

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

- *Top-down* ou descendente
 - Com retrocesso: por tentativa e erro
 - Preditiva: para gramáticas LL(1)
 - Recursiva
 - Não recursiva

2

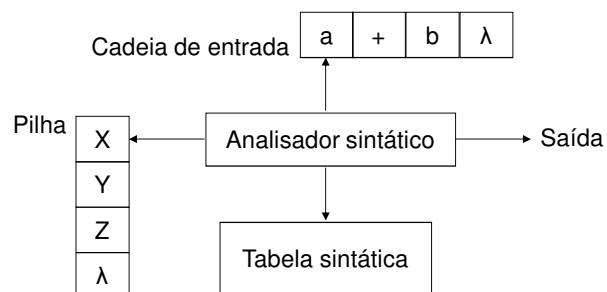
ASD preditiva não recursiva

- **Alternativa** para os procedimentos recursivos
 - Gramáticas LL(1)
- **O que é a recursividade? Como eliminá-la?**

3

ASD preditiva não recursiva

- **Idéia geral**
 - A recursão é substituída pelo uso de uma pilha onde os símbolos sendo expandidos são armazenados
 - Para determinar qual regra gramatical aplicar, consulta-se uma tabela sintática

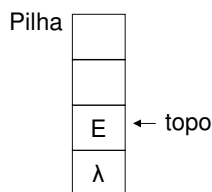


4

ASD preditiva não recursiva

■ Funcionamento

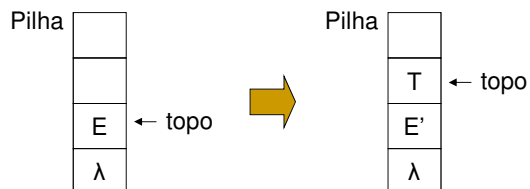
- Um símbolo não terminal a ser expandido é empilhado

$$\begin{aligned} \langle E \rangle &::= \langle T \rangle \langle E' \rangle \\ \langle E' \rangle &::= + \langle E \rangle \mid \lambda \\ \langle T \rangle &::= a \mid b \end{aligned}$$


5

ASD preditiva não recursiva

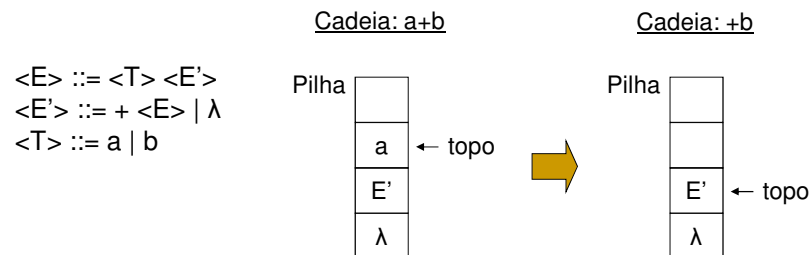
- Ao expandir um não terminal no topo da pilha, ele é desempilhado e seu lado direito da regra gramatical é empilhado (em sentido inverso) para expansão
 - O sentido inverso garante a ordem natural de expansão da esquerda para a direita

$$\begin{aligned} \langle E \rangle &::= \langle T \rangle \langle E' \rangle \\ \langle E' \rangle &::= + \langle E \rangle \mid \lambda \\ \langle T \rangle &::= a \mid b \end{aligned}$$


6

ASD preditiva não recursiva

- Quando um símbolo terminal estiver no topo da pilha e esse mesmo símbolo estiver no início da cadeia sendo reconhecida, o terminal é desempilhado e o símbolo inicial da cadeia consumido



7

ASD preditiva não recursiva

- Considere X o topo da pilha e a o símbolo inicial da cadeia de entrada
- Possibilidades durante a análise
 - Se $X=a=\lambda$, então o analisador termina a análise com sucesso
 - Se $X=a \neq \lambda$, então o analisador desempilha X e consome o símbolo inicial da cadeia
 - Se X é não terminal, então o analisador procura na tabela sintática a regra de X que produz o símbolo inicial da cadeia e empilha seu lado direito (em sentido inverso)
 - Se X é terminal e é diferente de a ou se X é não terminal e não há regra cuja derivação produza a , então um erro ocorreu

8

ASD preditiva não recursiva

■ Exemplo

$\langle E \rangle ::= \langle T \rangle \langle E' \rangle$
 $\langle E' \rangle ::= + \langle E \rangle \mid \lambda$
 $\langle T \rangle ::= a \mid b$

Tabela sintática

	a	b	+	λ
E	$E \rightarrow TE'$	$E \rightarrow TE'$		
E'			$E' \rightarrow +E$	$E' \rightarrow \lambda$
T	$T \rightarrow a$	$T \rightarrow b$		

Reconhecer a+b

Pilha	Cadeia	Regra
λE	a+b λ	

9

ASD preditiva não recursiva

■ Exemplo

$\langle E \rangle ::= \langle T \rangle \langle E' \rangle$
 $\langle E' \rangle ::= + \langle E \rangle \mid \lambda$
 $\langle T \rangle ::= a \mid b$

Tabela sintática

	a	b	+	λ
E	$E \rightarrow TE'$	$E \rightarrow TE'$		
E'			$E' \rightarrow +E$	$E' \rightarrow \lambda$
T	$T \rightarrow a$	$T \rightarrow b$		

Reconhecer a+b

Pilha	Cadeia	Regra
λE	a+b λ	$E \rightarrow TE'$
$\lambda E'T$	a+b λ	$T \rightarrow a$
$\lambda E'a$	a+b λ	---
$\lambda E'$	+b λ	$E' \rightarrow +E$
$\lambda E+$	+b λ	---
λE	b λ	$E \rightarrow TE'$
$\lambda E'T$	b λ	$T \rightarrow b$
$\lambda E'b$	b λ	---
$\lambda E'$	λ	$E' \rightarrow \lambda$
λ	λ	SUCESSO

10

ASD preditiva não recursiva

Exemplo

$\langle E \rangle ::= \langle T \rangle \langle E' \rangle$
 $\langle E' \rangle ::= + \langle E \rangle \mid \lambda$
 $\langle T \rangle ::= a \mid b$

Tabela sintática

	a	b	+	λ
E	$E \rightarrow TE'$	$E \rightarrow TE'$		
E'			$E' \rightarrow +E$	$E' \rightarrow \lambda$
T	$T \rightarrow a$	$T \rightarrow b$		

Reconhecer a^*b

11

ASD preditiva não recursiva

Exemplo

$\langle E \rangle ::= \langle T \rangle \langle E' \rangle$
 $\langle E' \rangle ::= + \langle E \rangle \mid \lambda$
 $\langle T \rangle ::= a \mid b$

Tabela sintática

	a	b	+	λ
E	$E \rightarrow TE'$	$E \rightarrow TE'$		
E'			$E' \rightarrow +E$	$E' \rightarrow \lambda$
T	$T \rightarrow a$	$T \rightarrow b$		

Reconhecer a^*b

Pilha	Cadeia	Regra
λE	$a^*b\lambda$	$E \rightarrow TE'$
$\lambda E'T$	$a^*b\lambda$	$T \rightarrow a$
$\lambda E'a$	$a^*b\lambda$	---
$\lambda E'$	$*b\lambda$	ERRO

A cadeia não pertence à linguagem!

12

ASD preditiva não recursiva

- Algoritmo de análise sintática

empilhe um símbolo delimitador (λ) e o símbolo inicial da gramática;

concatene ao final da cadeia um símbolo delimitador (λ);

faça ip apontar para o primeiro símbolo da cadeia;

repetir

X =símbolo no topo da pilha;

a =símbolo apontado por ip ;

se (X for um terminal ou o símbolo delimitador) então

se $X=a$ então desempilhar X ;

avançar ip ;

senão ERRO;

senão */* X é um não terminal*/*

se (existe na tabela sintática uma regra de X que produza a) então

desempilhar X ;

empilhar em sentido inverso o lado direito da regra selecionada;

senão ERRO;

até que X =símbolo delimitador ou a =símbolo delimitador

*/*pilha está vazia ou fim de cadeia*/*

ASD preditiva não recursiva

- Exercício: reconheça a cadeia 01012

$\langle S \rangle ::= 0\langle A \rangle \mid 1\langle B \rangle$

$\langle A \rangle ::= 1\langle B \rangle \mid 2$

$\langle B \rangle ::= 0\langle A \rangle \mid 2$

Tabela sintática

	0	1	2
S	$S \rightarrow 0A$	$S \rightarrow 1B$	
A		$A \rightarrow 1B$	$A \rightarrow 2$
B	$B \rightarrow 0A$		$B \rightarrow 2$

ASD preditiva não recursiva

- Exercício: reconheça a cadeia 01012

$\langle S \rangle ::= 0\langle A \rangle \mid 1\langle B \rangle$

$\langle A \rangle ::= 1\langle B \rangle \mid 2$

$\langle B \rangle ::= 0\langle A \rangle \mid 2$

Tabela sintática

	0	1	2
S	S→0A	S→1B	
A		A→1B	A→2
B	B→0A		B→2

Pilha	Cadeia	Regra
λS	01012λ	S→0A
λA0	01012λ	---
λA	1012λ	A→1B
λB1	1012λ	---
λB	012λ	B→0A
λA0	012λ	---
λA	12λ	A→1B
λB1	12λ	---
λB	2λ	B→2
λ2	2λ	---
λ	λ	SUCESSO

15

ASD preditiva não recursiva

- Como construir a tabela sintática?

$\langle S \rangle ::= 0\langle A \rangle \mid 1\langle B \rangle$

$\langle A \rangle ::= 1\langle B \rangle \mid 2$

$\langle B \rangle ::= 0\langle A \rangle \mid 2$

Tabela sintática

	0	1	2
S	S→0A	S→1B	
A		A→1B	A→2
B	B→0A		B→2

16

ASD preditiva não recursiva

- Como construir a tabela sintática?

$\langle S \rangle ::= 0\langle A \rangle \mid 1\langle B \rangle$
 $\langle A \rangle ::= 1\langle B \rangle \mid 2$
 $\langle B \rangle ::= 0\langle A \rangle \mid 2$

Tabela sintática

	0	1	2
S	S→0A	S→1B	
A		A→1B	A→2
B	B→0A		B→2

- De acordo com o exemplo, para um não terminal X e um terminal a , a tabela indica a regra de X cujo conjunto Primeiro contém a
 - Atenção: λ só aparece na tabela se aparecer na gramática

17

ASD preditiva não recursiva

- Exercício: construa a tabela sintática

$\langle S \rangle ::= 0\langle A \rangle \mid \langle B \rangle$
 $\langle A \rangle ::= a\langle A \rangle \mid \lambda$
 $\langle B \rangle ::= b$

18

ASD preditiva não recursiva

- Exercício: reconheça a cadeia **0aa**

$\langle S \rangle ::= 0\langle A \rangle \mid \langle B \rangle$

$\langle A \rangle ::= a\langle A \rangle \mid \lambda$

$\langle B \rangle ::= b$

Tabela sintática

	0	a	b	λ
S	$S \rightarrow 0A$		$S \rightarrow B$	
A		$A \rightarrow aA$		$A \rightarrow \lambda$
B			$B \rightarrow b$	

19

ASD preditiva não recursiva

- Exercício: reconheça a cadeia **0aa**

$\langle S \rangle ::= 0\langle A \rangle \mid \langle B \rangle$

$\langle A \rangle ::= a\langle A \rangle \mid \lambda$

$\langle B \rangle ::= b$

Tabela sintática

	0	a	b	λ
S	$S \rightarrow 0A$		$S \rightarrow B$	
A		$A \rightarrow aA$		$A \rightarrow \lambda$
B			$B \rightarrow b$	

Pilha	Cadeia	Regra
λS	0aa λ	$S \rightarrow 0A$
$\lambda A 0$	0aa λ	---
λA	aa λ	$A \rightarrow aA$
$\lambda A a$	aa λ	---
λA	a λ	$A \rightarrow aA$
$\lambda A a$	a λ	---
λA	λ	$A \rightarrow \lambda$
λ	λ	SUCESSO

20

ASD preditiva não recursiva

- Exercício: construa a tabela e reconheça a cadeia 0a1

$\langle S \rangle ::= 0\langle A \rangle 1 \mid \langle B \rangle$

$\langle A \rangle ::= a\langle A \rangle \mid \lambda$

$\langle B \rangle ::= b$

21

ASD preditiva não recursiva

- Exercício: construa a tabela e reconheça a cadeia 0a1

$\langle S \rangle ::= 0\langle A \rangle 1 \mid \langle B \rangle$

$\langle A \rangle ::= a\langle A \rangle \mid \lambda$

$\langle B \rangle ::= b$

Tabela sintática

	0	1	a	b	λ
S	$S \rightarrow 0A1$			$S \rightarrow B$	
A			$A \rightarrow aA$		$A \rightarrow \lambda$
B				$B \rightarrow b$	

Pilha	Cadeia	Regra
λS	0a1 λ	$S \rightarrow 0A1$
$\lambda 1A0$	0a1 λ	---
$\lambda 1A$	a1 λ	$A \rightarrow aA$
$\lambda 1Aa$	a1 λ	---
$\lambda 1A$	1 λ	ERRO

Por que aconteceu o erro?
A cadeia não faz parte da
linguagem? Ou a tabela está
errada?

22

ASD preditiva não recursiva

- Exercício: construa a tabela e reconheça a cadeia 0a1

$\langle S \rangle ::= 0\langle A \rangle 1 \mid \langle B \rangle$

$\langle A \rangle ::= a\langle A \rangle \mid \lambda$

$\langle B \rangle ::= b$

Tabela sintática

	0	1	a	b	λ
S	S \rightarrow 0A1			S \rightarrow B	
A		A \rightarrow λ	A \rightarrow aA		A \rightarrow λ
B				B \rightarrow b	

Pilha	Cadeia	Regra
λS	0a1 λ	S \rightarrow 0A1
$\lambda 1A0$	0a1 λ	---
$\lambda 1A$	a1 λ	A \rightarrow aA
$\lambda 1Aa$	a1 λ	---
$\lambda 1A$	1 λ	ERRO

Por que aconteceu o erro?
A cadeia não faz parte da
linguagem? Ou a tabela está
errada?

Para se chegar ao terminal 1, A deve produzir λ . Portanto, a regra A \rightarrow λ deve ser adicionada na tabela para a combinação de A com 1

23

ASD preditiva não recursiva

- Regras para construção da tabela sintática

- Para cada produção A \rightarrow α da gramática, execute os passos 2 e 3 abaixo
- Para cada terminal a em Primeiro(α), adicione A \rightarrow α em T[A, a]
- Se λ estiver em Primeiro(α), adicione A \rightarrow α em T[A, b] para cada terminal b em Seguidor(A)
- Faça cada entrada indefinida da tabela indicar erro

24

ASD preditiva não recursiva

- Exercício: construir a tabela sintática para a gramática abaixo

$\langle E \rangle ::= \langle T \rangle \langle E' \rangle$
 $\langle E' \rangle ::= + \langle T \rangle \langle E' \rangle \mid \lambda$
 $\langle T \rangle ::= \langle F \rangle \langle T' \rangle$
 $\langle T' \rangle ::= * \langle F \rangle \langle T' \rangle \mid \lambda$
 $\langle F \rangle ::= (E) \mid \text{id}$

25

ASD preditiva não recursiva

- Exercício: construir a tabela sintática para a gramática abaixo

$\langle E \rangle ::= \langle T \rangle \langle E' \rangle$	$P(E) = P(T) = \{ (, \text{id} \}$	$S(E) = \{ \}, \lambda \}$
$\langle E' \rangle ::= + \langle T \rangle \langle E' \rangle \mid \lambda$	$P(E') = \{ +, \lambda \}$	$S(E') = S(E) + S(E') = \{ \}, \lambda \}$
$\langle T \rangle ::= \langle F \rangle \langle T' \rangle$	$P(T) = P(F) = \{ (, \text{id} \}$	$S(T) = P(E') = \{ + \} + S(E) + S(E') = \{ +, \}, \lambda \}$
$\langle T' \rangle ::= * \langle F \rangle \langle T' \rangle \mid \lambda$	$P(T') = \{ *, \lambda \}$	$S(T') = S(T) + S(T') = \{ +, \}, \lambda \}$
$\langle F \rangle ::= (E) \mid \text{id}$	$P(F) = \{ (, \text{id} \}$	$S(F) = P(T') = \{ * \} + S(T) + S(T') = \{ *, +, \}, \lambda \}$

26

ASD preditiva não recursiva

- Exercício: construir a tabela sintática para a gramática abaixo

$\langle E \rangle ::= \langle T \rangle \langle E' \rangle$
 $\langle E' \rangle ::= + \langle T \rangle \langle E' \rangle \mid \lambda$
 $\langle T \rangle ::= \langle F \rangle \langle T' \rangle$
 $\langle T' \rangle ::= * \langle F \rangle \langle T' \rangle \mid \lambda$
 $\langle F \rangle ::= (E) \mid id$

$P(E) = P(T) = \{(, id\}$
 $P(E') = \{+, \lambda\}$
 $P(T) = P(F) = \{(, id\}$
 $P(T') = \{*, \lambda\}$
 $P(F) = \{(, id\}$

$S(E) = \{(), \lambda\}$
 $S(E') = S(E) + S(E') = \{(), \lambda\}$
 $S(T) = P(E') = \{+, \lambda\} + S(E) + S(E') = \{+, (), \lambda\}$
 $S(T') = S(T) + S(T') = \{+, (), \lambda\}$
 $S(F) = P(T') = \{*\} + S(T) + S(T') = \{*, +, (), \lambda\}$

Tabela sintática

	id	+	*	()	λ
E						
E'						
T						
T'						
F						

27

ASD preditiva não recursiva

- Exercício: construir a tabela sintática para a gramática abaixo

$\langle E \rangle ::= \langle T \rangle \langle E' \rangle$
 $\langle E' \rangle ::= + \langle T \rangle \langle E' \rangle \mid \lambda$
 $\langle T \rangle ::= \langle F \rangle \langle T' \rangle$
 $\langle T' \rangle ::= * \langle F \rangle \langle T' \rangle \mid \lambda$
 $\langle F \rangle ::= (E) \mid id$

$P(E) = P(T) = \{(, id\}$
 $P(E') = \{+, \lambda\}$
 $P(T) = P(F) = \{(, id\}$
 $P(T') = \{*, \lambda\}$
 $P(F) = \{(, id\}$

$S(E) = \{(), \lambda\}$
 $S(E') = S(E) + S(E') = \{(), \lambda\}$
 $S(T) = P(E') = \{+, \lambda\} + S(E) + S(E') = \{+, (), \lambda\}$
 $S(T') = S(T) + S(T') = \{+, (), \lambda\}$
 $S(F) = P(T') = \{*\} + S(T) + S(T') = \{*, +, (), \lambda\}$

Tabela sintática

	id	+	*	()	λ
E	$E \rightarrow TE'$			$E \rightarrow TE'$		
E'		$E' \rightarrow +TE'$			$E' \rightarrow \lambda$	$E' \rightarrow \lambda$
T	$T \rightarrow FT'$			$T \rightarrow FT'$		
T'		$T' \rightarrow \lambda$	$T' \rightarrow *FT'$		$T' \rightarrow \lambda$	$T' \rightarrow \lambda$
F	$F \rightarrow id$			$F \rightarrow (E)$		

28

ASD preditiva não recursiva

- Exercício: reconhecer a cadeia $id+id*id$

$\langle E \rangle ::= \langle T \rangle \langle E' \rangle$
 $\langle E' \rangle ::= + \langle T \rangle \langle E' \rangle \mid \lambda$
 $\langle T \rangle ::= \langle F \rangle \langle T' \rangle$
 $\langle T' \rangle ::= * \langle F \rangle \langle T' \rangle \mid \lambda$
 $\langle F \rangle ::= (E) \mid id$

Tabela sintática

	id	+	*	()	λ
E	$E \rightarrow TE'$			$E \rightarrow TE'$		
E'		$E' \rightarrow +TE'$			$E' \rightarrow \lambda$	$E' \rightarrow \lambda$
T	$T \rightarrow FT'$			$T \rightarrow FT'$		
T'		$T' \rightarrow \lambda$	$T' \rightarrow *FT'$		$T' \rightarrow \lambda$	$T' \rightarrow \lambda$
F	$F \rightarrow id$			$F \rightarrow (E)$		

29

ASD preditiva não recursiva

- Considere a gramática

$\langle S \rangle ::= \text{if } \langle E \rangle \text{ then } \langle S \rangle \mid \text{if } \langle E \rangle \text{ then } \langle S \rangle \text{ else } \langle S \rangle$

Transformando em LL(1):

$\langle S \rangle ::= \text{if } \langle E \rangle \text{ then } \langle S \rangle \langle S' \rangle$
 $\langle S' \rangle ::= \text{else } \langle S \rangle \mid \lambda$

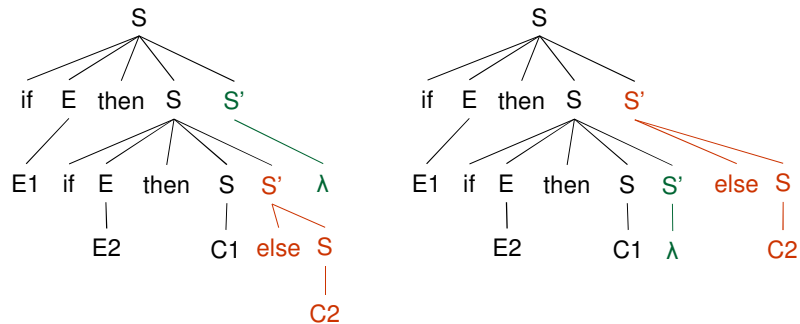
- Reconhecer a cadeia $\text{if } E1 \text{ then if } E2 \text{ then } C1 \text{ else } C2$

30

ASD preditiva não recursiva

- Duas possibilidades: gramática ambígua

$\langle S \rangle ::= \text{if } \langle E \rangle \text{ then } \langle S \rangle \langle S' \rangle$ if E1 then if E2 then C1 else C2
 $\langle S' \rangle ::= \text{else } \langle S \rangle \mid \lambda$



31

ASD preditiva não recursiva

- Construir tabela sintática

$\langle S \rangle ::= \text{if } \langle E \rangle \text{ then } \langle S \rangle \langle S' \rangle$
 $\langle S' \rangle ::= \text{else } \langle S \rangle \mid \lambda$

32

ASD preditiva não recursiva

- Construir tabela sintática

$\langle S \rangle ::= \text{if } \langle E \rangle \text{ then } \langle S \rangle \langle S' \rangle$
 $\langle S' \rangle ::= \text{else } \langle S \rangle \mid \lambda$

Primeiro(S)={if}
 Primeiro(S')={else,λ}
 Seguidor(S)={λ} U Primeiro(S') U Seguidor(S')={else,λ}
 Seguidor(S')=Seguidor(S)={else,λ}

	if	then	else	λ
S	S → if E then S S'			
S'			S' → else S S' → λ	S' → λ

Como resolver isso?

33

ASD preditiva não recursiva

- Solução

- Escolhe-se uma das regras

	if	then	else	λ
S	S → if E then S S'			
S'			S' → else S	S' → λ

- Resultado: o *else* se relaciona ao *then* mais próximo

34