Um compilador simples de uma passagem

Visão geral

Prof. Edson Alves

Faculdade UnB Gama

Sumário

Caracterização de uma linguagem de programação

- Uma linguagem de programação pode ser caracterizada por sua sintaxe (aparência e forma de seus elementos) e por sua semântica (o significado destes elementos)

Caracterização de uma linguagem de programação

- Uma linguagem de programação pode ser caracterizada por sua sintaxe (aparência e forma de seus elementos) e por sua semântica (o significado destes elementos)
- Uma forma de especificar a sintaxe de uma linguagem é a gramática livre de contexto (BNF – Forma de Backus-Naur)

Caracterização de uma linguagem de programação

- Uma linguagem de programação pode ser caracterizada por sua sintaxe (aparência e forma de seus elementos) e por sua semântica (o significado destes elementos)
- Uma forma de especificar a sintaxe de uma linguagem é a gramática livre de contexto (BNF – Forma de Backus-Naur)
- Além de especificar a semântica, a gramática livre de contexto auxilia a tradução de programa, por meio da técnica denominada tradução dirigida pela sintaxe

Caracterização de uma linguagem de programação

- Uma linguagem de programação pode ser caracterizada por sua sintaxe (aparência e forma de seus elementos) e por sua semântica (o significado destes elementos)
- Uma forma de especificar a sintaxe de uma linguagem é a gramática livre de contexto (BNF – Forma de Backus-Naur)
- Além de especificar a semântica, a gramática livre de contexto auxilia a tradução de programa, por meio da técnica denominada tradução dirigida pela sintaxe
- A especificação da semântica é mais complicada, de modo que em muitos casos é feita por meio de exemplos e descrições informais

Compilador de expressões infixas para posfixas

- A tradução dirigida pela sintaxe será ilustrada por meio do desenvolvimento de um compilador simples de uma passagem que traduz expressões na forma infixa para a forma posfixa

Compilador de expressões infixas para posfixas

- A tradução dirigida pela sintaxe será ilustrada por meio do desenvolvimento de um compilador simples de uma passagem que traduz expressões na forma infixa para a forma posfixa
- Por exemplo, a expressão `1-2+3`, que está na forma infixa (o operador está posicionado entre os operandos), corresponde a expressão posfixa `12-3+` (o operador sucede os dois operandos, assuma que cada operando consiste em um único dígito)

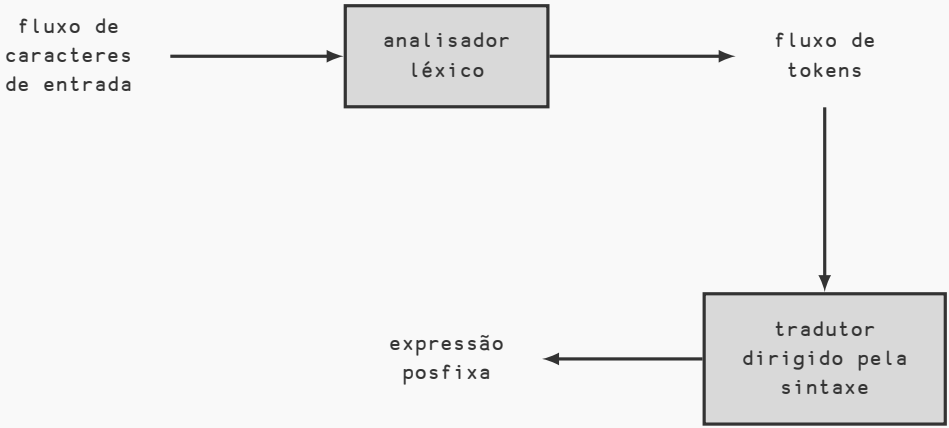
Compilador de expressões infixas para posfixas

- A tradução dirigida pela sintaxe será ilustrada por meio do desenvolvimento de um compilador simples de uma passagem que traduz expressões na forma infixa para a forma posfixa
- Por exemplo, a expressão `1-2+3`, que está na forma infixa (o operador está posicionado entre os operandos), corresponde a expressão posfixa `12-3+` (o operador sucede os dois operandos, assuma que cada operando consiste em um único dígito)
- A forma posfixa pode ser convertida diretamente para um programa que executa a expressão usando uma pilha

Compilador de expressões infixas para posfixas

- A tradução dirigida pela sintaxe será ilustrada por meio do desenvolvimento de um compilador simples de uma passagem que traduz expressões na forma infixa para a forma posfixa
- Por exemplo, a expressão `1-2+3`, que está na forma infixa (o operador está posicionado entre os operandos), corresponde a expressão posfixa `12-3+` (o operador sucede os dois operandos, assuma que cada operando consiste em um único dígito)
- A forma posfixa pode ser convertida diretamente para um programa que executa a expressão usando uma pilha
- O analisador léxico gerará um fluxo de tokens que alimentarão o tradutor dirigido pela sintaxe (o qual combinará o analisador léxico com o gerador de código intermediário), que por sua vez gerará a representação posfixa

Estrutura da interface de vanguarda do compilador



Definições

- Uma gramática deve descrever a estrutura hierárquica de seus elementos

Definições

- Uma gramática deve descrever a estrutura hierárquica de seus elementos
- Por exemplo, o comando `if-else` da linguagem C, possui a forma

```
if (expressão) comando else comando
```

a qual pode ser expressão como

$$cmd \rightarrow \textbf{if}\ (expr)\ cmd\ \textbf{else}\ cmd$$

Definições

- Uma gramática deve descrever a estrutura hierárquica de seus elementos
- Por exemplo, o comando `if-else` da linguagem C, possui a forma

```
if (expressão) comando else comando
```

  a qual pode ser expressão como

$$cmd \rightarrow \textbf{if}\ (expr)\ cmd\ \textbf{else}\ cmd$$

- A expressão acima é uma regra de produção, onde a seta significa "pode ter a forma"

Definições

- Uma gramática deve descrever a estrutura hierárquica de seus elementos
- Por exemplo, o comando `if-else` da linguagem C, possui a forma

```
if (expressão) comando else comando
```

  a qual pode ser expressão como

$$cmd \rightarrow \textbf{if}\ (expr)\ cmd\ \textbf{else}\ cmd$$

- A expressão acima é uma regra de produção, onde a seta significa "pode ter a forma"
- Os elementos léxicos da produção (palavras-chaves, parêntesis) são chamados tokens

Definições

- Uma gramática deve descrever a estrutura hierárquica de seus elementos
- Por exemplo, o comando `if-else` da linguagem C, possui a forma

```
if (expressão) comando else comando
```

a qual pode ser expressão como

$$cmd \rightarrow \textbf{if}\ (expr)\ cmd\ \textbf{else}\ cmd$$

- A expressão acima é uma regra de produção, onde a seta significa "pode ter a forma"
- Os elementos léxicos da produção (palavras-chaves, parêntesis) são chamados tokens
- Variáveis como $expr$ e cmd representam sequências de tokens e são denominadas não-terminais

Componentes da linguagem livre de contexto

1. Um conjunto de tokens, denominados símbolos terminais

Componentes da linguagem livre de contexto

1. Um conjunto de tokens, denominados símbolos terminais
2. Um conjunto de não-terminais

Componentes da linguagem livre de contexto

1. Um conjunto de tokens, denominados símbolos terminais
2. Um conjunto de não-terminais
3. Um conjunto de produções. Cada produção é definida por um não-terminal (lado esquerdo), seguido de uma seta, sucedida por uma sequência de tokens e/ou não-terminais (lado direito)

Componentes da linguagem livre de contexto

1. Um conjunto de tokens, denominados símbolos terminais
2. Um conjunto de não-terminais
3. Um conjunto de produções. Cada produção é definida por um não-terminal (lado esquerdo), seguido de uma seta, sucedida por uma sequência de tokens e/ou não-terminais (lado direito)
4. Designação de um dos não-terminais como símbolo de partida

Convenções de notação da gramática livre de contexto

- A gramática é especificada por uma lista de produções

Convenções de notação da gramática livre de contexto

- A gramática é especificada por uma lista de produções
- O símbolo de partida é definido como o não-terminal da primera produção listada

Convenções de notação da gramática livre de contexto

- A gramática é especificada por uma lista de produções
- O símbolo de partida é definido como o não-terminal da primera produção listada
- Dígitos, símbolos e palavras em negrito são terminais

Convenções de notação da gramática livre de contexto

- A gramática é especificada por uma lista de produções
- O símbolo de partida é definido como o não-terminal da primera produção listada
- Dígitos, símbolos e palavras em negrito são terminais
- Não-terminais são grafados em itálico

Convenções de notação da gramática livre de contexto

- A gramática é especificada por uma lista de produções
- O símbolo de partida é definido como o não-terminal da primera produção listada
- Dígitos, símbolos e palavras em negrito são terminais
- Não-terminais são grafados em itálico
- Os demais símbolos são tokens

Convenções de notação da gramática livre de contexto

- A gramática é especificada por uma lista de produções
- O símbolo de partida é definido como o não-terminal da primera produção listada
- Dígitos, símbolos e palavras em negrito são terminais
- Não-terminais são grafados em itálico
- Os demais símbolos são tokens
- Produções distintas de um mesmo não-terminal podem ser agrupadas por meio do caractere '|', que significa, neste contexto, “ou”

Exemplo de sintaxe para expressões infixas com adição e subtração

- Considere a seguinte gramática para expressões compostas por dígitos decimais e as operações de adição e subtração, em forma infixa:

$$\begin{aligned} expr &\rightarrow expr + digito \mid expr - digito \mid digito \\ digito &\rightarrow 0 \mid 1 \mid 2 \mid 3 \mid 4 \mid 5 \mid 6 \mid 7 \mid 8 \mid 9 \end{aligned}$$

Exemplo de sintaxe para expressões infixas com adição e subtração

- Considere a seguinte gramática para expressões compostas por dígitos decimais e as operações de adição e subtração, em forma infixa:

$$\begin{aligned} expr &\rightarrow expr + digito \mid expr - digito \mid digito \\ digito &\rightarrow 0 \mid 1 \mid 2 \mid 3 \mid 4 \mid 5 \mid 6 \mid 7 \mid 8 \mid 9 \end{aligned}$$

- Os tokens desta gramática são os dez dígitos decimais e os caracteres '+' e '-'

Exemplo de sintaxe para expressões infixas com adição e subtração

- Considere a seguinte gramática para expressões compostas por dígitos decimais e as operações de adição e subtração, em forma infixa:

$$\begin{array}{rcl} expr & \rightarrow & expr + digito \mid expr - digito \mid digito \\ digito & \rightarrow & 0 \mid 1 \mid 2 \mid 3 \mid 4 \mid 5 \mid 6 \mid 7 \mid 8 \mid 9 \end{array}$$

- Os tokens desta gramática são os dez dígitos decimais e os caracteres '+' e '-'
- Os não-terminais são $expr$ e $digito$

Exemplo de sintaxe para expressões infixas com adição e subtração

- Considere a seguinte gramática para expressões compostas por dígitos decimais e as operações de adição e subtração, em forma infixa:

$$\begin{aligned} expr &\rightarrow expr + digito \mid expr - digito \mid digito \\ digito &\rightarrow 0 \mid 1 \mid 2 \mid 3 \mid 4 \mid 5 \mid 6 \mid 7 \mid 8 \mid 9 \end{aligned}$$

- Os tokens desta gramática são os dez dígitos decimais e os caracteres '+' e '-'
- Os não-terminais são $expr$ e $digito$
- O símbolo de partida é o não-terminal $expr$

Cadeias de tokens

- Uma cadeia de tokens é uma sequência de zero ou mais tokens

Cadeias de tokens

- Uma cadeia de tokens é uma sequência de zero ou mais tokens
- Uma cadeia contendo zero tokens, grafada como ϵ, é denominada cadeia vazia

Cadeias de tokens

- Uma cadeia de tokens é uma sequência de zero ou mais tokens
- Uma cadeia contendo zero tokens, grafada como ϵ, é denominada cadeia vazia
- Uma gramática deriva cadeias de tokens começando pelo símbolo de partida, substituíndo repetidamente um não-terminal pelo lado direito de uma produção deste não-terminal

Cadeias de tokens

- Uma cadeia de tokens é uma sequência de zero ou mais tokens
- Uma cadeia contendo zero tokens, grafada como ϵ, é denominada cadeia vazia
- Uma gramática deriva cadeias de tokens começando pelo símbolo de partida, substituíndo repetidamente um não-terminal pelo lado direito de uma produção deste não-terminal
- O conjunto de todas as cadeias de tokens possíveis gerados desta maneira formam a linguagem definida pela gramática

Exemplo de construção da expressão `1-2+3` por meio da gramática

1. `1` é $expr$, pois `1` é $digito$ (terceira alternativa para a produção de $expr$)

Exemplo de construção da expressão `1-2+3` por meio da gramática

1. `1` é $expr$, pois `1` é $digito$ (terceira alternativa para a produção de $expr$)
2. Pela segunda alternativa de produção de $expr$, `1-2` é também $expr$, pois `1` é $expr$ e `2` é $digito$

Exemplo de construção da expressão `1-2+3` por meio da gramática

1. `1` é $expr$, pois `1` é $digito$ (terceira alternativa para a produção de $expr$)
2. Pela segunda alternativa de produção de $expr$, `1-2` é também $expr$, pois `1` é $expr$ e `2` é $digito$
3. Por fim, pela primeira alternativa de produção de $expr$, `1-2+3` é $expr$, pois `1-2` é $expr$ e `3` é $digito$

Árvore gramatical

Dada uma gramática livre de contexto, uma árvore gramatical possui as seguintes propriedades:

Árvore gramatical

Dada uma gramática livre de contexto, uma árvore gramatical possui as seguintes propriedades:

1. A raiz é rotulada pelo símbolo de partida

Árvore gramatical

Dada uma gramática livre de contexto, uma árvore gramatical possui as seguintes propriedades:

1. A raiz é rotulada pelo símbolo de partida
2. Cada folha é rotulada por um token ou por ϵ

Árvore gramatical

Dada uma gramática livre de contexto, uma árvore gramatical possui as seguintes propriedades:

1. A raiz é rotulada pelo símbolo de partida
2. Cada folha é rotulada por um token ou por ϵ
3. Cada nó interior é rotulado por um não-terminal

Árvore gramatical

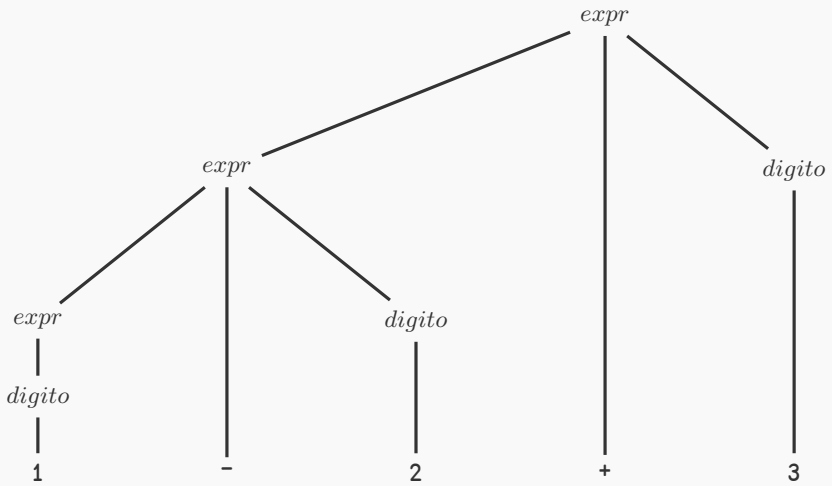
Dada uma gramática livre de contexto, uma árvore gramatical possui as seguintes propriedades:

1. A raiz é rotulada pelo símbolo de partida
2. Cada folha é rotulada por um token ou por ϵ
3. Cada nó interior é rotulado por um não-terminal
4. Se A é um não-terminal que rotula um nó interior e $X_1, X_2, \ldots, X_N$ são os rótulos de seus filhos (da esquerda para a direita), então

$$A \rightarrow X_1 \ X_2 \ \ldots X_N$$

é uma produção

Visualização da árvore gramatical da expressão 1-2+3



Características da árvore gramatical

- As folhas da árvore gramatical, quando lidas da esquerda para a direita, formam o produto da árvore, que é a cadeira gerada ou derivada a partir da raiz não-terminal

Características da árvore gramatical

- As folhas da árvore gramatical, quando lidas da esquerda para a direita, formam o produto da árvore, que é a cadeira gerada ou derivada a partir da raiz não-terminal
- O processo de encontrar uma árvore gramatical para uma dada cadeia de tokens é chmado de análise gramatical ou análise sintática daquela cadeia

Características da árvore gramatical

- As folhas da árvore gramatical, quando lidas da esquerda para a direita, formam o produto da árvore, que é a cadeira gerada ou derivada a partir da raiz não-terminal
- O processo de encontrar uma árvore gramatical para uma dada cadeia de tokens é chmado de análise gramatical ou análise sintática daquela cadeia
- Uma gramática que permite a construção de duas ou mais árvores gramaticais distintas para uma mesma cadeia de tokens é denominada gramática ambígua

Características da árvore gramatical

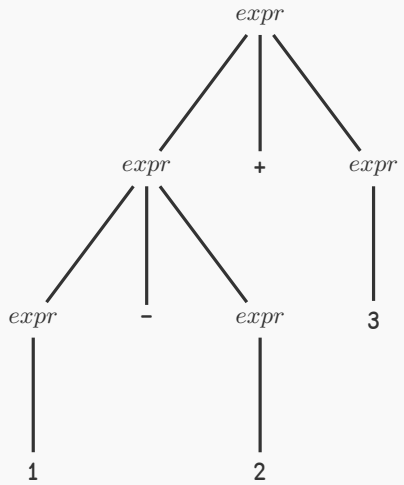
- As folhas da árvore gramatical, quando lidas da esquerda para a direita, formam o produto da árvore, que é a cadeira gerada ou derivada a partir da raiz não-terminal
- O processo de encontrar uma árvore gramatical para uma dada cadeia de tokens é chmado de análise gramatical ou análise sintática daquela cadeia
- Uma gramática que permite a construção de duas ou mais árvores gramaticais distintas para uma mesma cadeia de tokens é denominada gramática ambígua
- A gramatica apresentada não é ambígua

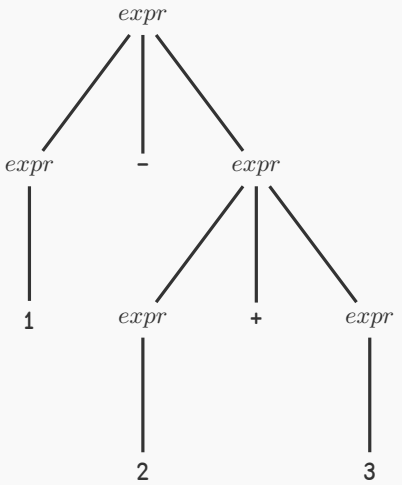
Características da árvore gramatical

- As folhas da árvore gramatical, quando lidas da esquerda para a direita, formam o produto da árvore, que é a cadeira gerada ou derivada a partir da raiz não-terminal
- O processo de encontrar uma árvore gramatical para uma dada cadeia de tokens é chmado de análise gramatical ou análise sintática daquela cadeia
- Uma gramática que permite a construção de duas ou mais árvores gramaticais distintas para uma mesma cadeia de tokens é denominada gramática ambígua
- A gramatica apresentada não é ambígua
- Contudo, se removida a distinção entre $expr$ e $digito$, a gramática passaria a ser ambígua:

$$expr \rightarrow expr + expr \mid expr - expr \mid 0 \mid 1 \mid 2 \mid 3 \mid 4 \mid 5 \mid 6 \mid 7 \mid 8 \mid 9$$

Exemplo de gramática ambígua





Associatividade de operadores

- Quando um operando está, simultaneamente, à esquerda e à direita de dois operadores (por exemplo, o dígito `2` na expressão `1-2+3`), é preciso decidir qual destes operadores receberá o operando

Associatividade de operadores

- Quando um operando está, simultaneamente, à esquerda e à direita de dois operadores (por exemplo, o dígito `2` na expressão `1-2+3`), é preciso decidir qual destes operadores receberá o operando
- Uma operação $\odot$ é associativa à esquerda se $a \odot b \odot c = (a \odot b) \odot c$

Associatividade de operadores

- Quando um operando está, simultaneamente, à esquerda e à direita de dois operadores (por exemplo, o dígito `2` na expressão `1-2+3`), é preciso decidir qual destes operadores receberá o operando
- Uma operação $\odot$ é associativa à esquerda se $a \odot b \odot c = (a \odot b) \odot c$
- Na maioria das linguagens de programação, os operadores aritméticos (`+`, `-`, `*` e `/`) são associativos à esquerda

Associatividade de operadores

- Quando um operando está, simultaneamente, à esquerda e à direita de dois operadores (por exemplo, o dígito `2` na expressão `1-2+3`), é preciso decidir qual destes operadores receberá o operando
- Uma operação $\odot$ é associativa à esquerda se $a \odot b \odot c = (a \odot b) \odot c$
- Na maioria das linguagens de programação, os operadores aritméticos (`+`, `-`, `*` e `/`) são associativos à esquerda
- Uma operação $\oslash$ é associativa à direita se $a \oslash b \oslash c = a \oslash (b \oslash c)$

Associatividade de operadores

- Quando um operando está, simultaneamente, à esquerda e à direita de dois operadores (por exemplo, o dígito `2` na expressão `1-2+3`), é preciso decidir qual destes operadores receberá o operando
- Uma operação $\odot$ é associativa à esquerda se $a \odot b \odot c = (a \odot b) \odot c$
- Na maioria das linguagens de programação, os operadores aritméticos (`+`, `-`, `*` e `/`) são associativos à esquerda
- Uma operação $\oslash$ é associativa à direita se $a \oslash b \oslash c = a \oslash (b \oslash c)$
- Por exemplo, a atribuição (operador `=`) da linguagem C é associativa à direita: a expressão `a = b = c` equivale a expressão `a = (b = c)`

Associatividade de operadores

- Quando um operando está, simultaneamente, à esquerda e à direita de dois operadores (por exemplo, o dígito `2` na expressão `1-2+3`), é preciso decidir qual destes operadores receberá o operando
- Uma operação $\odot$ é associativa à esquerda se $a \odot b \odot c = (a \odot b) \odot c$
- Na maioria das linguagens de programação, os operadores aritméticos (`+`, `-`, `*` e `/`) são associativos à esquerda
- Uma operação $\oslash$ é associativa à direita se $a \oslash b \oslash c = a \oslash (b \oslash c)$
- Por exemplo, a atribuição (operador `=`) da linguagem C é associativa à direita: a expressão `a = b = c` equivale a expressão `a = (b = c)`
- Uma gramática possivel para esta atribuição seria:

$$\begin{array}{rcl} expr & \rightarrow & var = expr \mid var \\ var & \rightarrow & a \mid b \mid \ldots \mid z \end{array}$$

Precedência de operadores

- Algumas expressões da aritmética contém ambiguidades que não podem ser resolvidas apenas por meio da associatividade

Precedência de operadores

- Algumas expressões da aritmética contém ambiguidades que não podem ser resolvidas apenas por meio da associatividade
- Por exemplo, qual seria o resultada expressão `1 + 2 * 3`? `9` ou `7`?

Precedência de operadores

- Algumas expressões da aritmética contém ambiguidades que não podem ser resolvidas apenas por meio da associatividade
- Por exemplo, qual seria o resultada expressão `1 + 2 * 3`? `9` ou `7`?
- Dizemos que o operador $\otimes$ tem maior precedência do que o operador $\oplus$ se $\otimes$ captura os operandos antes que $\oplus$ o faça

Precedência de operadores

- Algumas expressões da aritmética contém ambiguidades que não podem ser resolvidas apenas por meio da associatividade
- Por exemplo, qual seria o resultada expressão `1 + 2 * 3`? `9` ou `7`?
- Dizemos que o operador $\otimes$ tem maior precedência do que o operador $\oplus$ se $\otimes$ captura os operandos antes que $\oplus$ o faça
- Na aritmética, a multiplicação e a divisão tem maior precedência do que a adição e a subtração

Precedência de operadores

- Algumas expressões da aritmética contém ambiguidades que não podem ser resolvidas apenas por meio da associatividade
- Por exemplo, qual seria o resultada expressão `1 + 2 * 3`? `9` ou `7`?
- Dizemos que o operador $\otimes$ tem maior precedência do que o operador $\oplus$ se $\otimes$ captura os operandos antes que $\oplus$ o faça
- Na aritmética, a multiplicação e a divisão tem maior precedência do que a adição e a subtração
- Se dois operadores tem mesma precedência, a associatividade determina a ordem que as operações serão realizadas

Construção de gramáticas com precedência de operadores

É possível construir uma gramática com precedência de operadores a partir dos seguintes passos:

Construção de gramáticas com precedência de operadores

É possível construir uma gramática com precedência de operadores a partir dos seguintes passos:

1. Construa uma tabela com a associatividade e a precedência dos operadores, em ordem crescente de precedência (operadores com mesma precedência aparecem na mesma linha)

Construção de gramáticas com precedência de operadores

É possível construir uma gramática com precedência de operadores a partir dos seguintes passos:

1. Construa uma tabela com a associatividade e a precedência dos operadores, em ordem crescente de precedência (operadores com mesma precedência aparecem na mesma linha)

associatividade à esquerda	`+ -`
associatividade à esquerda	`* /`

Construção de gramáticas com precedência de operadores

É possível construir uma gramática com precedência de operadores a partir dos seguintes passos:

1. Construa uma tabela com a associatividade e a precedência dos operadores, em ordem crescente de precedência (operadores com mesma precedência aparecem na mesma linha)

associatividade à esquerda	`+ -`
associatividade à esquerda	`* /`

2. Crie um terminal para cada nível ($expr$ e $termo$) e um terminal extra para as unidades básicas da expressão ($fator$)

Construção de gramáticas com precedência de operadores

É possível construir uma gramática com precedência de operadores a partir dos seguintes passos:

1. Construa uma tabela com a associatividade e a precedência dos operadores, em ordem crescente de precedência (operadores com mesma precedência aparecem na mesma linha)

associatividade à esquerda	`+ -`
associatividade à esquerda	`* /`

2. Crie um terminal para cada nível ($expr$ e $termo$) e um terminal extra para as unidades básicas da expressão ($fator$)

$$fator \rightarrow \textbf{digito} \mid (expr)$$

Construção de gramáticas com precedência de operadores

3. Defina as produções para o último terminal criado para os níveis a partir dos operadores com maior precedência

Construção de gramáticas com precedência de operadores

3. Defina as produções para o último terminal criado para os níveis a partir dos operadores com maior precedência

$$
\begin{array}{lcl}
termo & \rightarrow & termo * fator \\
 & | & termo \ / \ fator \\
 & | & fator
\end{array}
$$

Construção de gramáticas com precedência de operadores

3. Defina as produções para o último terminal criado para os níveis a partir dos operadores com maior precedência

$$\begin{array}{lcl} termo & \rightarrow & termo * fator \\ & | & termo \ / \ fator \\ & | & fator \end{array}$$

4. Faça o mesmo para os demais operadores, em ordem decrescente de precedência e crescente na lista de terminais criados para os níveis

Construção de gramáticas com precedência de operadores

3. Defina as produções para o último terminal criado para os níveis a partir dos operadores com maior precedência

$$\begin{array}{rcl} termo & \rightarrow & termo * fator \\ & | & termo \ / \ fator \\ & | & fator \end{array}$$

4. Faça o mesmo para os demais operadores, em ordem decrescente de precedência e crescente na lista de terminais criados para os níveis

$$\begin{array}{rcl} expr & \rightarrow & expr + termo \\ & | & expr - termo \\ & | & termo \end{array}$$

Construção de gramáticas com precedência de operadores

3. Defina as produções para o último terminal criado para os níveis a partir dos operadores com maior precedência

$$\begin{array}{rcl} termo & \rightarrow & termo * fator \\ & | & termo \ / \ fator \\ & | & fator \end{array}$$

4. Faça o mesmo para os demais operadores, em ordem decrescente de precedência e crescente na lista de terminais criados para os níveis

$$\begin{array}{rcl} expr & \rightarrow & expr + termo \\ & | & expr - termo \\ & | & termo \end{array}$$

A presença de parêntesis na definição de $fator$ permite escrever expressões com níveis arbitrários de aninhamento, sendo que os parêntesis tem precedência sobre todos os operadores definidos.

Notação posfixa

Definição de notação posfixa

A notação posfixa para uma expressão E é definida da seguinte maneira:

1. Se E for uma variável ou uma constante, então a notação posfixa para E é o próprio E
2. Se E é uma expressão da forma $E_1\ op\ E_2$, onde op é um operador binário, então a forma posfixa para E é $E_1'\ E_2'\ op$, onde E_1' e E_2' são as notações posfixas de E_1 e E_2, respectivamente
3. Se E é uma expressão da forma (E_1), então a notação posfixa para E_1 será a notação posfixa para E

Definições dirigidas pela sintaxe

- Uma definição dirigida pela sintaxe usa a gramatica livre de contexto para especificar a estrutura sintática da entrada

Definições dirigidas pela sintaxe

- Uma definição dirigida pela sintaxe usa a gramatica livre de contexto para especificar a estrutura sintática da entrada
- Ela associa, a cada símbolo da gramática, um conjunto de atributos e, a cada produção, um conjunto de regras semânticas para computar os valores dos atributos associados aos símbolos presentes na produção

Definições dirigidas pela sintaxe

- Uma definição dirigida pela sintaxe usa a gramatica livre de contexto para especificar a estrutura sintática da entrada
- Ela associa, a cada símbolo da gramática, um conjunto de atributos e, a cada produção, um conjunto de regras semânticas para computar os valores dos atributos associados aos símbolos presentes na produção
- A gramática e o conjunto de regras semânticas constiturem a definição dirigida pela sintaxe

Definições dirigidas pela sintaxe

- Uma definição dirigida pela sintaxe usa a gramatica livre de contexto para especificar a estrutura sintática da entrada
- Ela associa, a cada símbolo da gramática, um conjunto de atributos e, a cada produção, um conjunto de regras semânticas para computar os valores dos atributos associados aos símbolos presentes na produção
- A gramática e o conjunto de regras semânticas constiturem a definição dirigida pela sintaxe
- Um atributo é dito sintetizado se seu valor depende apenas dos valores dos atributos dos nós filhos de seu nó na árvore gramatical

Definições dirigidas pela sintaxe

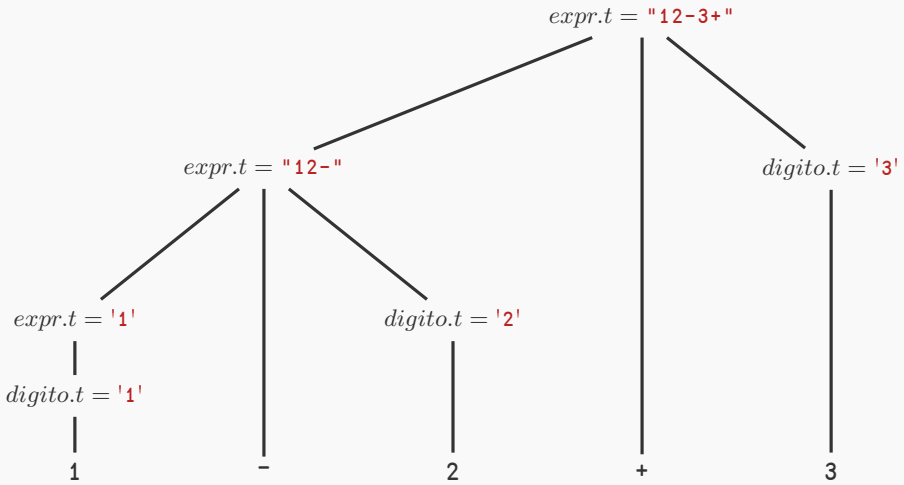
- Uma definição dirigida pela sintaxe usa a gramatica livre de contexto para especificar a estrutura sintática da entrada
- Ela associa, a cada símbolo da gramática, um conjunto de atributos e, a cada produção, um conjunto de regras semânticas para computar os valores dos atributos associados aos símbolos presentes na produção
- A gramática e o conjunto de regras semânticas constiturem a definição dirigida pela sintaxe
- Um atributo é dito sintetizado se seu valor depende apenas dos valores dos atributos dos nós filhos de seu nó na árvore gramatical
- Os atributos sintetizados podem ser computados por meio de uma travessia por profundidade

Definição dirigida pela sintaxe para a tradução de notação infixa para posfixa

Produção	Regra semântica
$expr \rightarrow expr_1 + digito$	$expr.t := expr_1.t \mid\mid digito.t \mid\mid$ '+'
$expr \rightarrow expr_1 - digito$	$expr.t := expr_1.t \mid\mid digito.t \mid\mid$ '-'
$expr \rightarrow digito$	$expr.t := digito.t$
$digito \rightarrow 0$	$digito.t :=$ '0'
$digito \rightarrow 1$	$digito.t :=$ '1'
$\ldots$	$\ldots$
$digito \rightarrow 9$	$digito.t :=$ '9'

A notação $X.t$ indica que t é um atributo de X e $\mid\mid$ indica concatenação de caracteres.

Valores dos atributos nos nós da árvore gramatical da expressão `1-2+3`



Esquema de tradução

- Um esquema de tradução é uma gramática livre de contexto na qual fragmentos de programas, denominados ações semânticas, são inseridos nos lados direitos das produções

Esquema de tradução

- Um esquema de tradução é uma gramática livre de contexto na qual fragmentos de programas, denominados ações semânticas, são inseridos nos lados direitos das produções
- Num esquema de tradução, a ordem de avaliação das ações semânticas é explicitamente mostrada

Esquema de tradução

- Um esquema de tradução é uma gramática livre de contexto na qual fragmentos de programas, denominados ações semânticas, são inseridos nos lados direitos das produções
- Num esquema de tradução, a ordem de avaliação das ações semânticas é explicitamente mostrada
- A posição na qual uma ação semântica deve ser executada marcada no lado direito da produção, por meio de chaves

Esquema de tradução

- Um esquema de tradução é uma gramática livre de contexto na qual fragmentos de programas, denominados ações semânticas, são inseridos nos lados direitos das produções
- Num esquema de tradução, a ordem de avaliação das ações semânticas é explicitamente mostrada
- A posição na qual uma ação semântica deve ser executada marcada no lado direito da produção, por meio de chaves
- Na árvore gramatical uma ação semântica é indicada por um filho extra, conectado por meio de uma linha pontilhada

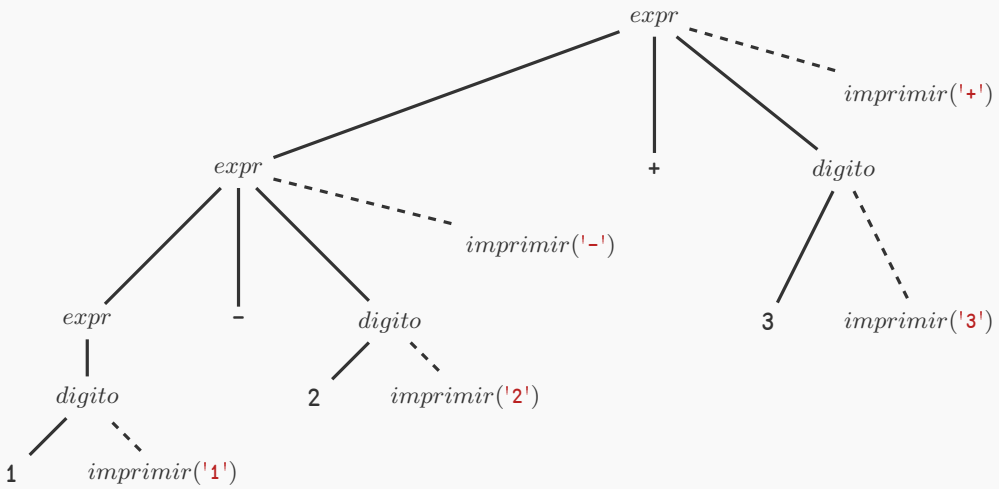
Esquema de tradução

- Um esquema de tradução é uma gramática livre de contexto na qual fragmentos de programas, denominados ações semânticas, são inseridos nos lados direitos das produções
- Num esquema de tradução, a ordem de avaliação das ações semânticas é explicitamente mostrada
- A posição na qual uma ação semântica deve ser executada marcada no lado direito da produção, por meio de chaves
- Na árvore gramatical uma ação semântica é indicada por um filho extra, conectado por meio de uma linha pontilhada
- Nós rotulados por ações gramaticas não possui filhos

Ações semânticas para a tradução de expressões para a notação posfixa

$$
\begin{array}{lcll}
expr & \rightarrow & expr + digito & \{imprimir(\texttt{'+'})\} \\
expr & \rightarrow & expr - digito & \{imprimir(\texttt{'-'})\} \\
expr & \rightarrow & digito & \\
digito & \rightarrow & 0 & \{imprimir(\texttt{'0'})\} \\
digito & \rightarrow & 1 & \{imprimir(\texttt{'1'})\} \\
 & & \ldots & \\
digito & \rightarrow & 9 & \{imprimir(\texttt{'9'})\}
\end{array}
$$

Árvore gramatical com ações semânticas que traduz a expressão 1-2+3



Análise gramatical

- A análise gramatical é o processo de se determinar se uma cadeia de tokens pode ser gerada por uma gramática

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

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

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 gramáticas livres de contexto existe um analisador gramatical que analisa N tokens com complexidade $O(N^3)$

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 gramáticas livres 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

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

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

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

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

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

Construção *top-down* de uma árvore gramatical

1. Inicie na raiz, rotulada pelo não-terminal de partida
2. Repita os seguintes passos:

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

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

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:

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

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*

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

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

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.

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

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

$$tipo$$

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.

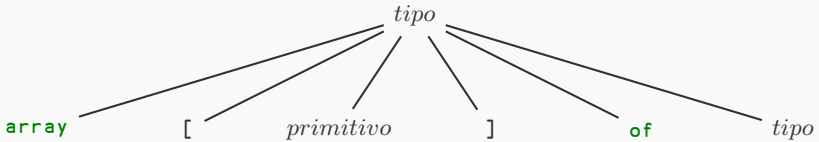
Exemplo de construção *top-down* da árvore gramatical

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

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

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

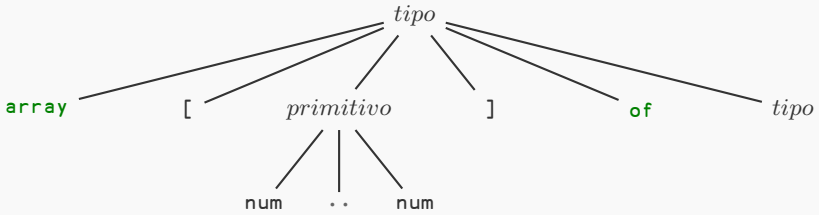
(e) O nó seguinte contém o não-terminal $primitivo$ e *lookahead* contém o token `num`. Assim a terceira produção de $primitivo$ é utilizada para gerar os novos filhos

Exemplo de construção *top-down* da árvore gramatical

(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

Exemplo de construção *top-down* da árvore gramatical

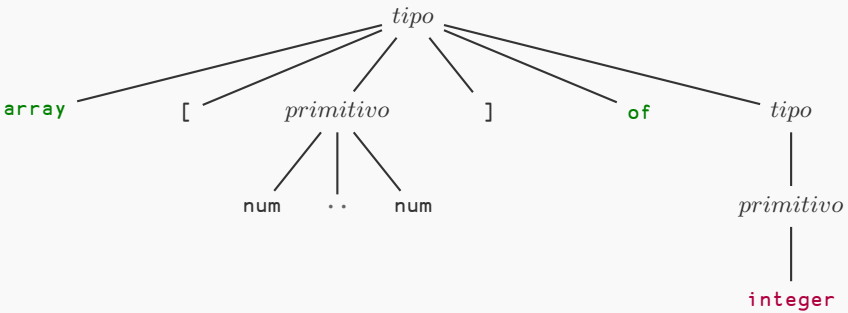
(g) Os próximos tokens (`:`, `num`, `of`) coincidem com os respectivos filhos

(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

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

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

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

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 gramaticalno processamento da entrada determina, de forma implícita, a árvore gramatical

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 gramaticalno 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.

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 simbolos 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 $\text{PRIMEIRO}(X)$ de todos não-terminais X da gramática

Primeiros símbolos e análise gramatica preditiva

- A análise gramatical preditiva depende dos conjuntos $\text{PRIMEIRO}(X)$ 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 $A \to \beta$)

Primeiros símbolos e análise gramatica preditiva

- A análise gramatical preditiva depende dos conjuntos $\text{PRIMEIRO}(X)$ 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 rque a análise gramatical recursiva descendente seja preditiva é necessário que os primeiros símbolos de cada produção sejam distintos

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 rque a análise gramatical recursiva descendente seja preditiva é necessário que os primeiros símbolos de cada produção sejam distintos
- No exemplo dado,

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

Primeiros símbolos e análise gramatica preditiva

- A análise gramatical preditiva depende dos conjuntos $\text{PRIMEIRO}(X)$ 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 rque a análise gramatical recursiva descendente seja preditiva é necessário que os primeiros símbolos de cada produção sejam distintos
- No exemplo dado,

$$\text{PRIMEIRO}(\alpha) \cap \text{PRIMEIRO}(\beta) = \emptyset$$

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

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:

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 valor 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

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 valor 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 chamandos 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.

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 produção

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

é recursiva à direita.

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 produção

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

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.