Um compilador simples de uma passagem

Máquinas de pilha abstratas

Prof. Edson Alves

Faculdade UnB Gama

Máquinas de Pilha Abstratas

- A interface de vanguarda do compilador produz uma representação intermediária do programa fonte, que será usada pela interface de retaguarda para produzir o programa alvo
- Uma possível forma para a representação intermediária é a máquina de pilha abstrata
- Uma máquina de pilha abstrata possui memórias separadas para dados e instruções, e todas as operações aritméticas são realizadas sobre os valores em uma pilha
- As instruções são divididas em três classes: aritmética inteira, manipulação de pilha e fluxo de controle
- O ponteiro pc indica qual é a próxima instrução a ser executada

Instruções aritméticas

- A máquina de pilha abstrata precisa implementar cada operador da linguagem intermediária
- Operações elementares, como adição e subtração, são suportadas diretamente
- Operações mais sofisticadas devem ser implementadas como uma sequência de instruções da máquina
- A título de simplificação, assuma que existe uma instrução para cada operação aritmética
- O código de uma máquina de pilha abstrata para uma expressão simula a avaliação de um representação posfixa, usando uma pilha
- A avaliação segue da esquerda para a direita, empilhando os operandos
- Quando um operador é encontrado, seus operandos são extraídos da pilha (do último para o primeiro), a operação é realizada e o resultado é inserido no topo da pilha

Exemplo de avaliação da expressão `12+3*` por máquina abstrata de pilha

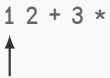
Instrução **Ações**

Pilha

Exemplo de avaliação da expressão `12+3*` por máquina abstrata de pilha

Instrução

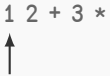
Ações



Pilha

Exemplo de avaliação da expressão `12+3*` por máquina abstrata de pilha

Instrução



Ações

`Empilhar o valor 1`

Pilha

Exemplo de avaliação da expressão `12+3*` por máquina abstrata de pilha

Instrução

```
1 2 + 3 *
↑
```

Ações

```
Empilhar o valor 1
```

Pilha

Exemplo de avaliação da expressão `12+3*` por máquina abstrata de pilha

Instrução

Ações

1 2 + 3 *

Pilha

Exemplo de avaliação da expressão `12+3*` por máquina abstrata de pilha

Instrução

```
1 2 + 3 *
  ↑
```

Ações

```
Empilhar o valor 2
```

Pilha

Exemplo de avaliação da expressão `12+3*` por máquina abstrata de pilha

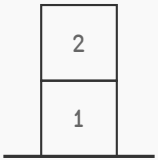
Instrução

```
1 2 + 3 *
  ↑
```

Ações

```
Empilhar o valor 2
```

Pilha

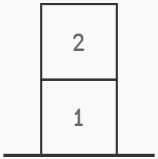


Exemplo de avaliação da expressão `12+3*` por máquina abstrata de pilha

Instrução **Ações**

1 2 + 3 *

Pilha



Exemplo de avaliação da expressão `12+3*` por máquina abstrata de pilha

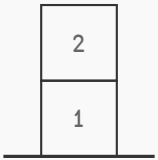
Instrução

```
1 2 + 3 *
  ↑
```

Ações

`Adicionar 1+2`

Pilha



Exemplo de avaliação da expressão `12+3*` por máquina abstrata de pilha

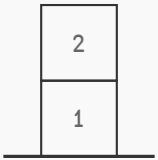
Instrução

```
1 2 + 3 *
  ↑
```

Ações

```
Adicionar 1+2
Empilhar a soma
```

Pilha



Exemplo de avaliação da expressão `12+3*` por máquina abstrata de pilha

Instrução

```
1 2 + 3 *
    ↑
```

Ações

```
Adicionar 1+2
Empilhar a soma
```

Pilha

Exemplo de avaliação da expressão `12+3*` por máquina abstrata de pilha

Instrução

```
1 2 + 3 *
    ↑
```

Ações

```
Empilhar o valor 3
```

Pilha

Exemplo de avaliação da expressão `12+3*` por máquina abstrata de pilha

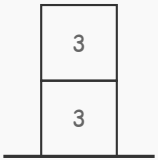
Instrução

```
1 2 + 3 *
    ↑
```

Ações

```
Empilhar o valor 3
```

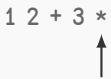
Pilha



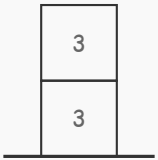
Exemplo de avaliação da expressão `12+3*` por máquina abstrata de pilha

Instrução **Ações**

1 2 + 3 *



Pilha



Exemplo de avaliação da expressão `12+3*` por máquina abstrata de pilha

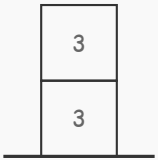
Instrução

```
1 2 + 3 *
      ↑
```

Ações

`Multiplicar 3*3`

Pilha



Exemplo de avaliação da expressão `12+3*` por máquina abstrata de pilha

Instrução

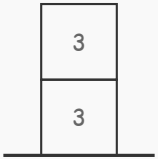
```
1 2 + 3 *
      ↑
```

Ações

`Multiplicar 3*3`

`Empilhar o produto`

Pilha



Exemplo de avaliação da expressão `12+3*` por máquina abstrata de pilha

Instrução

```
1 2 + 3 *
      ↑
```

Ações

```
Multiplicar 3*3
Empilhar o produto
```

Pilha

Valores-L e valores-R

- O significado de um identificador depende da posição onde ele ocorre em uma atribuição
- No lado esquerdo, o identificador se refere à localização de memória onde o valor deve ser armazenado
- No lado direito, o identificador se refere ao valor armazenado na localização de memória associada ao identificador
- Valor-L e valor-R se referem aos valores apropriados para os lados esquerdo e direito de uma atribuição, respectivamente
- Um mesmo identificador pode ser um valor-L e um valor-R na mesma atribuição (por exemplo, o identificador `x` em `x = x + 1`)

Manipulação da pilha

Uma máquina de pilha abstrata suporta as seguintes instruções para a manipulação da pilha:

Instrução	Significado
`push` v	empilha v
`pop`	desempilha o valor do topo da pilha
`valor-r` p	empilha o valor armazenado no endereço de memória p
`valor-l` p	empilha o endereço de memória p
`:=`	o valor-R do topo da pilha é armazenado no valor-L do subtopo (elemento que está abaixo do topo) da pilha
`copiar`	empilha o valor do topo da pilha

Tradução de expressões

- O código para avaliar uma expressão na máquina de pilha abstrata tem uma relação direta com a notação posfixa
- Por exemplo, a expressão `a + b` é traduzida para o código intermediário

```
valor-r   a
valor-r   b
+
```

- As atribuições são traduzidas da seguinte maneira: o valor-L do identificador é empilhado, a expressão à direita é avaliada e o seu valor r é atribuído ao identificador
- Formalmente,

$$cmd \rightarrow \mathbf{id} := expr \ \{ \ cmd.t := \texttt{"valor-l"} \ || \ \mathbf{id}.lexema \ || \ expr.t \ || \ \texttt{":="} \ \}$$

Tradução da expressão F = 9*C/5 + 32 para máquina de pilha abstrata

```
1    valor-l     F
2    push        9
3    valor-r     C
4    *
5    push        5
6    /
7    push        32
8    +
9    :=
```

Fluxo de controle

- A máquina de pilha abstrata executa as instruções sequencialmente, na ordem em que foram dadas
- Há três formas de se especificar um desvio (salto) no fluxo de execução
  1. o operando da instrução fornece o endereço da localização alvo;
  2. o operando da instrução fornece a distância relativa (positiva ou negativa) a ser saltada
  3. o alvo é especificado simbolicamente (a máquina deve suportar rótulos)
- Nas duas primeiras formas, uma alternativa é especificar que o salto está no topo da pilha
- A terceira forma é a mais simples de se implementar, pois não há necessidade de se recalcular os endereços caso o número de instruções seja modificado durante a otimização

Instruções de fluxo de controle

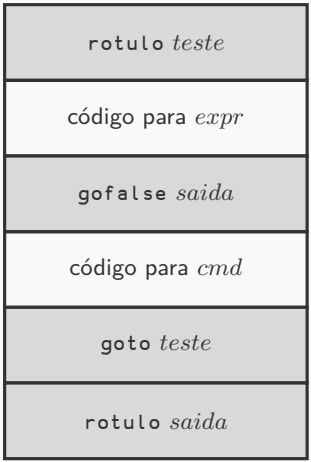
Uma máquina de pilha abstrata suporta as seguintes instruções para o fluxo de controle:

Instrução	Significado
`rótulo` r	especifica o rótulo r como possível alvo de desvios; não há outros efeitos
`goto` r	a próxima instrução é tomada a partir do rótulo r
`gofalse` r	desempilha o topo da pilha: salta para r se o valor for igual a zero
`gotrue` r	desempilha o topo da pilha: salta para r se o valor for diferente de zero
`parar`	encerra a execução

Gabaritos para tradução de condicionais e laços

if

while



Unicidade dos rótulos

- Os rótulos $saida$ e $teste$ que ilustram os gabaritos das condicionais e dos laços devem ser únicos, para evitar possíveis ambiguidades
- É preciso, portanto, de uma estratégia que torne tais rótulos únicos durante a tradução
- Seja $novoRotulo$ um procedimento que gera, a cada chamada, um novo rótulo único
- A ação semântica associada ao comando `if` assumiria a seguinte forma:

$$
\begin{aligned}
cmd \rightarrow \texttt{if}\ expr\ \texttt{then}\ cmd_1\ \{ \quad & saida \ := novoRotulo; \\
& cmd.t \ := expr.t \\
& \quad || \ \texttt{"gofalse"}\ saida \\
& \quad || \ cmd_1.t \\
& \quad || \ \texttt{"rotulo"}\ saida\ \}
\end{aligned}
$$

Referências

1. **AHO**, Alfred V, **SETHI**, Ravi, **ULLMAN**, Jeffrey D. *Compiladores: Princípios, Técnicas e Ferramentas*, LTC Editora, 1995.
2. GNU.org. GNU Bison, acesso em 23/05/2022.
3. Wikipédia. Flex (lexical analyser generator), acesso em 23/05/2022.