Judson Santos Santiago

Análise Sintática

Compiladores

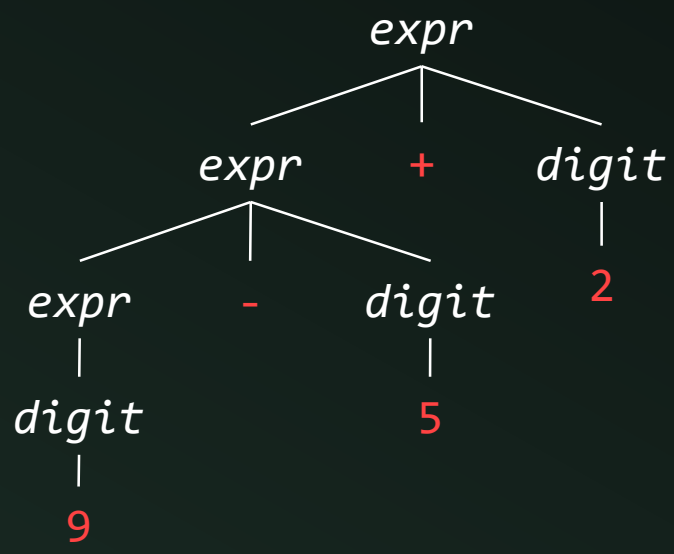
Introdução

- Uma gramática é formada por um conjunto de produções que descrevem as construções das linguagens
  - Sentenças são válidas se for possível derivá-las

Gramática para expressões aritméticas em notação infixada

```
expr   → expr + digit
       | expr - digit
       | digit
digit  → 0 | … | 9
```

Derivação de 9−5+2

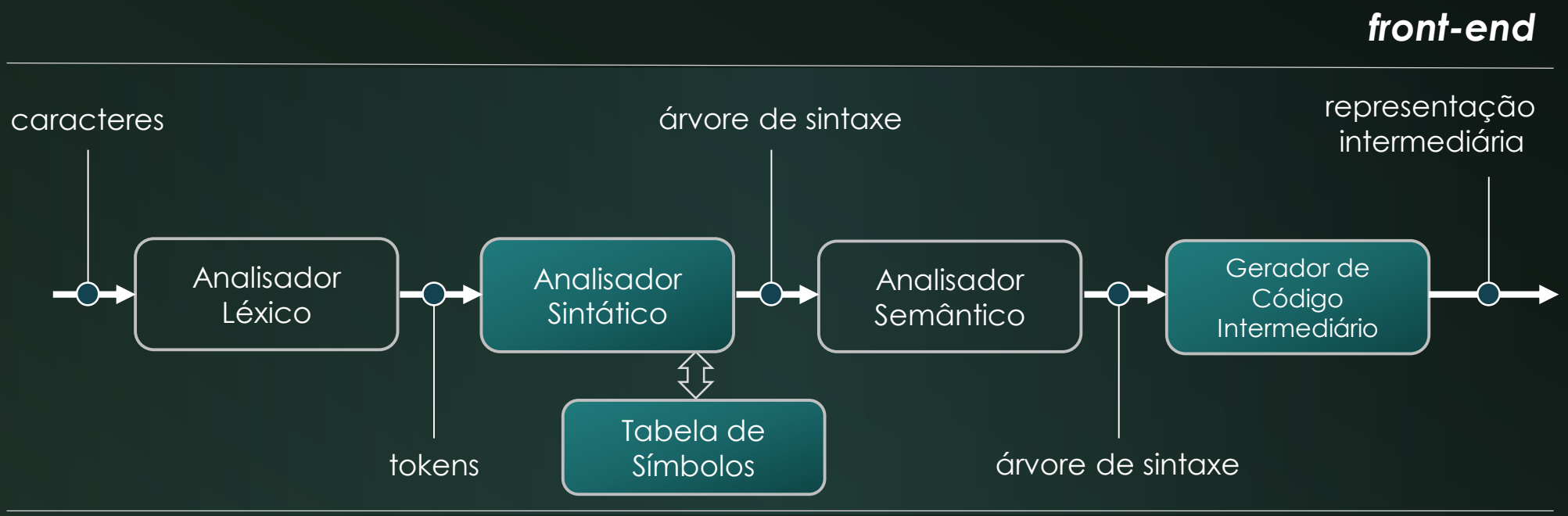


Introdução

- A tradução dirigida por sintaxe permite construir um tradutor usando uma busca em profundidade em uma árvore de derivação:
  - Anotada com **atributos**
    (definição dirigida por sintaxe)
  - Modificada por **ações semânticas**
    (esquema de tradução dirigido por sintaxe)
- Mas a tradução foi feita sem realizar nenhuma análise
  - Os processadores de linguagem idealmente realizam:
    - Análise léxica, sintática e semântica

Introdução

- Um esquema de tradução pode ser usado para a análise sintática
  - A análise léxica e semântica serão omitidas por enquanto

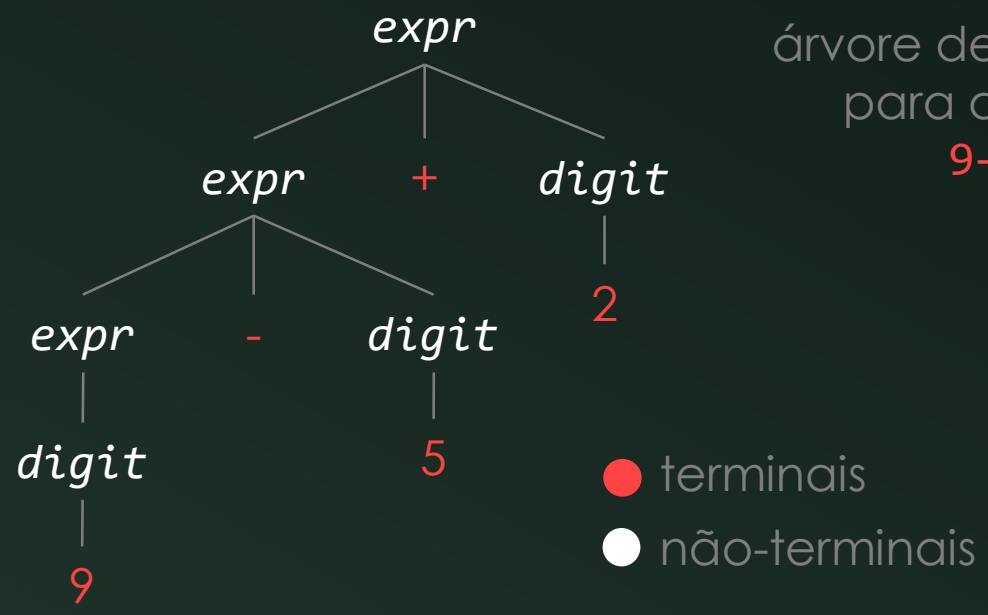


Análise Sintática

- Um analisador sintático pode ser construído:
  - **Manualmente** através de um programa em alguma linguagem (C++)
  - Usando uma **ferramenta** apropriada (Yacc, Bison, etc.)
- Para qualquer gramática livre de contexto, existe um analisador sintático capaz de analisar **n símbolos** terminais em $\mathbf{O(n^3)}$
  - No entanto, na prática, as linguagens de programação conseguem ser analisadas em tempo linear
    - É feita uma única leitura da esquerda para a direita sobre a entrada

Análise Sintática

- A análise sintática é o processo que determina se uma cadeia de terminais (sentença) é gerada por uma gramática



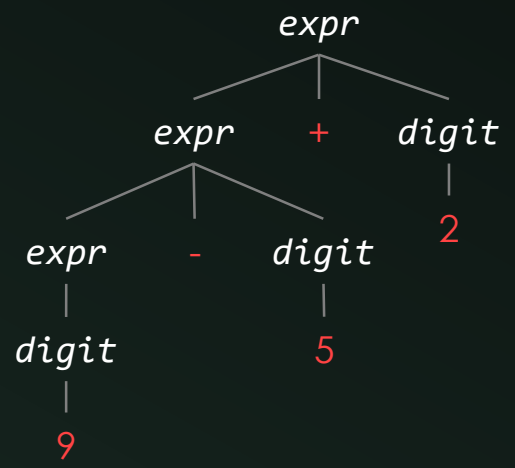
árvore de derivação
para a cadeia
9-5+2

Gramática

$$
\begin{aligned}
expr &\rightarrow expr + digit && (p_1)\\
&\mid expr - digit && (p_2)\\
&\mid digit && (p_3)\\
digit &\rightarrow 0 \mid \ldots \mid 9 && (p_4)
\end{aligned}
$$

Análise Sintática

- A análise sintática constrói a árvore de derivação de uma cadeia
  - A ordem em que os nós são construídos depende do método
    - Analisadores descendentes
      - A árvore é construída de cima para baixo (da raiz para as folhas)
      - Popular entre analisadores sintáticos **construídos à mão**
    - Analisadores ascendentes
      - A árvore é construída de baixo para cima (das folhas para a raiz)
      - Pode tratar uma classe maior de gramáticas
      - Mais comum para analisadores sintáticos criados por **geradores automáticos**



Análise Sintática Descendente

- Considere a gramática de uma linguagem simplificada
  - Com **expr** sendo, excepcionalmente, um símbolo terminal

```
inst     → expr;
         |  if (expr) inst
         |  for (optexpr; optexpr; optexpr) inst

optexpr  → expr
         |  ϵ
```

- terminais
- não-terminais
- ϵ vazio

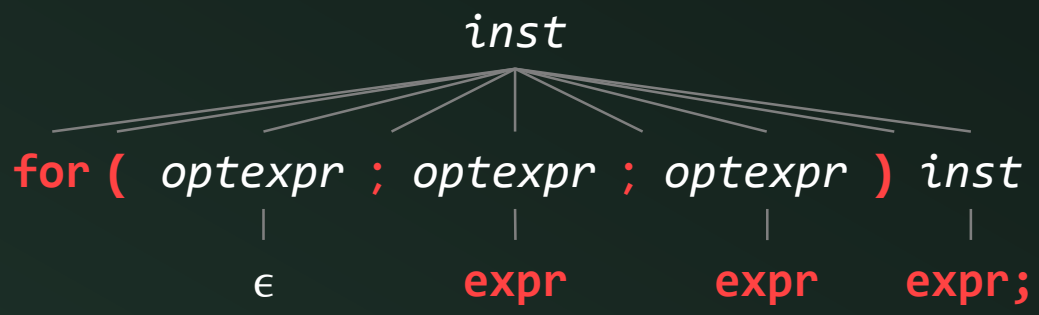
Ex.:

```
if (expr)
  expr;
```

```
for ( ; expr; expr)
    expr;
```

Análise Sintática Descendente

- A construção descendente de uma árvore de derivação é feita:
  - Iniciando no símbolo inicial da gramática:
    1. Rotule um nó N com um símbolo não-terminal S
    2. Selecione uma das produções de S e construa nós filhos em N, um para cada símbolo no corpo da produção
    3. Encontre o próximo nó mais a esquerda da árvore, correspondente a um símbolo não-terminal não expandido, e repita o processo



Análise Sintática Descendente

- A construção da árvore pode ser feita em uma única leitura da sentença de entrada, da esquerda para a direita
  - O símbolo corrente da sentença é chamado de símbolo **lookahead**
  - No início, o símbolo **lookahead** é o primeiro da entrada


```
inst     → expr;
         |  if (expr) inst
         |  for (optexpr; optexpr; optexpr) inst

optexpr  → expr
         |  ϵ
```

Análise Sintática Descendente

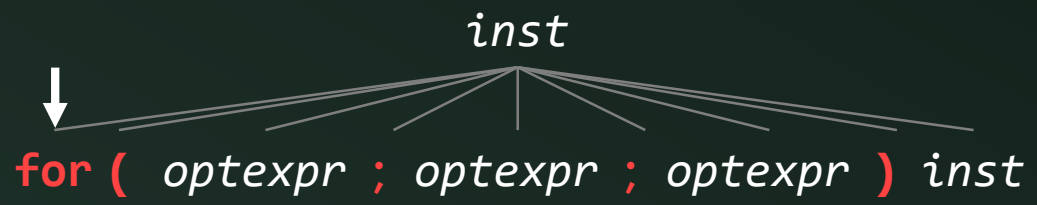
- Selecionando uma das produções de *inst* e construindo nós filhos para os símbolos no corpo da produção

Entrada `for ( ; expr ; expr ) expr;`

```
inst     → expr;
         |  if (expr) inst
         |  for (optexpr; optexpr; optexpr) inst

optexpr  → expr
         |  ϵ
```

Árvore de derivação



Análise Sintática Descendente

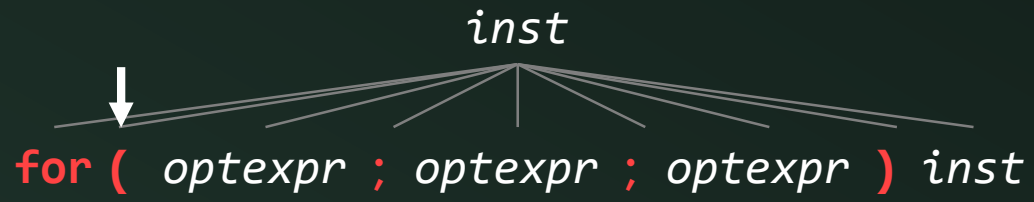
- Encontrando o próximo nó mais a esquerda da árvore correspondente a um não-terminal não expandido

Entrada `for ( ; expr ; expr ) expr;`

```
inst     → expr;
         |  if (expr) inst
         |  for (optexpr; optexpr; optexpr) inst

optexpr  → expr
         |  ϵ
```

Árvore de derivação



Análise Sintática Descendente

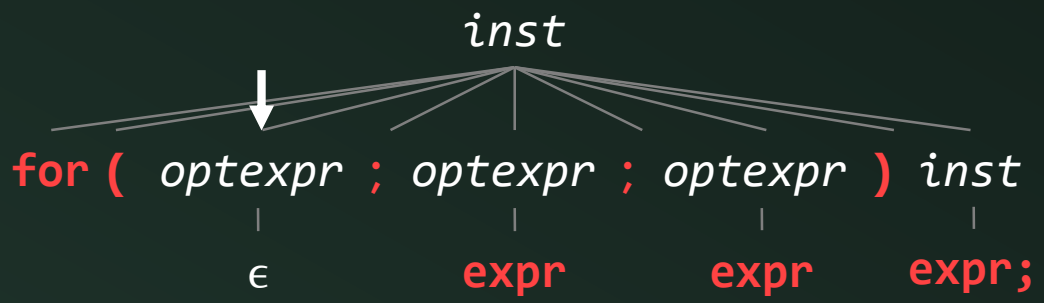
- No nó não-terminal *optexpr* repete-se a seleção de uma produção
  - A produção vazia é selecionada (não há outro casamento possível)

Entrada `for ( ; expr ; expr ) expr;` EOF

```
inst     → expr;
         | if (expr) inst
         | for (optexpr; optexpr; optexpr) inst

optexpr  → expr
         | ϵ
```

Árvore de derivação



Análise Sintática Descendente

- A seleção de uma produção pode envolver tentativa e erro
  - Se houver mais de uma produção viável
    - Tentamos a produção e se ela falhar recuamos e tentamos outra

```
inst     → expr;
         |  if (expr) inst
         |  for (optexpr; optexpr; optexpr) inst
         |  for (init : container) inst
```

- Esse processo de recuo não é desejável e é possível evitá-lo através de um analisador sintático preditivo

Analisador Sintático Preditivo

- Um analisador sintático preditivo é um tipo simples de analisador descendente recursivo
  - Análise descendente recursiva é um método de análise sintática:
    - Funções recursivas são usadas para processar a entrada
    - Uma função é associada a cada não-terminal da gramática

```
inst     → expr;
         | if (expr) inst
         | for (optexpr; optexpr; optexpr)
              inst
optexpr  → expr
         | ϵ
```

Funções:

```
void inst();
void optexpr();
```

Analisador Sintático Preditivo

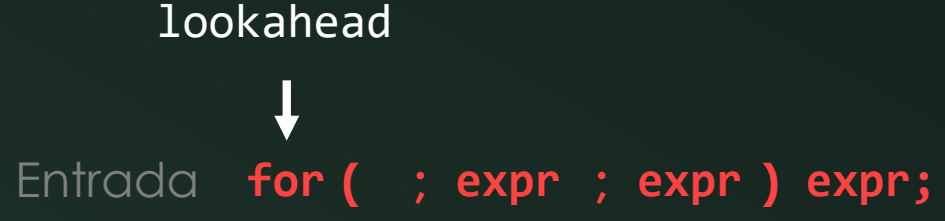
- As funções imitam o corpo de uma produção
  - Os símbolos do corpo são processados da esquerda para a direita:
    - Um não-terminal:
      - Se torna uma chamada de função
    - Um terminal:
      - Se casar com o símbolo ***lookahead*** provoca a leitura do próximo símbolo da entrada
      - Se não casar com o símbolo ***lookahead*** gera um erro de sintaxe

Gramática

```
inst     → expr;
         | if (expr) inst
         | for (optexpr; optexpr; optexpr)
             inst
optexpr  → expr
         | ϵ
```

Analisador Sintático Preditivo

- Em um analisador sintático preditivo:
  - O símbolo ***lookahead*** determina a escolha da próxima produção (de forma não ambígua)




```
void inst()
{
    switch(lookahead)
    {
    case expr: ... break;
    case if: ... break;
    case for: ... break;
    default: print("syntax error");
    }
}
```

Analisador Sintático Preditivo

- Implementação do analisador

Gramática

inst → **expr;**
| **if (expr)** *inst*
| **for (***optexpr***;** *optexpr***;** *optexpr***)**
inst

optexpr → **expr**
| ϵ

```
void inst()
{
    switch(lookahead)
    {
    case expr:
        match(expr); match(';'); break;
    case if:
        match(if); match('('); match(expr);
        match(')'); inst(); break;
    case for:
        match(for); match('('); optexpr();
        match(';'); optexpr(); match(';');
        optexpr(); match(')'); inst();
        break;
    default:
        print("syntax error");
    }
}
```

Analisador Sintático Preditivo

- Implementação do analisador

Gramática

```
inst     → expr;
         | if (expr) inst
         | for (optexpr; optexpr; optexpr)
              inst
optexpr  → expr
         | ϵ
```

```
void optexpr()
{
    if (lookahead == expr)
        match(expr);
}


void match(terminal t)
{
    if (t == lookahead)
        lookahead = next_terminal();
    else
        print("syntax error");
}
```

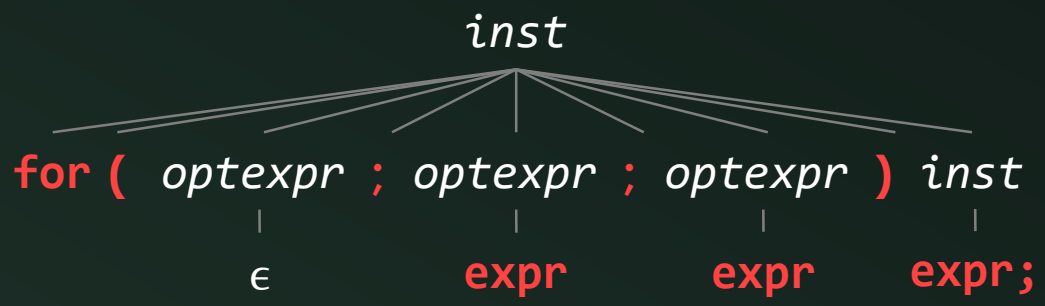
Analisador Sintático Preditivo

- A sequência de chamadas das funções define implicitamente uma árvore de derivação para uma cadeia de entrada
  - Pode ser usada para construir a árvore de derivação

Entrada: `for ( ; expr ; expr ) expr;`

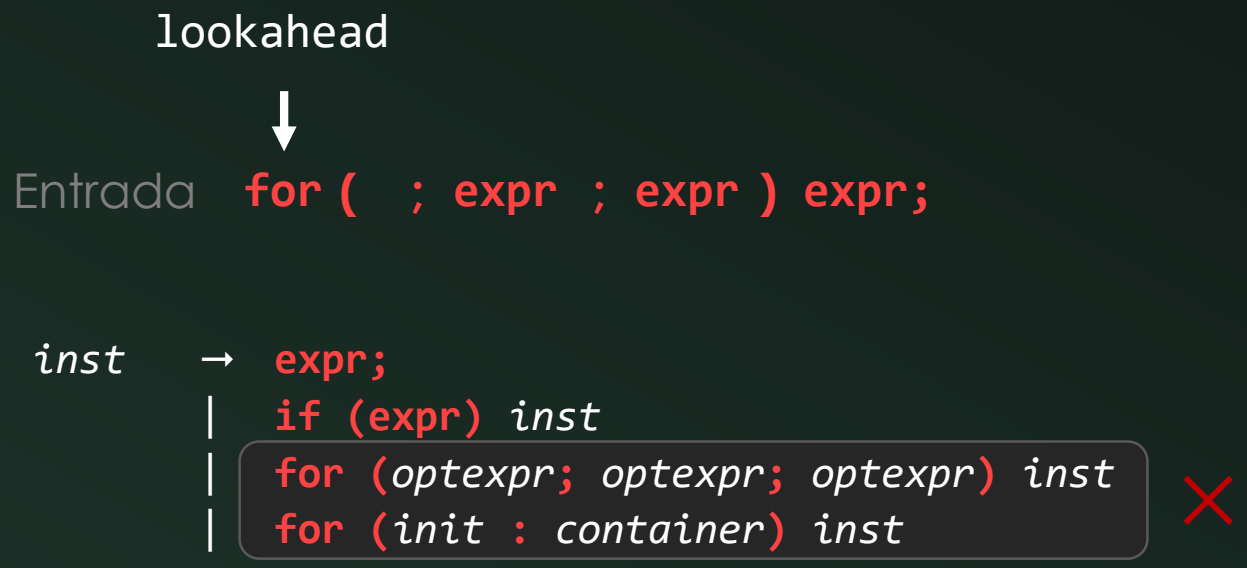
Sequência de chamadas: `inst(), optexpr(), optexpr(), optexpr(), inst()`

Árvore de derivação:



Analisador Sintático Preditivo

- Para que o analisador preditivo funcione não podem haver dúvidas na seleção da produção



O analisador sintático preditivo **não funciona** com todo tipo de gramática

Analisador Sintático Preditivo

- O analisar preditivo deve conhecer os primeiros símbolos gerados pelo corpo de uma produção

  - Seja FIRST(α) o conjunto de símbolos que aparecem no início do corpo de uma produção que tem α como cabeça:
    1. Ou α começa com um terminal e este faz parte de FIRST(α)
    2. Ou então começa com um não-terminal cujos corpos da produção começam com terminais que, neste caso, são membros de FIRST(α)
    3. Se a produção gerar ϵ, então ele também está em FIRST(α)

Analisador Sintático Preditivo

- Encontrando os conjuntos FIRST para a gramática:

```
inst      → expr;
          |  if (expr) inst
          |  for (optexpr; optexpr; optexpr)
                inst
optexpr   → expr
          |  ϵ
```

FIRST(*inst*) = { **expr**, **if**, **for** }
FIRST(*optexpr*) = { **expr**, ϵ }

Analisador Sintático Preditivo

- Os conjuntos FIRST precisam ser analisados
  - Se houverem produções do tipo:

$S \rightarrow \alpha$

$\quad | \ \beta$

Exemplo:

```
inst     → if (expr) inst
         | for (optexpr; optexpr; optexpr)
```

  - O analisador preditivo exige que FIRST(α) e FIRST(β) sejam conjuntos disjuntos
    - Permite que o símbolo ***lookahead*** seja usado para decidir:
      - Se o símbolo ***lookahead*** estiver em FIRST(α) então α é usado
      - Se o símbolo ***lookahead*** estiver em FIRST(β) então β é usado

Tradutor Dirigido por Sintaxe

- Retornando para a nossa gramática de expressões aritméticas

Gramática para expressões aritméticas em notação infixada

```
expr   → expr + digit
       | expr - digit
       | digit
digit  → 0 | … | 9
```

Esquema de tradução dirigido por sintaxe

```
expr → expr + digit { print('+') }
     | expr - digit { print('-') }
     | digit

digit → 0 { print('0') }
      | 1 { print('1') }
        ...
      | 9 { print('9') }
```

Tradutor Dirigido por Sintaxe

- Assim como um esquema de tradução é formado estendendo-se uma gramática, um tradutor dirigido por sintaxe pode ser formado estendendo-se um analisador preditivo
  - Constrói-se um analisador preditivo para a gramática
  - Copia-se as ações semânticas para o analisador:
    - A posição da ação semântica na função deve ser a mesma da produção:
      - Se ela aparecer depois do símbolo X na produção p, deve ser copiada após a implementação de X na função f

```
expr → expr + digit { print('+') }
```

Recursão à Esquerda

- Um analisador sintático preditivo pode ficar em um laço infinito ao tratar produções recursivas à esquerda:
  - O procedimento `expr()` vai chamar a si mesmo na primeira linha de código

$$expr \rightarrow expr + digit$$

```
void expr() { expr(); match('+'); digit(); }
```

  - Uma produção recursiva à esquerda pode ser eliminada reescrevendo-se a produção problemática

$$expr \rightarrow expr + digit \mid digit$$

$$A = expr \quad \alpha = + digit \quad \beta = digit$$

$$A \rightarrow A\alpha \mid \beta$$

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

Recursão à Esquerda

- A aplicação da produção:
  - Acumula uma sequência de α's à direita de A
  - Quando A é substituído por β, produz um β seguido por zero ou mais α's

A
$A\alpha$
$A\alpha\alpha$
$A\alpha\alpha\alpha$
$A\alpha\alpha\alpha\alpha$
$\boxed{\beta\alpha\alpha\alpha\alpha}$

$A \rightarrow A\alpha \mid \beta$

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

O não-terminal R é recursivo à direita e produz o mesmo resultado

A
βR
$\beta\alpha R$
$\beta\alpha\alpha R$
$\beta\alpha\alpha\alpha R$
$\beta\alpha\alpha\alpha\alpha R$
$\boxed{\beta\alpha\alpha\alpha\alpha}$

Exercícios

1. Construa funções que implementem analisadores sintáticos preditivos para as seguintes gramáticas:

a) $S \rightarrow +SS \mid -SS \mid a$

b) $S \rightarrow (S)S \mid \epsilon$

c) $S \rightarrow 0S1 \mid 01$

✗ Os conjuntos FIRST não são disjuntos

Exercícios

1. Construa funções que implementem analisadores sintáticos preditivos:

a) S → +SS
| -SS
| a

```
void S()
{
   switch(lookahead)
   {
      case '+': match('+'); S(); S(); break;
      case '-': match('-'); S(); S(); break;
      case 'a': match('a'); break;
      default: print("sintax error");
   }
}
```

Exercícios

1. Construa funções que implementem analisadores sintáticos preditivos para as seguintes gramáticas:

b) $S \rightarrow (S)S \mid \epsilon$

```
void S()
{
   if (lookahead == '(')
   {
      match('('); S(); match(')'); S();
   }
   else
   {
      // vazio
   }
}
```

Resumo

- Um tradutor pode ser construído a partir de um esquema de tradução dirigido por sintaxe usando:
  - Análise sintática descendente
    percorre a árvore de derivação de cima para baixo
  - Evitando o processo de tentativa e erro
    através de um analisador sintático preditivo
  - Trabalhando com uma gramática apropriada
    sem recursão à esquerda e usando conjuntos FIRST disjuntos
- Essa técnica é apropriada para implementar um tradutor