Análise Semântica

Introdução

- Verifica se as construções sintaticamente corretas possuem significado lógico dentro da linguagem
- Verifica a consistência da declaração e uso dos identificadores
- Além disso, deve fazer conversões necessárias, e permitidas, para dar significado a uma sentença

Introdução

- Durante a análise semântica também podem ser obtidas algumas conclusões que permitem ao compilador alterar a árvore sintática, de modo que redundâncias e ineficiências sejam, sempre que possível, eliminadas, obtendo-se uma árvore que descreve um programa equivalente, porém mais eficiente.

Introdução

- A verificação de tipos pode ser estática e dinâmica
  - Verificação estática - é feita no código fonte, no processo de compilação
  - Verificação dinâmica – é feita durante o tempo de execução
- Concentraremos mais na primeira

Verificação Estática

- Exemplos de verificação estática incluem:
  - *Verificação de tipos*:
    - Um compilador deve relatar um erro se um operador for aplicado a um operando incompatível
    - Por exemplo:
      - Se uma variável array é somada a um identificador de um procedimento
      - Uma variável do tipo inteiro é somada com uma variável do tipo string em Pascal

Verificação Estática

- Considere o seguinte exemplo de código em C:

```
int f1(int a, float b)
{
    return a % b;
}
```

- A tentativa de compilar esse código irá gerar um erro detectado pelo analisador semântico, mais especificamente pelas regras de **verificação de tipos**, indicando que o operador módulo % não pode ter um operador real.

Verificação Estática

- *Verificação do fluxo de controle*:
  - Os comandos que fazem o fluxo de controle deixar uma construção precisam ter algum local para onde transferir o controle .
  - Exemplo: O comando break em C faz com que o fluxo de controle saia do while, for ou switch mais interno. Um erro ocorre se este comando não aparecer dentro de pelo menos um while, for ou switch

Verificação Estática

- *Verificações de unicidade*:
  - Existem situações nas quais um objeto precisa ser definido exatamente uma vez
  - Por exemplo: Em Pascal:
    - Um identificador precisa ser declarado univocamente no mesmo nível
    - os rótulos em enunciados case precisam ser distintos.
    - os elementos em um tipo escalar não podem ser repetidos

Verificação Estática

- *Verificação relacionada aos nomes*:
  - Algumas vezes, o mesmo nome precisa figurar duas ou mais vezes.
  - Por exemplo:
    - em Ada, um laço ou bloco precisa ter um nome que apareça ao início e ao final da construção.
    - O compilador precisa verificar se o mesmo nome é usado em ambos os locais

Verificação de tipos

- Muitos compiladores Pascal combinam a verificação estática e a geração de código intermediário com a análise sintática
- Com construções mais complexas, tais como em Ada, pode ser conveniente ter uma passagem separada de verificação de tipos antes da geração de código intermediário

Verificação de Tipos

- Uma boa parte das verificações estáticas podem ser implementadas com as técnicas de **Tradução Dirigida pela Sintaxe**
- Informações a respeito dos tipos de variáveis pode ser úteis em *tempo de geração de código*
  - A **sobrecarga de operadores** consiste na aplicação de operadores no contexto dos operandos
  - O **polimorfismo** permite a execução de funções com argumentos de vários tipos

Verificação de Tipos

- Nas linguagens de programação em geral os tipos podem ser:
  - **Básicos** - não possuem estrutura interna. Ex.: inteiro, real, booleano, carácter, *string*, intervalo e enumeração
  - **Construídos** - possuem uma estrutura interna composta por tipos básicos e outros tipos construídos. Ex.: ponteiros, estruturas, registros, vetores e matrizes

Verificação de Tipos

- A **expressão de tipo** é o tipo de uma construção de linguagem qualquer
- São expressões de tipos:
  - Os tipos básicos

    char, integer, real, boolean
  - Nomes de expressões

```
type linha = record
                idade: interger;
                nome: array [1..15] of char;
             end;
var tabela : aray [1..101] of linha;
```

Verificação de Tipos

- Um construtor de tipo aplicado sobre uma expressão de tipo (vetores, apontadores, funções e procedimentos)

  var A: array[1..10] of integer;

  var p: ^integer;

  função c(a,b: integer): integer;

Verificação de Tipos

- Um **sistema de tipos** é uma coleção de regras para expressões de tipos de um programa
- Podem ser especificados na forma de **definições dirigidas pela sintaxe (ações semânticas)**

Verificação de Tipos

- Declaração de Tipos (estilo PASCAL)

$D \rightarrow$ id: T	{incluir_ID(id.entrada,T.tipo)}
$T \rightarrow$ char	{T.tipo:= caracter}
$T \rightarrow$ integer	{T.tipo:= inteiro}
$T \rightarrow$ array [num] of T	{T.tipo:= vetor(1..num.val, T.tipo)}
$T \rightarrow \uparrow T$	{T.tipo:= apontador(T.tipo)}

Verificação de Tipos

- incluir_ID(e, t): insere um identificador ***e*** com o tipo ***t*** na tabela de símbolos
- caracter e inteiro: são tipos básicos
- vetor(a1, an, t): tipo construtído vetor de elementos do tipo *t* e intervalo de variação de índices *a1* até *an*
- apontador(t): tipo construído apontador para o tipo básico *t*

Verificação de Tipos

- Tipos de Expressões (estilo PASCAL)

$E \rightarrow$ literal	{E.tipo:= caracter}
$E \rightarrow$ num	{E.tipo:= inteiro}
$E \rightarrow$ id	{E.tipo:= procurar(id.entrada)}

Verificação de tipos

type_declaration_part ::= **type** *type_definition* { **;** *type_definition* } **;**

type_definition ::= **identifier =** *type*

type ::= **^ identifier**
| **array [** *simple_type* { **,** *simple_type* } **]** **of** *type*
| **set of** *simple_type*
| **record** *field_list* **end**
| *simple_type*

Dentro de *type* é que será feita a construção dos tipos. Ou seja, em *type* estaremos criando novos tipos e para isso utilizaremos a estrutura de dados do descritor de tipos vista anteriormente

Inserindo informações de tipo na Tabela de Símbolos

```
void type_definition(void)
{
    TAB_SIMBOLO *t_simbolo;  char *id;
    id = Atr.identifier;
    match(IDENTIFIER);
    t_simbolo = busca_arvoreb(Vet_Identifier[nivel], id);

    if (t_simbolo){
        printf(" \n Erro Semantico - Identificador de tipo ja declarado ");
        exit(0);
    }
    t_simbolo = insere_arvoreb(Vet_Identifier+nivel,IDTIPO,nivel,id);
    match(EQUAL);
    t_simbolo->u.id_tipo.tipo = type();
}
```

Busca o identificador de tipo no nível corrente

Insere o identificador de tipo na TS

Inserindo informações de tipo na Tabela de Símbolos

```
void var_declaration(void)
{
        identifier_list( &head_list);
        match(COLON);

        tipo = type();
        Printf("Reduziu para var_declaration ");

       // inserir cada identificador (com seu tipo) da lista
      // encadeada dentro da Tabela de símbolos
}
```

Terá que retornar uma lista encadeada contendo a lista de identificadores encontrados

O tipo deverá ser reconhecido

Inserindo informações de tipo na Tabela de Símbolos

```
void procedure_declaration(void)
{
        match(PROCEDURE);
        match(IDENTIFIER);
        if(lookahead == LP)
                formal_parameters();

        match(SEMICOLON);
        block();
        Printf("Reduziu para procedure_declaration");

}
```

Criar uma lista encadeada com ponteiros para todos os parâmetros formais. Cada nó da lista contém ponteiros para a Tabela de símbolos

Inserindo informações de tipo na Tabela de Símbolos

```
void procedure_call(void)
{
        while(lookahead == LP)
        {
                lookahead = analex();
                expr_list();
                match(RP);
        }

        Printf("Reduziu para procedure_call ");
}
```

Inserindo informações de tipo na Tabela de Símbolos

```
void simple_expr(void)
{
        if(lookahead == ADDOP)
                lookahead = analex();
        term( &t1 );
        while( lookahead == ADDOP || lookahead == OR)
        {
                addop();
                term(&t2);
                // if( o tipo t1 for diferente de t2)
                // erro semântico
        }
}
```

Verificação de Tipos

- caracter: tipo básico
- inteiro: tipo básico
- procurar(i): busca o tipo de um identificador na tabela de símbolos (se existir)

Verificação de Tipos

- Tipos de Expressões (estilo PASCAL)

$E \rightarrow E_1$ mod E_2 {E.tipo := **se** E_1.tipo = inteiro **e** E_2.tipo = inteiro
então inteiro
senão tipo_erro}

$E \rightarrow E_1[E_2]$ {E.tipo := **se** E_1.tipo = vetor(s,t) **e** E_2.tipo = inteiro
então t
senão tipo_erro}

Tabela de Símbolos

Tabela de Símbolos

- Um compilador necessita coletar e usar informações sobre os nomes (identificadores) que aparecem no programa-fonte
- Estas informações são colocadas numa estrutura de dados chamada Tabela de Símbolos (TS)

Tabela de Símbolos

- As informações coletadas sobre o nome incluem
  - a cadeia de caracteres pelo qual é denotado, isto é, o *lexeme* do identificador
  - seu *tipo* - inteiro, real, booleano etc
  - sua *forma* - variável simples, identificador de tipo, identificador de função, identificador de procedimento…
  - seu *tamanho*
  - sua *localização na memória* e outros atributos, dependendo da linguagem

Tabela de Símbolos

- Algumas mudanças serão realizadas em nosso analisador lexico/sintático
- A primeira mudança é a retirada da inserção dos identificadores na Tabela de Símbolos na análise léxica
- As ações semânticas inseridas no analisador sintático serão responsáveis por inserir os identificadores na Tabela de Símbolos.

Tabela de Símbolos

- O motivo disto é a checagem da semântica da linguagem PGL
- Vamos inicialmente definir a estrutura da Tabela de Símbolos

Tabela de Símbolos

- A tabela de símbolos então será responsável pela organização da informação dos identificadores que o compilador “conhece”
- O compilador associa com cada identificador presente na tabela de símbolos um certo número de atributos

Tabela de símbolos

- Os atributos associados com cada identificador dependerão de sua categoria
- Alguns exemplos são:

3. **Variáveis Simples**: categoria, tipo e endereço
4. **Parâmetro Simples**: categoria, tipo, endereço, mecanismo de passagem (por valor ou referência)
5. **Procedimentos**: categoria, rótulo interno (no programa objeto), nível em que foi declarado, número de parâmetros, tipo e mecanismo de passagem de cada parâmetro

Tabela de Símbolos

- Nos slides a seguir, é apresentada a estrutura de dados de uma Tabela de Símbolos para a linguagem PGL
- Assume-se que a tabela de símbolos seja representada por uma árvore binária
- A mesma definição poderia ser feita usando-se uma tabela hash

Categoria dos identificadores

```
typedef  enum{
        PARAMETRO, FUNCAO, VARS,
        PROCEDIMENTO, IDTIPO,
        CONSTANTE, _LABEL,
        CAMPOREG, LEITURA, ESCRITA

    } CATEGORIAS;
```

Tabela de Símbolos

```
typedef struct tab_simbolo {
        char *identificador;    // ponteiro para lexeme
        CATEGORIAS categoria;
        int nivel;          // nível em que o id foi definido
        union{
            // identificador de tipo
            struct
            {
                    D_tipos *tipo;  // ptr para tipo no DT
             }id_tipo;
```

Tabela de Símbolos

```
// variavel simples
struct
{
      D_tipos *tipo;          // tipo da variável simples
      int deslocamento;  // deslocamento na pilha
 } vars;
// parametro
struct
{
      D_tipos *tipo;          // tipo do parâmetro
      int deslocamento; // deslocamento na pilha
      PP passagem;     // PP pode ser valor ou referência
 } param;
```

Tabela de Símbolos

```
//procedimento
struct{
    int rotulo;   // rotulo do procedim.
    int n;        // número de parâmetros

    // lista com os ponteiros dos
    // parâmetros na tabela de Simb.
    ListaParam *listaParametros;
}proced;
```

Tabela de Símbolos

```
// função
struct{
      D_tipos *tipo;   // tipo do retorno
      int rotulo;          // rotulo da funcao
      int n;        // numero de parametros
     // lista de ptr dos parâmetros na TS
      ListaParam *listaParametros;
 }func;
```

Tabela de Símbolos

```
        // constante
         struct
         {
               D_tipos *tipo;
               int valor;
          } constante;
         // label
         struct  {
               int label;
          } label;
    }u;  // fim da union
    struct tab_simbolo *pesq, *pdir; // se for usar arvore binária
} TAB_SIMBOLO;
```

Tabela de Símbolos

- Neste caso TAB_SIMBOLO representa o nó de uma árvore binária
- Se fôssemos implementar um hashing, a primeira mudança seria deixar somente um ponteiro dentro de TAB_SIMBOLO (*prox ao invés de *pesq e *pdir)

Além disso teríamos que definir:

TAB_SIMBOLO *tab_hash[211];

Descritor de tipos

- Antes de definir o descritor de tipos vejamos as estruturas que este utiliza:
- A primeira estrutura é uma lista encadeada de ponteiros para constantes na Tabela de Símbolos

```
typedef struct List_Const
 {
      TAB_SIMBOLO *ptr;      // apontador para a
                                constante na TS
      struct List_Const *prox;  // proxima constante

}Lista_Constantes;
```

Descritor de tipos

- A segunda estrutura de dados necessária é uma lista encadeada para armazenar os campos de um registro

```
typedef struct Registro
{
    char *ident;                // identificador associado ao registro
    CATEGORIAS categoria;  // categoria do campo de registro
    D_Tipos *tipo;              // tipo do campo
    int deslocamento;       // deslocamento dentro do registro
    struct Registro *prox;  // apontador para o proximo registro

}Tab_Campos;
```

Descritor de tipos

```
typedef struct Desc_tipos{
        CONSTRUTOR construtor;
        int tam;     // tamanho em bytes ocupado pelo tipo
        union
        {
                // intervalo
                struct{
                    int num_elementos;
                    int lim_inferior;
                    int lim_superior;
                    struct Desc_tipos *tipo; // tipo elem intervalo
                 }
```

Descritor de tipos

```
// enumeração
struct{
        int num_elementos;
        ListaConstantes *l_constantes;
} Enum;
// array
struct{
     int num_elementos;
     struct Desc_tipos *tipo_ind;
     struct Desc_tipos *tipo_elem;
}Array;
```

Descritor de tipos

```
        // pointer
        struct{
            struct Desc_tipos *tipo_elem;
        } Pointer;
        // registro
        struct{
             Tab_Campos *tab_campos;
        } record;
    } ivariante; // fim da union
}D_tipos;
```

Exemplo

```
tipo cores = ( branco, vermelho, verde, azul, preto);
        rgb = vermelho..azul;
        T = vetor[1..2000] of rgb;
declare  v : T
              P : vetor[boolean, 1..10] of T;
```

- A definição de P acima é equivalente à:

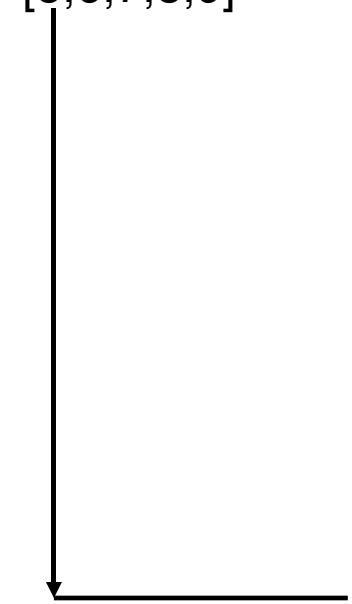
```
P : vetor[boolean] de vetor [1..10] de T;
```

Tabela de Símbolos

	ID	CAT	NIVEL	TIPO	VAL	DESL
0 -	“boolean”	IDTIPO	-1	0	-	-
1 -	“false”	CONST	-1	0	0	
2 -	“true”	CONST	-1	0	1	
3 -	“integer”	IDTIPO	-1	1		
4 -	“cores”	IDTIPO	0	2		
5 -	“branco”	CONST	0	2	0	
6 -	“vermelho”	CONST	0	2	1	
7 -	“verde”	CONST	0	2	2	
8 -	“azul”	CONST	0	2	3	
9 -	“preto”	CONST	0	2	4	
10-	“rgb”	IDTIPO	0	3	-	
11-	“T”	IDTIPO	0	4	-	
12-	“v”	VARS	0	4	-	0
13-	“P”	VARS	0	6		2000

Descritor de tipos

	CONST	TAM	NELEM	L.CONST	Mr. V	Ma. V	Tipo	TI	TE
0-	ENUM	1	2	[1,2]*					
1-	INTERVALO	2	-	-	-32768	32767	1	-	-
2-	ENUM	1	5	[5,6,7,8,9]*					
3-	INTERVALO	1	3		1	3	2		
4-	ARRAY	2000	2000					5	3
5-	INTERVALO	1	2000		1	2000	5		
6-	ARRAY	40000	20					0	7
7-	ARRAY	20000	10					8	4
8-	INTERVALO	1	10		1	10	8		



*São ponteiros da tabela de símbolos

Legenda:

- No slide anterior temos as legendas:

CONST = construtor

TAM = tamanho em bytes

NELEM = número de elementos

L.CONST = lista de constantes da enumeração

Mr. V = menor valor

Ma. V = maior valor

Tipo = tipo dos elementos

TI = tipo do indice do array

TE = tipo do elemento do array

Exercício

- Mostre a tabela de símbolos e o descritor de tipos para o trecho de código abaixo:

```
tipo meses = (janeiro, fevereiro, marco, abril, maio, junho,
    julho, agosto, setembro, outubro, novembro, dezembro);
      ptrMes =  ^meses;
declare  m : meses;
         p : ptrMes;
         v1: vetor [meses] de ptrMes;
         v2: vetor [ 1..10] de meses;
         v3: vetor [junho..novembro] de array[janeiro..maio] de
    integer;
```

Exercício

- Os tipos pré-definidos, integer, boolean, true e false devem ser inicialmente inseridos no nível -1