Construção de Compiladores 1 - 2018.1 - Profs. Mário César San Felice (e Helena Caseli, Murilo Naldi, Daniel Lucrédio)
Tópico 08 - Geração de Código e Otimização - Lista de Exercícios Resolvida

1. Cite quais são os 2 tipos de código intermediário apresentados em aula e suas características principais. Quais são as diferenças entre eles?

R. O **código de três endereços** é uma forma de representação intermediária na qual cada instrução pode envolver, no máximo, três endereços de memória:

x = y op z

em que op é um operador aritmético (+ ou , por exemplo) ou algum outro operador que possa operar sobre os valores de y e z. Atenção: o uso de x é diferente do uso de y e z já que y e z podem representar constantes ou literais sem endereços na execução, enquanto é necessário conhecer o endereço de x para que a atribuição possa ser realizada. Isso fica bem claro com o P-código. Outra característica relevante do código de três endereços é a necessidade de utilizar temporários (t1, t2 etc.) para armazenar os valores intermediários das operações. Esses temporários correspondem aos nós interiores da árvore sintática e representam seus valores computados; podem ser armazenados na memória ou em registradores.

O **P-código**, por sua vez, surgiu como um código de montagem alvo padrão produzido pelos compiladores Pascal e foi projetado como código de uma máquina hipotética baseada em pilhas (P-máquina) com interpretador para diversas máquinas reais. Como foi projetado para ser executado diretamente, o P-código contém uma descrição implícita de um ambiente de execução, entre outros detalhes abstraídos quando o consideramos como código intermediário nesse curso.

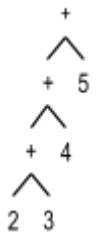
Comparação
Código de três endereços vs. **P-código**

Código de três endereços	**P-código**
- é mais compacto (menos instruções) - é mais próximo do código de máquina - é autosuficiente no sentido de que não precisa de uma pilha para representar o processamento - precisa de temporários para armazenar os valores das computações intermediárias	- é mais próximo do código de máquina - as instruções exigem menos endereços (os endereços omitidos estão na pilha implícita) - não precisa de temporários, uma vez que a pilha contém todos os valores temporários

2. Apresente a sequência de instruções de código de três endereços correspondente a cada uma das expressões aritméticas a seguir. Quais são as árvores sintáticas abstratas que correspondem à geração de código?

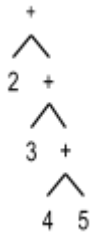
a) 2+3+4+5

R.




```
t1 = 2 + 3
t2 = t1 + 4
t3 = t2 + 5
```

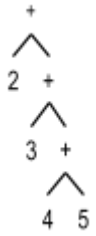
ou




```
t1 = 4 + 5
t2 = 3 + t1
t3 = 2 + t2
```

b) 2+(3+(4+5))

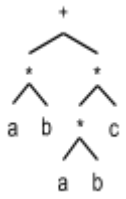
R.




```
t1 = 4 + 5
t2 = 3 + t1
t3 = 2 + t2
```

c) a*b+a*b*c

R.




```
t1 = a * b
t2 = a * b
t3 = t2 * c
t4 = t1 + t3
```

ou


```
t1 = a * b
t2 = b * c
t3 = a * t2
t4 = t1 + t3
```

3. Apresente a sequência de instruções de P-código correspondente às expressões aritméticas do exercício anterior

R.
a)2+3+4+5

```
ldc 2
ldc 3
adi
ldc 4
adi
ldc 5
adi
```

ou

```
ldc 4
ldc 5
adi
ldc 3
adi
ldc 2
adi
```

b) 2+(3+(4+5))

```
ldc 2
ldc 3
ldc 4
ldc 5
adi
adi
adi
```

ou

```
ldc 4
ldc 5
adi
ldc 3
adi
ldc 2
adi
```

c) a*b+a*b*c

```
lod a
lod b
mpi
lod a
lod b
mpi
lod c
mpi
adi
```

4. Escreva as ações semânticas para geração de código de três endereços para a gramática de expressões aritméticas de inteiros a seguir. Teste, gerando o código de três endereços para todas as expressões da questão 2

R.

```
grammar Expressoes;

@members{
int contador=1;
String newTemp() {
    return "t"+(contador++);
}
}

programa returns [ String tacode ]:
    expressao
    { $tacode = $expressao.tacode; }
;
expressao returns [ String tacode, String nome ]:
```

```
    exp2=expressao op1 termo
    { $nome = newTemp();
      $tacode = $exp2.tacode + "\n" +
                $termo.tacode + "\n" +
                $nome + "=" +
                $exp2.nome +
                $op1.nome +
                $termo.nome;
    }
    | termo
    { $tacode = $termo.tacode;
      $nome = $termo.nome; }
;
termo returns [ String tacode, String nome ]:
    t2=termo op2 fator
    { $nome = newTemp();
      $tacode = $t2.tacode + "\n" +
                $fator.tacode + "\n" +
                $nome + "=" +
                $t2.nome +
                $op2.nome +
                $fator.nome;
    }
    | fator
    { $tacode = $fator.tacode;
      $nome = $fator.nome; }
;
fator returns [ String tacode, String nome ]:
    '(' expressao ')'
    { $tacode = $expressao.tacode;
      $nome = $expressao.nome; }
    | NUM
    { $tacode = "";
      $nome = $NUM.getText(); }
    | ID
    { $tacode = "";
      $nome = $ID.getText(); }
    ;
op1 returns [ String nome ]:
    '+' {$nome="+";}
    | '-' {$nome="-";}
;
op2 returns [ String nome ]:
    '*' {$nome="*";}
    | '/' {$nome="/";}
;
NUM: '0'..'9'+;
ID: ('a'..'z'|'A'..'Z')+;
WS: ( ' ' | '\n' | '\r' | '\t' ) -> skip;
```

5. Considerando-se a mesma gramática do exercício anterior, escreva as ações semânticas para a

geração de P-código. Teste, gerando o P-código para todas as expressões da questão 2

R.

```
grammar Expressoes;

programa returns [ String pcode ]:
    expressao
    { $pcode = $expressao.pcode; }
;
expressao returns [ String pcode ]:
    exp2=expressao op1 termo
    { $pcode = $exp2.pcode + "\n" +
               $termo.pcode + "\n" +
               $op1.pcode;
    }
    | termo
    { $pcode = $termo.pcode; }
;
termo returns [ String pcode ]:
    t2=termo op2 fator
    { $pcode = $t2.pcode + "\n" +
                $fator.pcode + "\n" +
                $op2.pcode;
    }
    | fator
    { $pcode = $fator.pcode; }
;
fator returns [ String pcode ]:
    '(' expressao ')'
    { $pcode = $expressao.pcode; }
    | NUM
    { $pcode = "ldc "+ $NUM.getText(); }
    | ID
    { $pcode = "lod "+ $ID.getText(); }
    ;
op1 returns [ String pcode ]:
    '+' {$pcode="adi";}
    | '-' {$pcode="sbi";}
;
op2 returns [ String pcode ]:
    '*' {$pcode="mpi";}
    | '/' {$pcode="dvi";}
;
NUM: '0'..'9'+;
ID: ('a'..'z'|'A'..'Z')+;
WS: ( ' ' | '\n' | '\r' | '\t' ) -> skip;
```

6. Apresente as instruções de três endereços correspondentes às expressões em C a seguir.

a) (x=y=2)+3*(x=4)

R.

```
y = 2
```

```
x = 2
x = 4
t1 = 3*4
t2 = 2 + t1
```

b) a[a[i]]=b[i=2]

R.

```
i = 2
t1 = 2*elem_size(b)
t2 = &b+t1
t3 = *t2
t4 = i
t5 = t4*elem_size(a)
t6 = &a+t5
t7 = *t6
t8 = t7*elem_size(a)
t9 = &a+t8
*t9 = t3
```

7. Apresente a sequência de instruções de P-código correspondente às expressões em C do exercício anterior

R.

a)

```
lda x
lda y
ldc 2
stn
stn
ldc 3
lda x
ldc 4
stn
mpi
adi
```

b)

```
lda a
lda a
lod i
ixa elem_size(a)
ind 0
ixa elem_size(a)
lda b
lda i
ldc 2
stn
ixa elem_size(b)
ind 0
sto
```

8. Cite as várias fontes de otimização apresentadas em aula explicando o que vem a ser cada uma

delas

R.
- **Alocação de registradores**: O bom uso dos registradores é a característica mais importante do código eficiente, uma vez que é por meio deles que as operações são efetuadas. Quanto maior o número de registradores e melhor seu uso, maior a velocidade do código gerado;
- **Remoção de operações desnecessárias**: Às vezes um código-fonte dá origem (após a tradução para código intermediário ou alvo) a operações que não serão executadas ou que poderiam ser realizadas de uma maneira mais "inteligente" como as sub-expressões comuns, os códigos inatingíveis e os saltos desnecessários. Ao se evitar a geração de código para essas operações redundantes ou desnecessárias realiza-se uma otimização do tamanho do código gerado;
- **Adaptação de operações caras**: Algumas operações podem ser substituídas por uma versão mais "barata" computacionalmente (executa em tempo menor ou envolvendo menos registradores etc.) o que é chamado de redução de força. Além disso, essa otimização também diz respeito ao empacotamento de constantes (troca de expressões constantes pelo valor calculado), alinhamento de procedimentos (inserir o código do procedimento onde ele é chamado evitando-se, assim, todas as operações de ativação) e remoção de redução em cauda (quando a última instrução do procedimento é uma chamada a si próprio), e uso de dialetos de máquina. Todas essas alterações são realizadas com o intuito de aumentar a velocidade de execução do código-alvo; e
- **Previsão de comportamento do programa**: O conhecimento apropriado do comportamento dos programas a serem escritos na linguagem, por parte do projetista do compilador, permite que se possa otimizar as operações usadas com maior frequência aumentando, assim, a velocidade.

9. Quais os tipos de otimização (pequena escala, local, global ou interprocedimento) empregados nos exemplos a seguir:

a)

```
x = y * (-(-1))          x = y
```

R. pequena escala

b)

```
t1 = a + 2               t5 = a + 2
t2 = t1                  t3 = b + c
t3 = b + c
t4 = a + 2
t5 = t4
```

R. local

c)

```
while(c<n*n-2+3.14) {        t1 = n*n-2+3.14;
   c = c-1;                  while(c<t1);
   cout << "laço "+c;            c = c-1;
}                               cout << "laço"+c;
                             }
```

R. global

d)

```
int soma(int a,int b) {
   return a+b;
}
...
x = 2;
y = 3;
c = soma(x,y);
cout << c;
...
```

```
...
x = 2;
y = 3;
t1 = x;
t2 = y;
t3 = t1+t2;
c = t3;
cout << c;
...
```

R. interprocedimento

10. As otimizações a seguir são válidas? Justifique.

a)

```
while(c<n+1) {
   c = c-1;
   n = n+5;
   cout << "laço "+c;
}
```

```
t1 = n+1;
while(c<t1);
      c = c-1;
n = n+5;
      cout << "laço"+c;
}
```

R. Não, pois o valor de n é alterado dentro do laço

b)

```
void funcao(int a) {
   if(a==0)
      print("Bum!");
   else {
      print("Faltam "+a+" secs");
      sleep(1000);
      funcao(a-1);
      print("Passaram-se "+a+" secs");
   }
}
```

```
void funcao(int a) {
   L:
   if(a==0)
      print("Bum!");
   else
      print("Faltam "+a+" secs");
      sleep(1000);
      a = a-1;
      goto L;
           print("Passaram-se  "+a+"
secs");
}
```

R. Não, pois a chamada recursiva não é a última chamada do procedimento. O comando `print("Passaram-se "+a+" secs")` aparece depois da chamada recursiva.

c)

```
void f() {
   int i, j;
   for (i=0; i < 10; i++)
      cout << i << endl;
   for (j=10; j < 0; j--)
      cout << j << endl;
   cout << i << j << endl;
}
```

```
void f() {
   int i;
   for (i=0; i < 10; i++)
      cout << i << endl;
   for (i=10; i < 0; i--)
      cout << i << endl;
   cout << i << i << endl;
}
```

R. Não, pois há a necessidade de imprimir o valor de i (10, nesse exemplo) após o segundo laço, e portanto essa variável não pode ser reaproveitada.