

Tradução dirigida pela sintaxe

Definições L-atribuídas

Prof. Edson Alves

Faculdade UnB Gama

Sumário

1. Definições L-atribuídas
2. Tradução *top-down*

Ordem de avaliação dos atributos

- ▶ Quando a tradução acontece durante a análise sintática, a ordem de avaliação dos atributos está ligada à ordem de construção dos nós da árvore gramatical

Ordem de avaliação dos atributos

- ▶ Quando a tradução acontece durante a análise sintática, a ordem de avaliação dos atributos está ligada à ordem de construção dos nós da árvore gramatical
- ▶ Uma ordem natural, que ocorre frequentemente em muitos métodos de tradução *top-down* e *bottom-up*, é baseada em uma travessia em profundidade

Ordem de avaliação dos atributos

- ▶ Quando a tradução acontece durante a análise sintática, a ordem de avaliação dos atributos está ligada à ordem de construção dos nós da árvore gramatical
- ▶ Uma ordem natural, que ocorre frequentemente em muitos métodos de tradução *top-down* e *bottom-up*, é baseada em uma travessia em profundidade
- ▶ Nesta ordem, os atributos herdados dos filhos do nó são todos computados antes que os atributos sintetizados do nó sejam computados

Ordem de avaliação dos atributos

- ▶ Quando a tradução acontece durante a análise sintática, a ordem de avaliação dos atributos está ligada à ordem de construção dos nós da árvore gramatical
- ▶ Uma ordem natural, que ocorre frequentemente em muitos métodos de tradução *top-down* e *bottom-up*, é baseada em uma travessia em profundidade
- ▶ Nesta ordem, os atributos herdados dos filhos do nó são todos computados antes que os atributos sintetizados do nó sejam computados
- ▶ Mesmo que a árvore sintática não seja construída explicitamente, é importante compreender a ordem de avaliação dos atributos de seus nós e sua relação com travessias em profundidade

Ordem natural de avaliação dos atributos

Input: Uma árvore sintática e o nó raiz, que deve ser o argumento da primeira chamada

Output: Os valores de todos os atributos dos nós

```
procedure VISIT(node)  
  for cada filho m de node, da esquerda para a direita do  
    avalie os atributos herdados de m  
    VISIT(m)  
  avalie os atributos sintetizados de node
```

Definições L-atribuídas

Definição

Uma definição dirigida pela sintaxe é L-atribuída (O L vem do inglês *left*) se cada atributo herdado de X_j , $1 \leq j \leq n$, do lado direito da produção $A \rightarrow X_1 X_2 \dots X_n$ depende somente

1. dos atributos dos símbolos X_1, X_2, \dots, X_{j-1} , à esquerda de X_j na produção, e
2. dos atributos herdados de A .

Definições L-atribuídas

Definição

Uma definição dirigida pela sintaxe é L-atribuída (O L vem do inglês *left*) se cada atributo herdado de X_j , $1 \leq j \leq n$, do lado direito da produção $A \rightarrow X_1 X_2 \dots X_n$ depende somente

1. dos atributos dos símbolos X_1, X_2, \dots, X_{j-1} , à esquerda de X_j na produção, e
2. dos atributos herdados de A .

Observe que toda definição S-atribuída é também L-atribuída, uma vez que as restrições da definição se aplicam somente à atributos herdados.

Exemplo de definição dirigida à sintaxe que não é L-atribuída

Produção	Regra semântica
$A \rightarrow LM$	$L.h := l(A.h)$ $M.h := m(L.s)$ $A.s := f(M.s)$
$A \rightarrow QR$	$R.h := r(A.h)$ $Q.h := q(R.s)$ $A.s := f(Q.s)$

Exemplo de definição dirigida à sintaxe que não é L-atribuída

Produção	Regra semântica
$A \rightarrow LM$	$L.h := l(A.h)$ $M.h := m(L.s)$ $A.s := f(M.s)$
$A \rightarrow QR$	$R.h := r(A.h)$ $Q.h := q(R.s)$ $A.s := f(Q.s)$

Esta definição não é L-atribuída porque o atributo herdado $Q.h$ depende do atributo sintetizado $R.s$, e R se encontra à direita de Q na produção.

Esquemas de tradução

- ▶ Um esquema de tradução é uma gramática livre de contexto na qual os atributos estão associados aos símbolos gramaticais e as ações semânticas, delimitadas por chaves, são inseridas nos lados direitos das produções

Esquemas de tradução

- ▶ Um esquema de tradução é uma gramática livre de contexto na qual os atributos estão associados aos símbolos gramaticais e as ações semânticas, delimitadas por chaves, são inseridas nos lados direitos das produções
- ▶ Os esquemas de tradução fornecem uma notação útil para a especificação da tradução durante a análise sintática

Esquemas de tradução

- ▶ Um esquema de tradução é uma gramática livre de contexto na qual os atributos estão associados aos símbolos gramaticais e as ações semânticas, delimitadas por chaves, são inseridas nos lados direitos das produções
- ▶ Os esquemas de tradução fornecem uma notação útil para a especificação da tradução durante a análise sintática
- ▶ Nos esquemas de tradução os atributos podem ser tanto herdados quanto sintetizados

Esquemas de tradução

- ▶ Um esquema de tradução é uma gramática livre de contexto na qual os atributos estão associados aos símbolos gramaticais e as ações semânticas, delimitadas por chaves, são inseridas nos lados direitos das produções
- ▶ Os esquemas de tradução fornecem uma notação útil para a especificação da tradução durante a análise sintática
- ▶ Nos esquemas de tradução os atributos podem ser tanto herdados quanto sintetizados
- ▶ Em geral, quando os atributos de cada símbolo X_i são cadeias, o atributo de uma produção $A \rightarrow X_1 X_2 \dots X_n$ será a cadeia formada pela concatenação dos atributos de X_1, X_2, \dots, X_n , nesta ordem

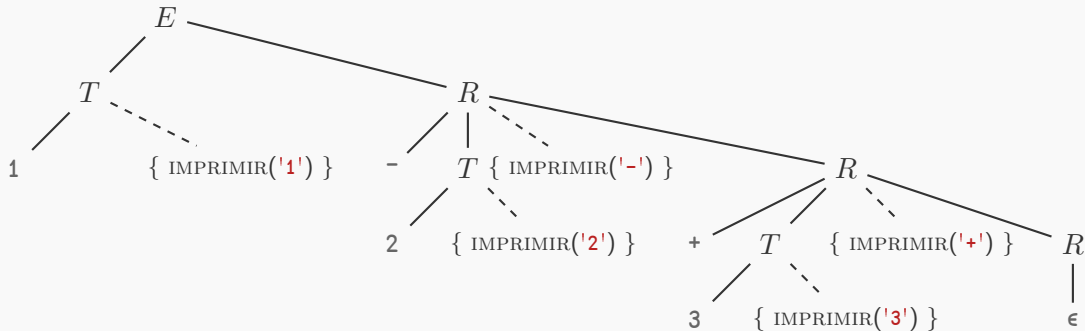
Esquema de tradução de expressões infixas para posfixas

$$E \rightarrow TR$$

$$R \rightarrow \mathbf{op_aditivo} \ T \ \{\text{IMPRIMIR}(\mathbf{op_aditivo.lexema})\} \ R_1 \mid \epsilon$$

$$T \rightarrow \mathbf{num} \ \{\text{IMPRIMIR}(\mathbf{num.val})\}$$

Árvore sintática para a expressões $1-2+3$



Restrições para o cálculo dos atributos

- ▶ Em um esquema de tradução é necessário impôr certas restrições de modo que o valor de um atributo esteja disponível quando for referenciado por uma ação semântica

Restrições para o cálculo dos atributos

- ▶ Em um esquema de tradução é necessário impôr certas restrições de modo que o valor de um atributo esteja disponível quando for referenciado por uma ação semântica
- ▶ Tais restrições impedem que uma ação semântica use o valor de um atributo que ainda não foi devidamente computado

Restrições para o cálculo dos atributos

- ▶ Em um esquema de tradução é necessário impôr certas restrições de modo que o valor de um atributo esteja disponível quando for referenciado por uma ação semântica
- ▶ Tais restrições impedem que uma ação semântica use o valor de um atributo que ainda não foi devidamente computado
- ▶ As definições L-atribuídas garantem tais restrições

Restrições para o cálculo dos atributos

- ▶ Em um esquema de tradução é necessário impôr certas restrições de modo que o valor de um atributo esteja disponível quando for referenciado por uma ação semântica
- ▶ Tais restrições impedem que uma ação semântica use o valor de um atributo que ainda não foi devidamente computado
- ▶ As definições L-atribuídas garantem tais restrições
- ▶ O caso mais simples ocorre quando todos os atributos são sintetizados: basta adicionar uma atribuição a cada regra semântica e colocar a ação no lado direito da produção

Restrições para o cálculo dos atributos

- ▶ Em um esquema de tradução é necessário impôr certas restrições de modo que o valor de um atributo esteja disponível quando for referenciado por uma ação semântica
- ▶ Tais restrições impedem que uma ação semântica use o valor de um atributo que ainda não foi devidamente computado
- ▶ As definições L-atribuídas garantem tais restrições
- ▶ O caso mais simples ocorre quando todos os atributos são sintetizados: basta adicionar uma atribuição a cada regra semântica e colocar a ação no lado direito da produção
- ▶ Por exemplo, a regra semântica $T.val := T_1.val \times F.val$, associada a produção $T \rightarrow T_1 \times F$, deve ser representada na produção da seguinte maneira:

$$T \rightarrow T_1 \times F \{ T.val := T_1.val \times F.val \}$$

Restrições para o cálculo de atributos no caso geral

Se o esquema de tradução possui tanto atributos sintetizados quanto atributos herdados, devem ser adotadas as seguintes restrições:

1. Um atributo herdado para um símbolo no lado direito de uma produção deve ser computado por uma ação que antecede o símbolo.
2. Uma ação não pode referenciar um atributo sintetizado de um símbolo à direita da ação.
3. Um atributo sintetizado para um não-terminal à esquerda só pode ser computado após o cálculo de todos os atributos que ele referencie.

Construção de esquemas de tradução com as devidas restrições

- Considere o seguinte esquema de tradução:

$$S \rightarrow A_1 A_2 \{A_1.in := 1; A_2.in := 2\}$$

$$A \rightarrow a \{\text{IMPRIMIR}(A.in)\}$$

Construção de esquemas de tradução com as devidas restrições

- Considere o seguinte esquema de tradução:

$$\begin{aligned} S &\rightarrow A_1 A_2 \{A_1.in := 1; A_2.in := 2\} \\ A &\rightarrow a \{\text{IMPRIMIR}(A.in)\} \end{aligned}$$

- Este esquema viola a primeira das três restrições

Construção de esquemas de tradução com as devidas restrições

- Considere o seguinte esquema de tradução:

$$\begin{aligned} S &\rightarrow A_1 A_2 \{A_1.in := 1; A_2.in := 2\} \\ A &\rightarrow a \{\text{IMPRIMIR}(A.in)\} \end{aligned}$$

- Este esquema viola a primeira das três restrições
- Isto porque a ação semântica $\text{IMPRIMIR}(A.in)$ não estará disponível, pois em uma travessia em profundidade os atributos $A_1.in$ e $A_2.in$ só serão definidos após a visita ao nós que os representam

Construção de esquemas de tradução com as devidas restrições

- Considere o seguinte esquema de tradução:

$$\begin{aligned} S &\rightarrow A_1 A_2 \{A_1.in := 1; A_2.in := 2\} \\ A &\rightarrow a \{\text{IMPRIMIR}(A.in)\} \end{aligned}$$

- Este esquema viola a primeira das três restrições
- Isto porque a ação semântica $\text{IMPRIMIR}(A.in)$ não estará disponível, pois em uma travessia em profundidade os atributos $A_1.in$ e $A_2.in$ só serão definidos após a visita ao nós que os representam
- Esta violação poderia ser removida se a ação semântica precedesse a produção:

$$S \rightarrow \{A_1.in := 1; A_2.in := 2\} A_1 A_2$$

Construção de esquemas de tradução com as devidas restrições

- ▶ Considere o seguinte esquema de tradução:

$$\begin{aligned} S &\rightarrow A_1 A_2 \{A_1.in := 1; A_2.in := 2\} \\ A &\rightarrow a \{\text{IMPRIMIR}(A.in)\} \end{aligned}$$

- ▶ Este esquema viola a primeira das três restrições
- ▶ Isto porque a ação semântica $\text{IMPRIMIR}(A.in)$ não estará disponível, pois em uma travessia em profundidade os atributos $A_1.in$ e $A_2.in$ só serão definidos após a visita ao nós que os representam
- ▶ Esta violação poderia ser removida se a ação semântica precedesse a produção:

$$S \rightarrow \{A_1.in := 1; A_2.in := 2\} A_1 A_2$$

- ▶ É sempre possível ajustar o esquema de tradução de forma que as três restrições sejam atendidas

Definição dirigida pela sintaxe para tamanho e largura de quadros

Produção	Regra semântica
$S \rightarrow B$	$B.tp := 10$ $S.lg := B.lg$
$B \rightarrow B_1 B_2$	$B_1.tp := B.tp$ $B_2.tp := B.tp$ $B.lg := \max(B_1.lg, B_2.lg)$
$B \rightarrow B_1 \textbf{ sub } B_2$	$B_1.tp := B.tp$ $B_2.tp := \text{COMPRIMIR}(B.tp)$ $B.lg := \text{DESLOC}(B_1.lg, B_2.lg)$
$B \rightarrow \textbf{texto}$	$B.lg := \textbf{texto.l} \times B.tp$

Definição dirigida pela sintaxe para tamanho e largura de quadros

- ▶ Esta definição é baseada na formação matemática EQN

Definição dirigida pela sintaxe para tamanho e largura de quadros

- ▶ Esta definição é baseada na formação matemática EQN
- ▶ O não-terminal B (de *box*) representa uma fórmula matemática

Definição dirigida pela sintaxe para tamanho e largura de quadros

- ▶ Esta definição é baseada na formação matemática EQN
- ▶ O não-terminal B (de *box*) representa uma fórmula matemática
- ▶ A produção $B \rightarrow BB$ representa a justaposição de dois quadros, e a produção $B \rightarrow B \text{ sub } B$ representa um quadro seguido de um quadro subscrito

Definição dirigida pela sintaxe para tamanho e largura de quadros

- ▶ Esta definição é baseada na formação matemática EQN
- ▶ O não-terminal B (de *box*) representa uma fórmula matemática
- ▶ A produção $B \rightarrow BB$ representa a justaposição de dois quadros, e a produção $B \rightarrow B \text{ sub } B$ representa um quadro seguido de um quadro subscrito
- ▶ Por exemplo, a expressão `E sub 1 . val` corresponderia aos quadros



Definição dirigida pela sintaxe para tamanho e largura de quadros

- ▶ Esta definição é baseada na formação matemática EQN
- ▶ O não-terminal B (de *box*) representa uma fórmula matemática
- ▶ A produção $B \rightarrow BB$ representa a justaposição de dois quadros, e a produção $B \rightarrow B \text{ sub } B$ representa um quadro seguido de um quadro subscrito
- ▶ Por exemplo, a expressão `E sub 1 . val` corresponderia aos quadros



- ▶ O atributo herdado tp (tamanho de ponto) afeta a largura da fórmula e lg é a largura do quadro

Definição dirigida pela sintaxe para tamanho e largura de quadros

- ▶ Esta definição é baseada na formação matemática EQN
- ▶ O não-terminal B (de *box*) representa uma fórmula matemática
- ▶ A produção $B \rightarrow BB$ representa a justaposição de dois quadros, e a produção $B \rightarrow B \text{ sub } B$ representa um quadro seguido de um quadro subscrito
- ▶ Por exemplo, a expressão `E sub 1 . val` corresponderia aos quadros



- ▶ O atributo herdado tp (tamanho de ponto) afeta a largura da fórmula e lg é a largura do quadro
- ▶ A função $\text{COMPRIMIR}(B)$ retorna o tamanho de B , reduzido em 30% e a função $\text{DESLOC}(B_1, B_2)$ permite o deslocamento do bloco B_2 para baixo ao computar a largura do quadro

Definição dirigida pela sintaxe para tamanho e largura de quadros

- ▶ Esta definição é baseada na formação matemática EQN
- ▶ O não-terminal B (de *box*) representa uma fórmula matemática
- ▶ A produção $B \rightarrow BB$ representa a justaposição de dois quadros, e a produção $B \rightarrow B \text{ sub } B$ representa um quadro seguido de um quadro subscrito
- ▶ Por exemplo, a expressão `E sub 1 . val` corresponderia aos quadros



- ▶ O atributo herdado tp (tamanho de ponto) afeta a largura da fórmula e lg é a largura do quadro
- ▶ A função $\text{COMPRIMIR}(B)$ retorna o tamanho de B , reduzido em 30% e a função $\text{DESLOC}(B_1, B_2)$ permite o deslocamento do bloco B_2 para baixo ao computar a largura do quadro
- ▶ Esta definição é L-atribuída

Esquema de tradução para tamanho e largura de quadros

$S \rightarrow$	$\{B.tp := 10\}$
$B \rightarrow$	$\{S.lg := B.lg\}$
$B \rightarrow$	$\{B_1.tp := B.tp\}$
$B \rightarrow$	$\{B_2.tp := B.tp\}$
$B \rightarrow$	$\{B.lg := \max(B_1.lg, B_2.lg)\}$
$B \rightarrow$	$\{B_1.tp := B.tp\}$
$B \rightarrow$	$\{B_1$
$B \rightarrow$	sub $\{B_2.tp := \text{COMPRIMIR}(B.tp)\}$
$B \rightarrow$	$B_2 \{B.lg := \text{DESLOC}(B_1.lg, B_2.lg)\}$
$B \rightarrow$	texto $\{B.lg := \text{texto}.l \times B.tp\}$

Esquemas de tradução e recursão à esquerda

- ▶ Na prática, trabalhar com um esquema de tradução, ao invés de uma definição dirigida pela sintaxe, é vantajoso no sentido de que, em um esquema de tradução, a ordem de avaliação das ações semânticas e dos valores dos atributos é dada explicitamente

Esquemas de tradução e recursão à esquerda

- ▶ Na prática, trabalhar com um esquema de tradução, ao invés de uma definição dirigida pela sintaxe, é vantajoso no sentido de que, em um esquema de tradução, a ordem de avaliação das ações semânticas e dos valores dos atributos é dada explicitamente
- ▶ Como a maioria dos operadores aritméticos são associativos à esquerda, o uso de gramáticas recursivas à esquerda acaba sendo uma consequência natural

Esquemas de tradução e recursão à esquerda

- ▶ Na prática, trabalhar com um esquema de tradução, ao invés de uma definição dirigida pela sintaxe, é vantajoso no sentido de que, em um esquema de tradução, a ordem de avaliação das ações semânticas e dos valores dos atributos é dada explicitamente
- ▶ Como a maioria dos operadores aritméticos são associativos à esquerda, o uso de gramáticas recursivas à esquerda acaba sendo uma consequência natural
- ▶ Eliminar a recursão à esquerda permite a implementação de um tradutor preditivo

Esquemas de tradução e recursão à esquerda

- ▶ Na prática, trabalhar com um esquema de tradução, ao invés de uma definição dirigida pela sintaxe, é vantajoso no sentido de que, em um esquema de tradução, a ordem de avaliação das ações semânticas e dos valores dos atributos é dada explicitamente
- ▶ Como a maioria dos operadores aritméticos são associativos à esquerda, o uso de gramáticas recursivas à esquerda acaba sendo uma consequência natural
- ▶ Eliminar a recursão à esquerda permite a implementação de um tradutor preditivo
- ▶ Contudo, a eliminação à esquerda, sem o devido cuidado, pode modificar a associatividade do operador e, conseqüentemente, alterar o resultado das expressões

Esquemas de tradução e recursão à esquerda

- ▶ Na prática, trabalhar com um esquema de tradução, ao invés de uma definição dirigida pela sintaxe, é vantajoso no sentido de que, em um esquema de tradução, a ordem de avaliação das ações semânticas e dos valores dos atributos é dada explicitamente
- ▶ Como a maioria dos operadores aritméticos são associativos à esquerda, o uso de gramáticas recursivas à esquerda acaba sendo uma consequência natural
- ▶ Eliminar a recursão à esquerda permite a implementação de um tradutor preditivo
- ▶ Contudo, a eliminação à esquerda, sem o devido cuidado, pode modificar a associatividade do operador e, conseqüentemente, alterar o resultado das expressões
- ▶ Compare as duas expressões abaixo, onde cada linha com uma associatividade diferente

$$\begin{array}{ll} 1 - 2 - 3 = (1 - 2) - 3 = (-1) - 3 = -4 & \text{A Associatividade à esquerda} \\ 1 - 2 - 3 = 1 - (2 - 3) = 1 - (-1) = 2 & \text{A Associatividade à direita} \end{array}$$

Esquema de tradução com uma gramática recursiva à esquerda

$E \rightarrow E_1 + T$	$\{E.val := E_1.val + T.val\}$
$E \rightarrow E_1 - T$	$\{E.val := E_1.val - T.val\}$
$E \rightarrow T$	$\{E.val := T.val\}$
$T \rightarrow (E)$	$\{T.val := E.val\}$
$T \rightarrow \mathbf{num}$	$\{T.val := \mathbf{num.val}\}$

Esquema de tradução transformado com uma gramática recursiva à direita

$E \rightarrow$	T	$\{R.h := T.val\}$
	R	$\{E.val := R.s\}$
$R \rightarrow$	$+$	
	T	$\{R_1.h := R.h + T.val\}$
	R_1	$\{R.s := R_1.s\}$
$R \rightarrow$	$-$	
	T	$\{R_1.h := R.h - T.val\}$
	R_1	$\{R.s := R_1.s\}$
$R \rightarrow$	ϵ	$\{R.s := R.h\}$
$T \rightarrow$	$($	
	E	
	$)$	$\{T.val := E.val\}$
$T \rightarrow$	num	$\{T.val := \mathbf{num.val}\}$

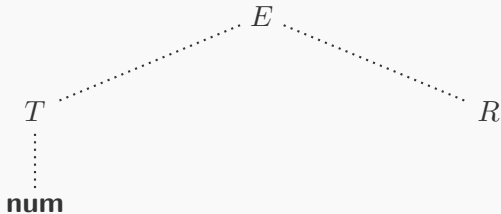
Avaliação da expressão $1-2+3$

$$E$$

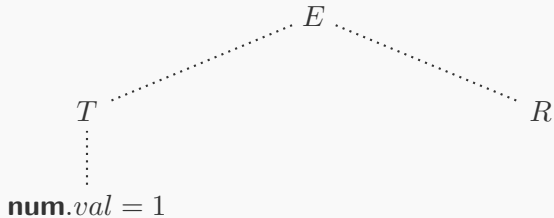
Avaliação da expressão $1-2+3$



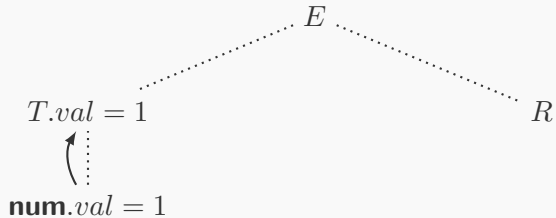
Avaliação da expressão $1-2+3$



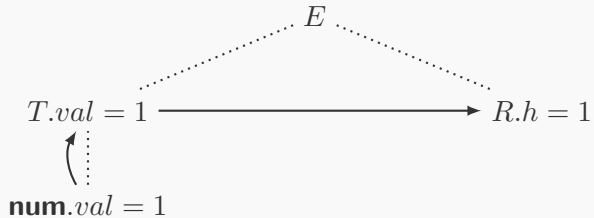
Avaliação da expressão $1-2+3$



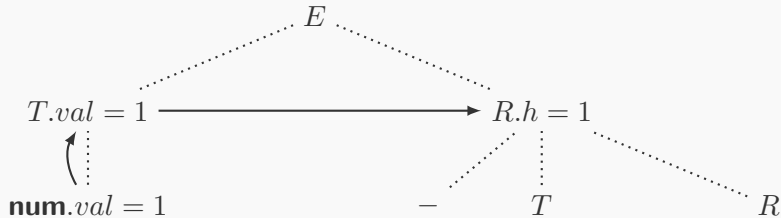
Avaliação da expressão $1-2+3$



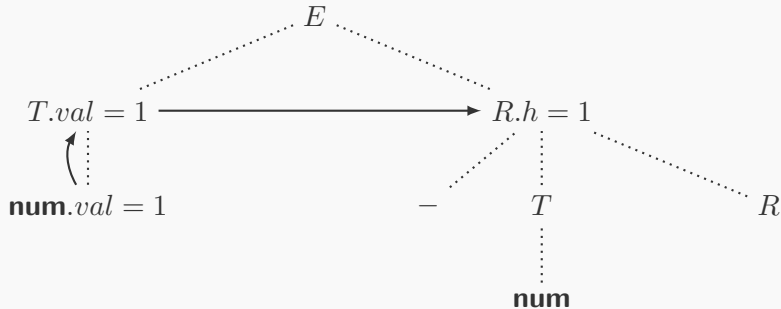
Avaliação da expressão $1-2+3$



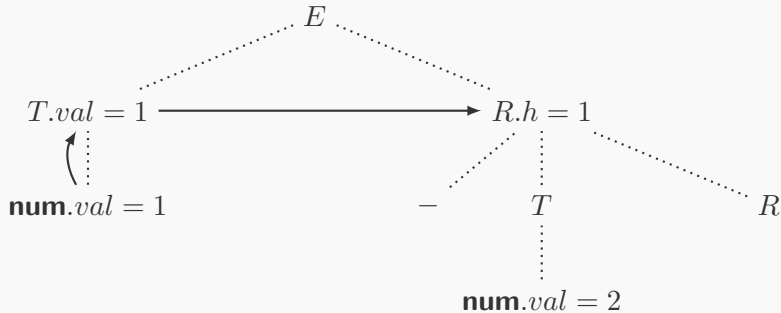
Avaliação da expressão $1-2+3$



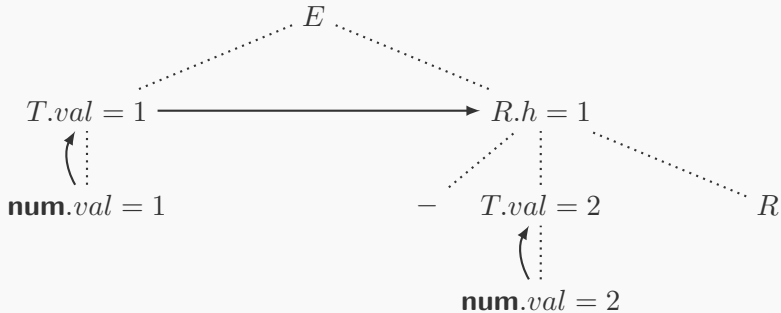
Avaliação da expressão $1-2+3$



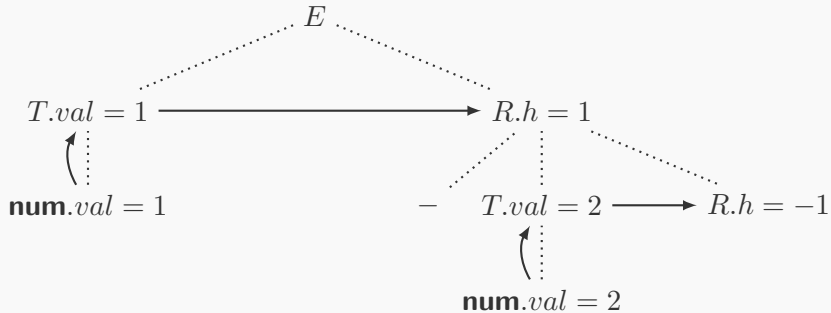
Avaliação da expressão $1-2+3$



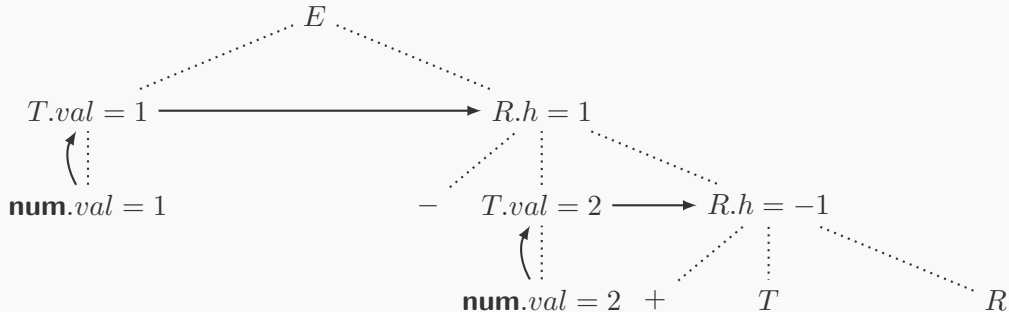
Avaliação da expressão $1-2+3$



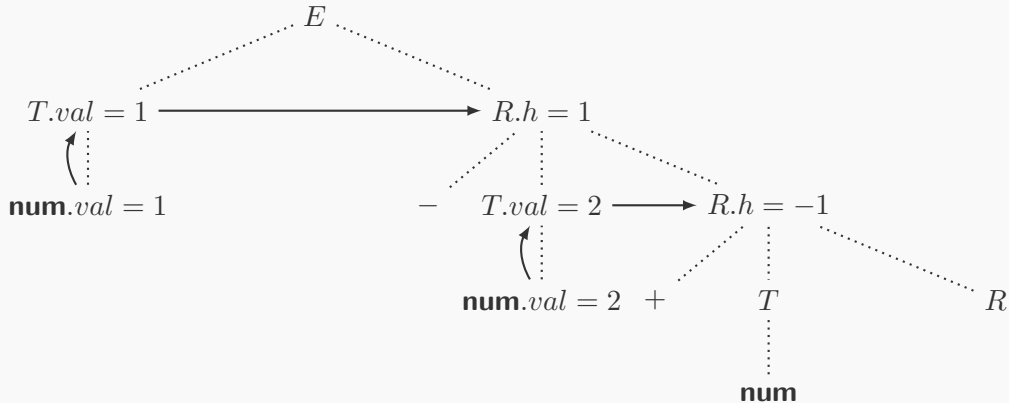
Avaliação da expressão $1-2+3$



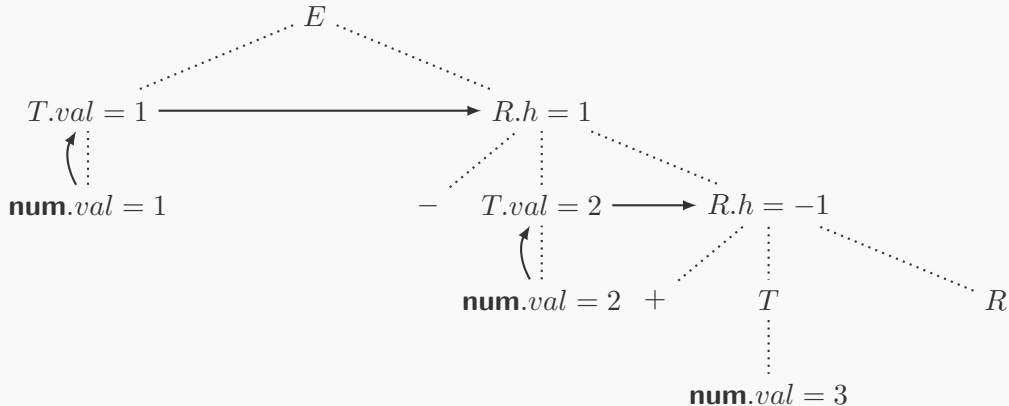
Avaliação da expressão $1-2+3$



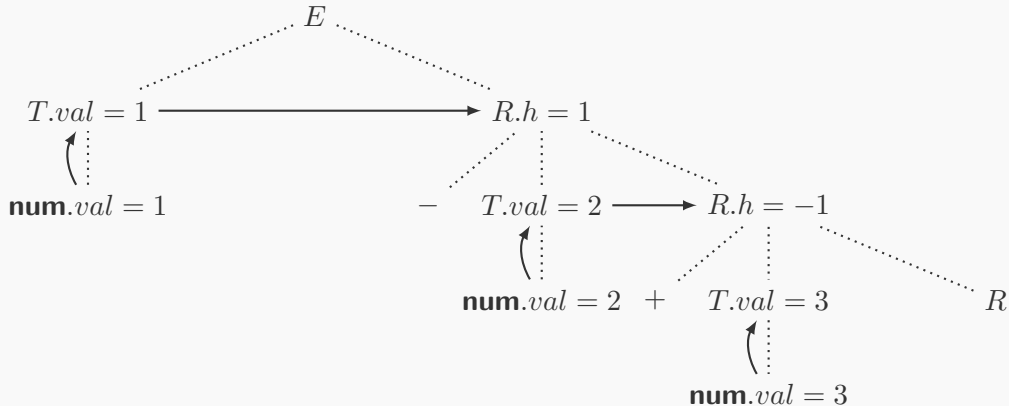
Avaliação da expressão $1-2+3$



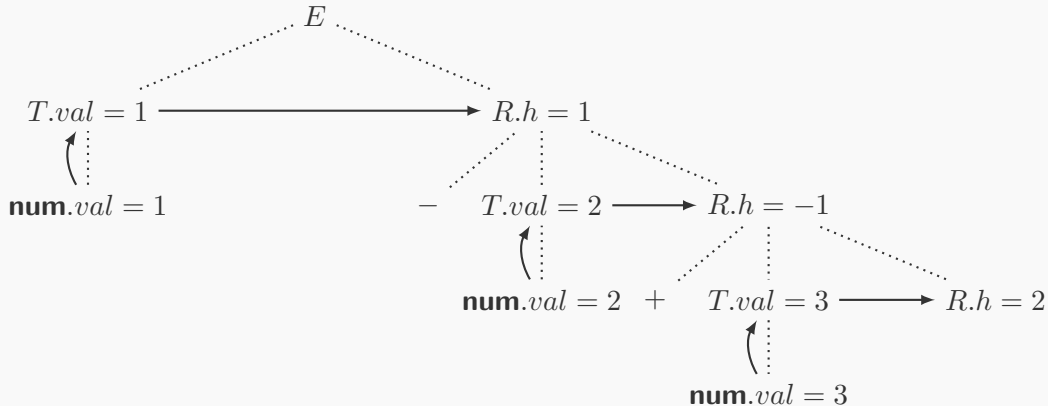
Avaliação da expressão $1-2+3$



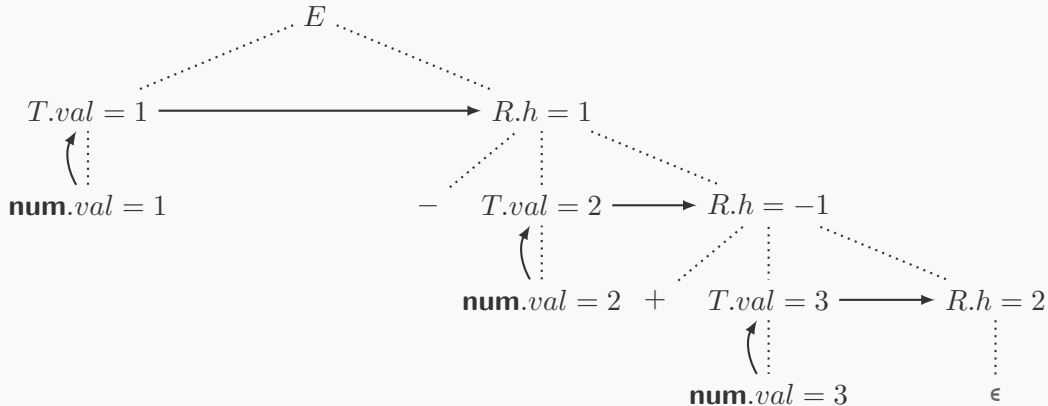
Avaliação da expressão $1-2+3$



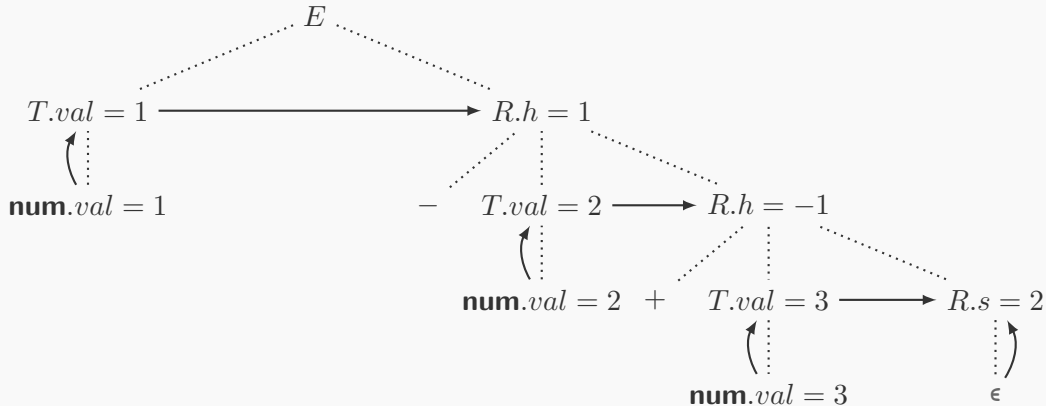
Avaliação da expressão $1-2+3$



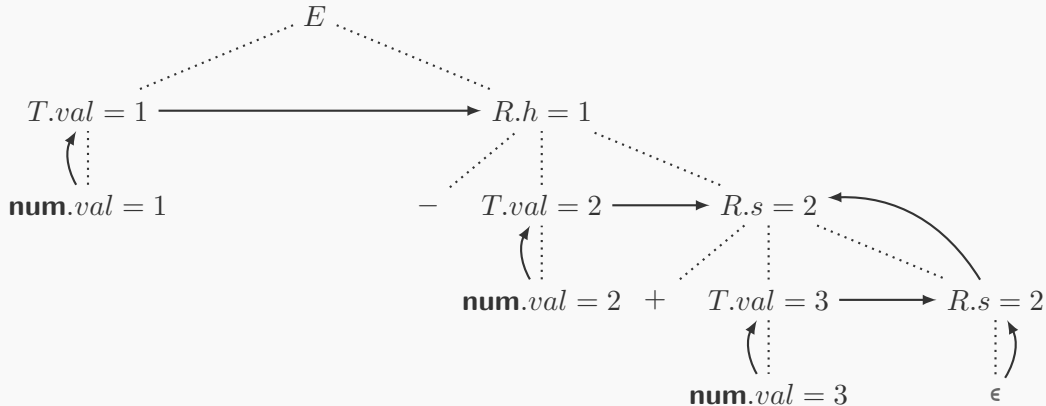
Avaliação da expressão $1-2+3$



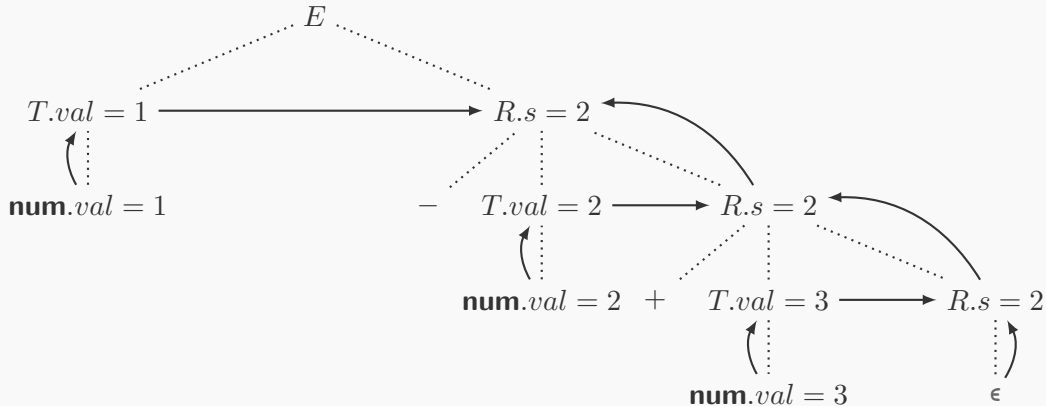
Avaliação da expressão $1-2+3$



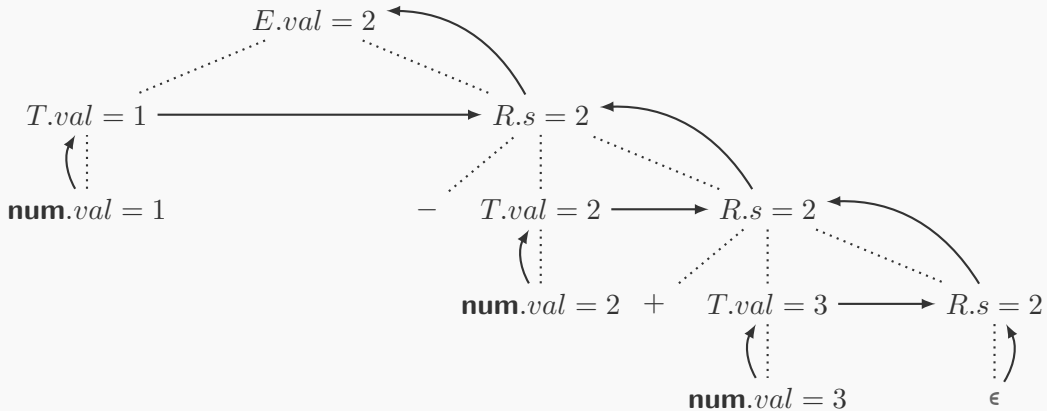
Avaliação da expressão 1-2+3



Avaliação da expressão $1-2+3$



Avaliação da expressão $1-2+3$



Referências

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