

---

# Seleção de Instruções

**Sandro Rigo**  
**sandro@ic.unicamp.br**

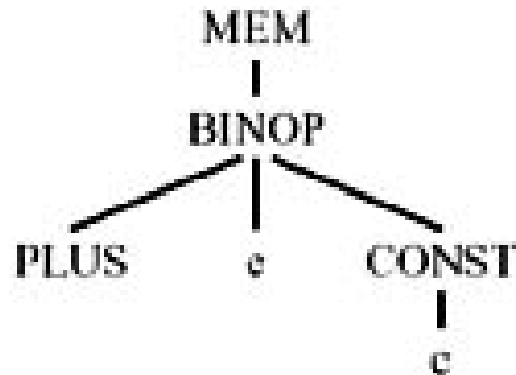
# Introdução

---

- A árvore da IR expressa uma operação “simples” em cada nó
  - Acesso à memória
  - Operador Binário
  - Salto condicional
- Instruções da máquina podem realizar uma ou mais dessas operações

# Introdução

---



- Que instrução seria essa?
- Encontrar o conjunto de instruções de máquinas que implementa uma dada árvore da IR é o objetivo da ***Seleção de Instruções***

# Padrões de Árvores

---

- Expressão as instruções da máquina
- Seleção de instruções:
  - Cubra a árvore da IR com o *menor* número de padrões existentes para a máquina alvo
- Exemplo:
  - Máquina Jouette
    - r0 contém sempre zero

# Padrões - Jouette

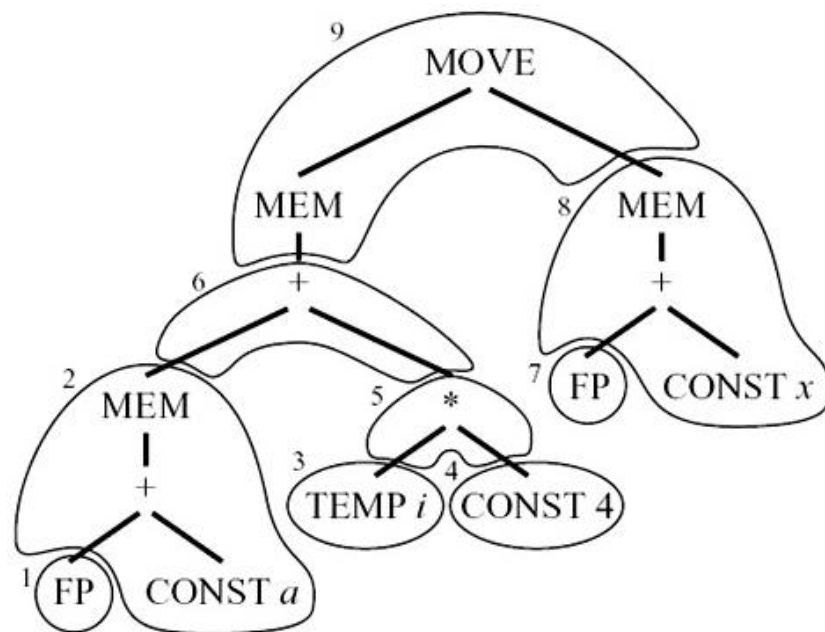
<i>Name</i>	<i>Effect</i>	<i>Trees</i>
—	$r_i$	TEMP
ADD	$r_i \leftarrow r_j + r_k$	$\begin{array}{c} + \\ \swarrow \quad \searrow \end{array}$
MUL	$r_i \leftarrow r_j \times r_k$	$\begin{array}{c} * \\ \swarrow \quad \searrow \end{array}$
SUB	$r_i \leftarrow r_j - r_k$	$\begin{array}{c} - \\ \swarrow \quad \searrow \end{array}$
DIV	$r_i \leftarrow r_j / r_k$	$\begin{array}{c} / \\ \swarrow \quad \searrow \end{array}$
ADDI	$r_i \leftarrow r_j + c$	$\begin{array}{c} + \\ \swarrow \quad \searrow \\ \text{CONST} \quad \text{CONST} \end{array}$ $\begin{array}{c} + \\ \swarrow \quad \searrow \\ \text{CONST} \quad \text{CONST} \end{array}$ CONST
SUBI	$r_i \leftarrow r_j - c$	$\begin{array}{c} - \\ \swarrow \quad \searrow \\ \text{CONST} \quad \text{CONST} \end{array}$
LOAD	$r_i \leftarrow M[r_j + c]$	$\begin{array}{c} \text{MEM} \\   \\ + \\ \swarrow \quad \searrow \\ \text{CONST} \quad \text{CONST} \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{MEM} \\   \\ + \\ \swarrow \quad \searrow \\ \text{CONST} \quad \text{CONST} \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{MEM} \\   \\ \text{CONST} \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{MEM} \\   \\ \text{CONST} \end{array}$
STORE	$M[r_j + c] \leftarrow r_i$	$\begin{array}{c} \text{MOVE} \\ \swarrow \quad \searrow \\ \text{MEM} \quad \text{MEM} \\   \quad   \\ + \quad + \\ \swarrow \quad \searrow \quad \swarrow \quad \searrow \\ \text{CONST} \quad \text{CONST} \quad \text{CONST} \quad \text{CONST} \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{MOVE} \\ \swarrow \quad \searrow \\ \text{MEM} \quad \text{MEM} \\   \quad   \\ + \quad + \\ \swarrow \quad \searrow \\ \text{CONST} \quad \text{CONST} \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{MOVE} \\ \swarrow \quad \searrow \\ \text{MEM} \quad \text{MEM} \\   \quad   \\ \text{CONST} \quad \text{CONST} \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{MOVE} \\ \swarrow \quad \searrow \\ \text{MEM} \quad \text{MEM} \\   \quad   \\ \text{CONST} \quad \text{CONST} \end{array}$
MOVEM	$M[r_j] \leftarrow M[r_i]$	$\begin{array}{c} \text{MOVE} \\ \swarrow \quad \searrow \\ \text{MEM} \quad \text{MEM} \\   \quad   \end{array}$

# Padrões - Jouette

---

- Primeira linha não gera instrução
  - TEMP é implementado como registrador
- Duas últimas instruções não geram resultado em registrador
  - Alterações na memória
- Uma instrução pode ter mais de um padrão associado
- Objetivo é cobrir a árvore toda, sem sobreposição entre padrões

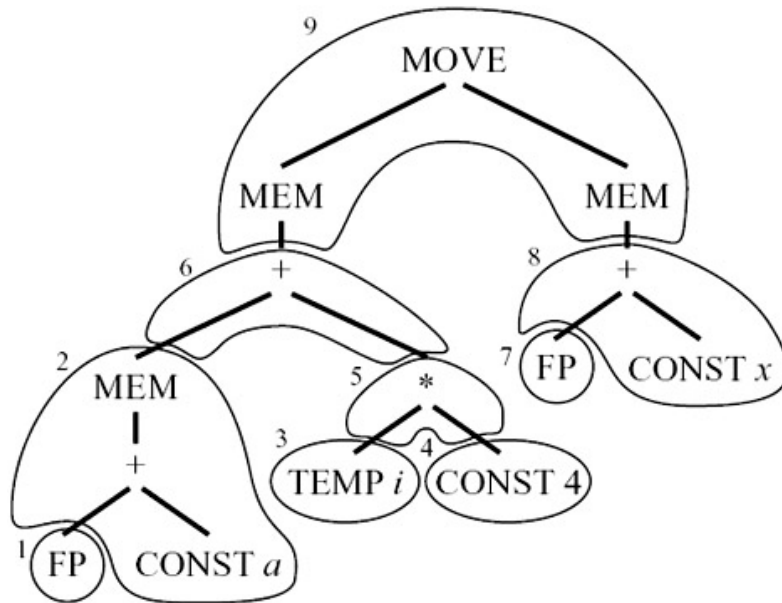
# Seleção de Instruções



- Que operação seria essa?

2	LOAD	$r_1 \leftarrow M[\mathbf{fp} + a]$
4	ADDI	$r_2 \leftarrow r_0 + 4$
5	MUL	$r_2 \leftarrow r_i \times r_2$
6	ADD	$r_1 \leftarrow r_1 + r_2$
8	LOAD	$r_2 \leftarrow M[\mathbf{fp} + x]$
9	STORE	$M[r_1 + 0] \leftarrow r_2$

# Seleção de Instruções



- A cobertura não é única!

2	LOAD	$r_1 \leftarrow M[\mathbf{fp} + a]$
4	ADDI	$r_2 \leftarrow r_0 + 4$
5	MUL	$r_2 \leftarrow r_i \times r_2$
6	ADD	$r_1 \leftarrow r_1 + r_2$
8	ADDI	$r_2 \leftarrow \mathbf{fp} + x$
9	MOVEM	$M[r_1] \leftarrow M[r_2]$



# Seleção de Instruções

---

- ADDI  $r1 \leftarrow r0 + a$
  - ADD  $r1 \leftarrow \mathbf{fp} + r1$
  - LOAD  $r1 \leftarrow M[r1 + 0]$
  - ADDI  $r2 \leftarrow r0 + 4$
  - MUL  $r2 \leftarrow r1 \times r2$
  - ADD  $r1 \leftarrow r1 = r2$
  - ADDI  $r2 \leftarrow r0 + x$
  - ADD  $r2 \leftarrow \mathbf{fp} + r2$
  - LOAD  $r2 \leftarrow M[r2 + 0]$
  - STORE  $M[r1 + 0] \leftarrow r2$
- Tente cobrir a árvore com padrões de um nó apenas

# Optimal e Optimum

---

- Queremos a cobertura que nos traga o menor custo
  - Normalmente a menor
  - Caso as instruções tenham latências diferentes
    - A de menor tempo total
- Cada instrução recebe um custo
  - A melhor cobertura da árvore é a que a soma dos custos dos padrões utilizados é a menor possível
  - Este é o *optimum*

# Optimal e Optimum

---

- Uma cobertura onde nenhum par de padrões adjacentes possa ser combinado em um par de menor custo é *optimal*
- Caso haja um padrão que possa ser quebrado e diminua o custo total, ele deve ser descartado
- Optimum  $\Rightarrow$  optimal
- Optimal  $\nless$  optimum

# Optimal e Optimum

---

- No exemplo anterior assumamos:
  - MOVEM tem custo  $m$
  - Todas as outras têm custo 1
  - O que acontece com as duas coberturas apresentadas se
    - $m = 0, 1$  ou  $2$ ?

# Algoritmos

---

- Achar coberturas “optimais” é mais fácil
- CISC
  - Dada a complexidade das instruções, os padrões costumam ser grandes
  - A diferença entre optimal e optimum se torna mais considerável
- RISC
  - Instruções simples levam a padrões pequenos
  - Custo costuma ser mais uniforme
  - A diferença entre optimal e optimum praticamente desaparece

# Maximal Munch

---

- Encontra cobertura optimal
- Bastante simples
  - Inicie na raiz
  - Encontre o maior padrão que possa ser encaixado nesse nó
    - Cubra a raiz e provavelmente outros nós
  - Repita o processo para cada sub-árvore a ser coberta
- A cada padrão selecionado, uma instrução é gerada
- Ordem inversa da execução! A raiz é a última a ser executada

# Maximal Munch

---

- O maior padrão é aquele com maior número de nós
- Se dois padrões do mesmo tamanho encaixam, a escolha é arbitrária
- Facilmente implementado através de funções recursivas
  - Ordene as cláusulas com a prioridade de tamanho dos padrões
  - Se para cada tipo de nó da árvore existir um padrão de cobertura de um nó, nunca pode ficar travado.

# Maximal Munch

---

- Faça a cobertura Maximal Munch das seguintes árvores:
  - `MOVE(MEM(+((CONST 1000, MEM(TEMPx)), TEMPfp)), CONST0)`
  - `BINOP(MUL, CONST5, MEM(CONST 100))`

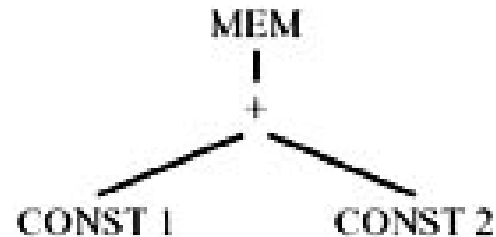


# Programação Dinâmica

---

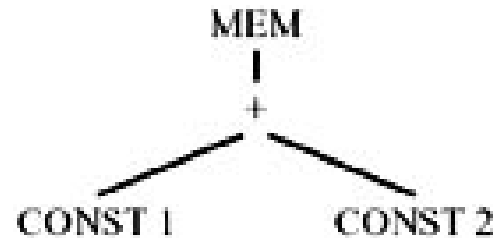
- Encontra uma cobertura ótima (optimum)
- PD monta uma solução ótima baseada em soluções ótimas de sub-problemas
- O algoritmo atribui um custo a cada nó da árvore
  - A soma do custo de todas as instruções da melhor cobertura da sub-árvore com raiz no respectivo nó
  - Para um dado nó  $n$ 
    - Encontra o melhor custo para suas sub-árvores
    - Analisa os padrões que podem cobrir  $n$
    - Algoritmo Bottom-up

# Programação Dinâmica



Tile	Instruction	Tile Cost	Leaves Cost	Total Cost
	ADD	1	1+1	3
	ADDI	1	1	2
	ADDI	1	1	2

# Programação Dinâmica



Tile	Instruction	Tile Cost	Leaves Cost	Total Cost
	LOAD	1	2	3
	LOAD	1	1	2
	LOAD	1	1	2

# Programação Dinâmica

---

- Após computar o custo da raiz, emitir as instruções
- Emissão de (n)
  - Para cada folha  $f$  **do padrão** selecionado para  $n$ , execute emissão( $f$ )
  - Emita a instrução do padrão de  $n$

# Comentários sobre Eficiência

---

- Seja:
  - T: números de padrões diferentes
  - K: no. médio de nós não-folhas dos padrões casados
  - K': maior # de nós a serem olhados para identificar quais padrões casam a uma dada sub-árvore. Aprox. o tamanho do maior padrão
  - T': média de padrões diferentes que casam em cada nó
  - N: # nós da árvore
  - RISC típico:
    - T=50, K=2, K'=4, T'=5
- Maximal Munch:  $N/K * (K' + T')$
- Programação Dinâmica:  $N * (K' + T')$ 
  - Requer duas passadas na árvore

# Comentários sobre Eficiência

---

- Ambos são lineares
- Seleção de instruções é bastante rápida comparada com outras fases da compilação
- Até análise léxica pode ser mais demorada