	>	
+	<	>	<	
*	<	>	>	

↓
pilha

- Poucos terminais são operadores

Onde estão os não terminais?
15

ASA: precedência de operadores

■ Uso da tabela sintática

- Seja a o terminal mais ao topo da pilha (os não terminais são ignorados) e b o primeiro terminal da cadeia sendo analisada
 - Se $a < b$ ou $a = b$, então se empilha b
 - Se $a > b$, então se procura o lado direito do *handle* na pilha e o substitui pelo seu lado esquerdo
- O lado direito do *handle* estará delimitado na pilha pelos símbolos $<$ e $>$
 - Os não terminais não precisam aparecer, mas se deve saber que foram produzidos e que seus derivados correspondentes foram consumidos

16

ASA: precedência de operadores

Exemplo: expressões lógicas

$\langle E \rangle ::= \langle E \rangle / \langle T \rangle \mid \langle T \rangle$
 $\langle T \rangle ::= \langle T \rangle \& \langle F \rangle \mid \langle F \rangle$
 $\langle F \rangle ::= (\langle E \rangle) \mid \text{id}$

Tabela sintática

	id	/	&	()	\$
id		>	>		>	>
/	<	>	<	<	>	>
&	<	>	>	<	>	>
(<	<	<	<	=	
)		>	>		>	>
\$	<	<	<	<		

Pilha	Cadeia	Regra
\$	id&id/id\$	

17

ASA: precedência de operadores

Exemplo: expressões lógicas

$\langle E \rangle ::= \langle E \rangle / \langle T \rangle \mid \langle T \rangle$
 $\langle T \rangle ::= \langle T \rangle \& \langle F \rangle \mid \langle F \rangle$
 $\langle F \rangle ::= (\langle E \rangle) \mid \text{id}$

Tabela sintática

	id	/	&	()	\$
id		>	>		>	>
/	<	>	<	<	>	>
&	<	>	>	<	>	>
(<	<	<	<	=	
)		>	>		>	>
\$	<	<	<	<		

Pilha	Cadeia	Regra
\$<	id&id/id\$	empilha
\$<id>	&id/id\$	reduz
\$<	&id/id\$	empilha
\$<&<	id/id\$	empilha
\$<&<id>	/id\$	reduz
\$<&>	/id\$	reduz
\$<	/id\$	empilha
\$</<	id\$	empilha
\$</<id>	\$	reduz
\$</>	\$	reduz
\$E	\$	SUCESSO

18

ASA: precedência de operadores

- Exercício: reconheça a expressão (id)

$\langle E \rangle ::= \langle E \rangle / \langle T \rangle \mid \langle T \rangle$
 $\langle T \rangle ::= \langle T \rangle \& \langle F \rangle \mid \langle F \rangle$
 $\langle F \rangle ::= (\langle E \rangle) \mid \text{id}$

Pilha	Cadeia	Regra
\$	(id)\$	

Tabela sintática

	id	/	&	()	\$
id		>	>		>	>
/	<	>	<	<	>	>
&	<	>	>	<	>	>
(<	<	<	<	=	
)		>	>		>	>
\$	<	<	<	<		

19

ASA: precedência de operadores

- Exercício: reconheça a expressão (id)

$\langle E \rangle ::= \langle E \rangle / \langle T \rangle \mid \langle T \rangle$
 $\langle T \rangle ::= \langle T \rangle \& \langle F \rangle \mid \langle F \rangle$
 $\langle F \rangle ::= (\langle E \rangle) \mid \text{id}$

Pilha	Cadeia	Regra
\$<	(id)\$	empilha
\$<(<	id)\$	empilha
\$<(<id>	)\$	reduz
\$<(=	)\$	empilha
\$<(=)>	\$	reduz
\$E	\$	SUCESSO

Tabela sintática

	id	/	&	()	\$
id		>	>		>	>
/	<	>	<	<	>	>
&	<	>	>	<	>	>
(<	<	<	<	=	
)		>	>		>	>
\$	<	<	<	<		

20

ASA: precedência de operadores

■ Algoritmo do ASA de precedência de operadores

Seja S o símbolo inicial da gramática, a o símbolo terminal mais ao topo da pilha e b o primeiro símbolo da cadeia de entrada

repita

se ($\$S$ é o topo da pilha e $\$$ é o primeiro símbolo da cadeia) então SUCESSO

senão se ($a < b$ ou $a = b$) então empilha b

senão se ($a > b$) então

desempilha até haver $<$ entre o terminal do topo e o último desempilhado

senão ERRO

21

ASA: precedência de operadores

■ 2 métodos para construção da tabela sintática

□ **Intuitivo**: baseado no conhecimento da precedência e associatividade dos operadores

□ **Mecânico**: obtém-se a tabela diretamente da gramática

22

ASA: precedência de operadores

■ Método intuitivo

□ Para 2 operadores quaisquer x e y

1. Se x tem maior precedência do que y, então tem-se x (na pilha) > y (na cadeia) e y (na pilha) < x (na cadeia)
 - Exemplo: como * tem maior precedência que +, então * > + e + < *
2. Se x e y têm precedência igual (ou são iguais) e são associativos à esquerda, então tem-se x > y e y > x; se são associativos à direita, então tem-se x < y e y < x
 - Exemplo: como * e / têm a mesma precedência e são associativos à esquerda, tem-se * > / e / > *; como o operador de exponenciação ** é associativo à direita, tem-se ** < **

23

ASA: precedência de operadores

3. As relações entre os operadores e os demais símbolos terminais (operandos e delimitadores) são fixas
 - Para qualquer operador x, tem-se x > \$, \$ < x, x < id, id > x, x < (, (< x, x >) e) > x
4. As relações entre os operandos também são fixas
 - (< (,) >), id >), \$ < (, (=),) > \$, id > \$, \$ < id, (< id

24

ASA: precedência de operadores

- Exemplo: construir a tabela sintática para a gramática abaixo

$\langle E \rangle ::= \langle E \rangle + \langle E \rangle \mid \langle E \rangle * \langle E \rangle \mid \langle E \rangle ** \langle E \rangle \mid (\langle E \rangle) \mid id$

sabendo-se que: ****** tem maior precedência e é associativo à direita;
***** tem precedência intermediária e é associativo à esquerda; **+**
 tem menor precedência e é associativo à esquerda

	+	*	**	(	)	id	\$
+							
*							
**							
(
)							
id							
\$							

25

ASA: precedência de operadores

- Exemplo: construir a tabela sintática para a gramática abaixo

$\langle E \rangle ::= \langle E \rangle + \langle E \rangle \mid \langle E \rangle * \langle E \rangle \mid \langle E \rangle ** \langle E \rangle \mid (\langle E \rangle) \mid id$

sabendo-se que: ****** tem maior precedência e é associativo à direita;
***** tem precedência intermediária e é associativo à esquerda; **+**
 tem menor precedência e é associativo à esquerda

	+	*	**	(	)	id	\$
+	>	<	<	<	>	<	>
*	>	>	<	<	>	<	>
**	>	>	<	<	>	<	>
(<	<	<	<	=	<	
)	>	>	>		>		>
id	>	>	>		>		>
\$	<	<	<	<		<	OK

26

ASA: precedência de operadores

- Método mecânico: aplicável para gramáticas não ambíguas
 - Para os terminais a e b
 1. $a=b$ se $\alpha\beta\gamma$ é lado direito de produção e β é λ ou um único símbolo não terminal
 2. $a<b$ se $\alpha X\beta$ é lado direito de produção e X produz $\gamma b\delta$ e γ é λ ou um único símbolo não terminal
 3. $\$<b$ se S produz $\gamma b\delta$ e γ é λ ou um único símbolo não terminal
 4. $a>b$ se $\alpha X b\beta$ é lado direito de produção e X produz $\gamma a\delta$ e δ é λ ou um único símbolo não terminal
 5. $a>\$$ se S produz $\gamma a\delta$ e δ é λ ou um único símbolo não terminal

27

ASA: precedência de operadores

- Em outras palavras
 - Um terminal a seguido imediatamente de um não terminal X tem precedência menor do que os primeiros símbolos terminais deriváveis a partir de X (precedidos de λ ou um não terminal)
 - Todos os últimos terminais que podem ser derivados a partir de um não terminal X (seguidos de λ ou um não terminal) têm precedência maior do que um terminal que segue imediatamente a X

28

ASA: precedência de operadores

- Exemplo: construir a tabela sintática para a gramática abaixo

$\langle E \rangle ::= \langle E \rangle + \langle E \rangle \mid \langle E \rangle * \langle E \rangle \mid \langle E \rangle ** \langle E \rangle \mid (\langle E \rangle) \mid id$

Inicialmente, deve-se eliminar a ambiguidade da gramática (mantendo a precedência e a associatividade dos operadores)

$\langle E \rangle ::= \langle E \rangle + \langle T \rangle \mid \langle T \rangle$

$\langle T \rangle ::= \langle T \rangle * \langle F \rangle \mid \langle F \rangle$

$\langle F \rangle ::= \langle P \rangle ** \langle F \rangle \mid \langle P \rangle$

$\langle P \rangle ::= id \mid (\langle E \rangle)$

29

ASA: precedência de operadores

Determinam-se, para cada não terminal, os primeiros e últimos terminais possíveis de ocorrerem em uma cadeia derivada a partir do não terminal

	Primeiros	Últimos
E	+ * ** (id	+ * **) id
T	* ** (id	* **) id
F	** (id	**) id
P	id (	id)

30

ASA: precedência de operadores

Para computar $<$, procurar pares aX nos lados direitos de produção; tem-se que a tem menor precedência do que qualquer primeiro terminal derivado a partir de X

Pares: $+T \quad *F \quad **F \quad (E$

Relações: $+ < \{*, **, (, id\}$
 $* < \{**, (, id\}$
 $** < \{**, (, id\}$
 $(< \{+, *, **, (, id\}$

31

ASA: precedência de operadores

Para computar $>$, procurar pares Xb nos lados direitos de produção; tem-se que qualquer último terminal derivado de X tem precedência maior do que b

Pares: $E+ \quad T* \quad P** \quad E)$

Relações: $\{+, *, **, (, id\} > +$
 $\{*, **, (, id\} > *$
 $\{(), id\} > **$
 $\{+, *, **, (, id\} >)$

32

ASA: precedência de operadores

Para computar $=$, procurar $a\beta b$ nos lados direitos das produções, onde β é λ ou um não terminal, e fazer $a=b$

Dada o lado direito (E), tem-se ($=$)

$\$$ tem precedência menor do que todos os primeiros terminais deriváveis a partir do símbolo inicial da gramática

$\$ < \{+, *, **, (, id$

Todos os últimos terminais derivados a partir do símbolo inicial da gramática têm precedência maior do que $\$$

$\{+, *, **,), id\} > \$$

33

Exercício

- Construir a tabela sintática para a gramática abaixo pelo método mecânico

$S \rightarrow (S O S) \mid a \mid b$

$O \rightarrow + \mid *$

34

Exercício

- Utilizando a tabela construída anteriormente, reconheça a cadeia **(a*b)**