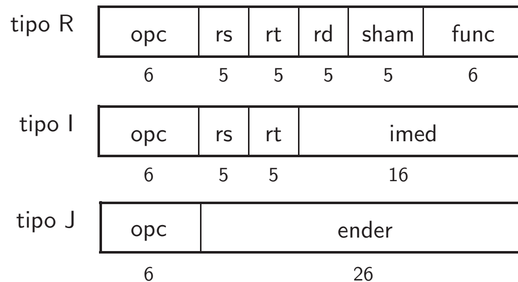
Revisão – Modos de Endereçamento vs Codificação

- **a registrador:** operandos e destino em registradores
- **imediato:** constante é parte da instrução
- **base-deslocamento:** end_efetivo = reg + deslocamento
- **relativo a PC:** end_efetivo = PC + deslocamento
- **(pseudo)absoluto:** end_efetivo é parte da instrução



Qual a relação entre codificação e modos de endereçamento?

Suporte a Subrotinas

- Endereço de retorno é o endereço da instrução após a instr que muda o fluxo de execução
- endereço de retorno só é conhecido em tempo de execução
- no MIPS o endereço de retorno é sempre armazenado em $31
- a chamada de função no MIPS é

```
jal   EnderDaFuncao        # jump-and-link     [$31←PC+8]
```

  que faz o salto e carrega o endereço de retorno (PC+8) em $31.
- a última instrução da função deve ser

```
jr    $31                  # jump-register     [PC←$31]
```

  cujo efeito é copiar o conteúdo de $31 para o PC, retornando para a instrução seguinte à invocação = (PC+8)

  branch delay slot será explicado em breve: PC+8 e não PC+4

Suporte a Subrotinas – exemplo

```
main:
      ...
2000: jal 8000        # salva o ender de retorno em r31
      nop
2008: add r16,r14,r2  # ESTE é o ender de retorno
      ...
8000: sw r5,0(sp)
      ...
      jr r31
      nop
      ...
```

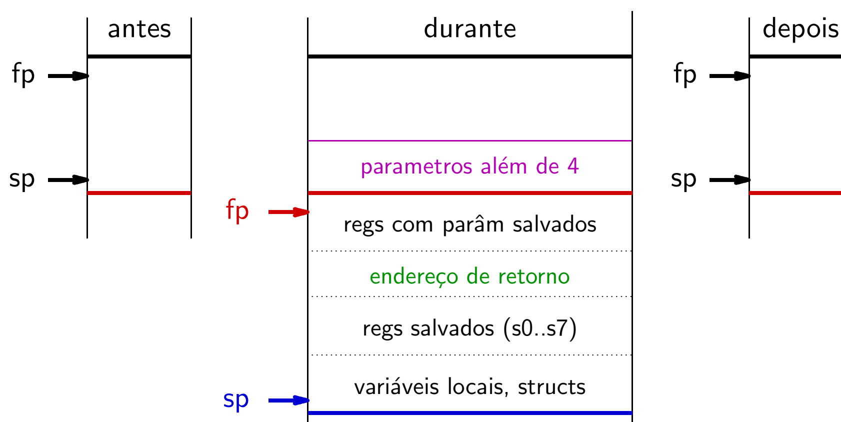
Suporte a Subrotinas

- Uma função deve salvar em memória registradores que modifica e que são usados pela função que a invocou
- A estrutura de dados onde os registradores são salvos é uma pilha.
- $31 deve ser salvo na pilha antes que outra função seja invocada.
- convenções do MIPS:
  - ∗ *caller save*: quem salva os registradores é quem chama
  - ∗ *callee save*: quem salva os registradores é a função chamada
  - ∗ endereço de retorno (return address) é $31 ($ra)
  - ∗ apontador de pilha (stack pointer) é $29 ($sp)
  - ∗ montador usa $4..$7 para passar 4 parâm em regs $a0-$a3
  - ∗ $5^{\underline{o}}$ parâmetro e seguintes na pilha (antes de chamar função)
  - ∗ valores são retornados em $2 e $3 $v0,$v1
  - ∗ regs $26 e $27 reservados para sistema operacional $k0,$k1

Registradores e valores usados em funções

	preservados		destruídos
s0..s7	salvados	t0..t9	temporários
sp	apont de pilha	a0..a3	argumentos
ra	ender de retorno	v0..v1	resultados
gp	*global pointer*	k0..k1	usados pelo SO
		at	*assembler temporary*
	pilha acima do sp		pilha abaixo do sp

Registro de ativação



Complicações de C

Como é codificada esta chamada de função da linguagem C?

```
A = f(4, 16*x, (int)sqrt(y*z+w), p, q*r, s=x*y, s/2);
```


Uso repetido de registradores

Onde são armazenadas as distintas cópias de r18, r19 e r20?

```
main() {                 # x,y,z -> r18,r19,r20
   ...
   x = y - z;            sub r18, r19, r20
   ...
   x = B(y, z);          move a0, r19
                         move a1, r20
                         jal B
                         move r18, v0
   ...  }
int B(p, q) {            # p,q,r -> r18,r19,r20
   ...
   p = q & w;            and a0, ...
   q = p | u;            or a1, ...
   r = C(p,q);           jal C
                         move r20, v0
   ...  }
int C(x,y) {             # a,b -> r18,r19
   ...
   a = x + y + b;        add r18, a0, a1
   ...  }                add r18, r18, r19
```


Funções Recursivas – exemplo

Codifique e simule a execução e a pilha de:

```
1    int fat(int n) {
2       if (n==0)
3          return 1;
4       else
5          return (n * fat(n-1));
6    }
```

```
fat(4)  4·fat(3)                             desenrola enquanto n ≠ 0
fat(3)       3·fat(2)
fat(2)            2·fat(1)
fat(1)                 1·fat(0)
fat(0)                      1                n = 0: reenrola
fat(1)                 1·1
fat(2)            2·1
fat(3)       3·2
fat(4)  4·6
```

Compiladores

Função do compilador:

- todos os programas corretos executam corretamente
- maioria dos programas compilados executa rapidamente
- compilação rápida
- suporte a depuração

Conjunto de Instruções é “entrada” do compilador

Instruction Set Architecture = ISA
Conjunto de Instruções = CdI
= parte visível ao programador e ao compilador
contrato entre hardware e software

- simplifica compilador se conjunto é
  - ∗ ortogonal — o que um pode, todos podem
  - ∗ regular — coisas similares nos mesmos lugares
  - ∗ facilita composições — $\sum$operações simples = complexa
- codificação simples e regular simplifica hardware
  - ∗ operações — popularidade vs implementação
  - ∗ operandos — popularidade vs implementação
  - ∗ endereçamento de operandos — código compacto vs flexibilidade
  - ∗ codificação — código compacto vs decodificação

Compiladores – do que eles gostam?

- quem escreve um compilador deseja
  - ⋆ regularidade — simplifica análise de casos
  - ⋆ ortogonalidade — suporta todas as combinações
  - ⋆ composabilidade — primitivas ao invés de soluções
  - ⋆ as três permitem operações simples combinadas em operações complexas
- compiladores efetuam análise de casos gigantesca
  - ⋆ opções demais dificultam escolhas
- conjuntos de instruções ortogonais quanto a
  - ⋆ operações
  - ⋆ tipos de dados
  - ⋆ modos de endereçamento
  - ⋆ completude

    uma, ou — *condições de desvio* $\Longrightarrow$ *eq lt*
    todas as soluções, — *condições de desvio* $\Longrightarrow$ *eq ne lt gt le ge*
    mas não só algumas escolhas idiossincráticas

Conjunto de Instruções do MIPS

1em Projeto de RISCs na década de 80 para obter implementação segmentada num único CI

Reduced Instruction Set Computers
reduced == simples, e não "pequeno"

- ênfase em
  - ∗ decodificação rápida
  - ∗ instruções com tamanho fixo
  - ∗ codificação regular
- compilador poderia escalonar instruções para execução
- código maior que equivalentes CISC (C=*complex*)

MIPS

- endereços alinhados de 32 bits
- modo de endereçamento é *deslocamento* load/store
- tipos de dados simples
- registradores
  - ∗ 32 regs de uso geral, de 32 bits (R0 = 0)
  - ∗ 16 regs de ponto flutuante de 64 bits (ou 32 de 32bits) regsPF
  - ∗ registrador de status para ponto flutuante
  - ∗ sem registrador de status para inteiros ∄CondCodeReg
- três formatos de instrução com mesmo tamanho

MIPS - modos de endereçamento

modo	endereço efetivo	exemplo
a registrador	R	add r4,r3,r2
imediato	imed	add r4,#8
deslocamento	M[R+imed]	add r4,100(r1)
indireto a registrador	[R]	jr r4
absoluto	ender	j ender

MIPS (i)

- transferência de dados
  - ∗ load/store byte/half/word/doubleword
  - ∗ load/store PF single/double
  - ∗ move de-para regs e regsPF
- lógica e aritmética
  - ∗ add/sub/mult/div
  - ∗ and/or/xor
  - ∗ sll/srl (lógicos), sra (aritmético) deslocamentos
  - ∗ loadHigh (usado para constantes de 32 bits)

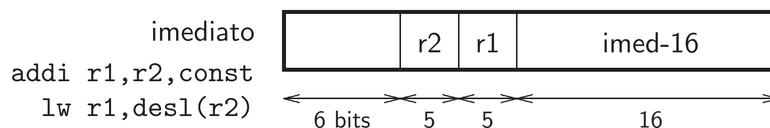
MIPS (ii)

- ponto flutuante
  - ∗ add/sub/mult/div single/double
  - ∗ conversões de-para inteiros
  - ∗ desvios (liga/desliga bits para desvios)
- controle
  - ∗ desvios condicionais: $=0$ $\neq 0$ bits_PF
  - ∗ jump/jr jump-register
  - ∗ jal jump-and-link-register
  - ∗ trap/rte return from exception

MIPS (iii)

Formatos das instruções

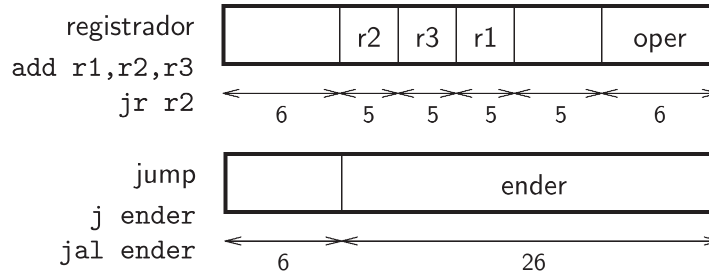
- formato-I
  - ∗ instruções de ALU com imediatos
  - ∗ load e store
  - ∗ desvios condicionais
  - ∗ jump-register



MIPS (iv)

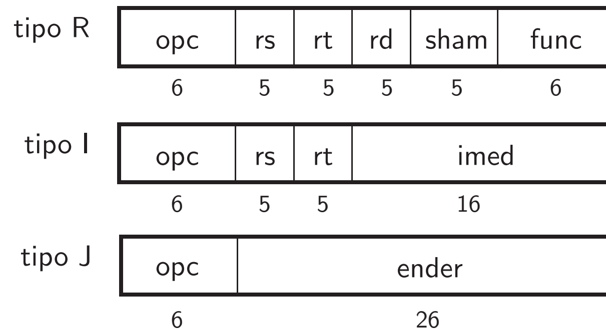
Formatos das instruções

- formato-R
  - ∗ instruções de ALU com três operandos
- formato-J
  - ∗ saltos incondicionais



MIPS (v)

- instruções regulares facilitam decodificação ⟶ **hw rápido**
- instruções simples facilitam construção do compilador e geração de código ⟶ **sw rápido**
  e ainda circuitos simples ⟶ **hw rápido**



Endereçamento em CISCs (≠ do MIPS)

Complex Instruction Set Computers

Auto-incremento, auto-decremento tem no PowerPC

Ideal para andar em vetores ou operações em pilhas.

```
# MIPS: -------------------------------------------
lw   $8, sSt($19)    # $8←S[$19]
addi $19, $19, 4     # S[i+1], i = $19

# CISC: -------------------------------------------

lw+  $8, sSt($19)    # $8←S[$19], $19←$19+4
lb+  $8, sSt($19)    # $8←S[$19], $19←$19+1 OCTETOS
```

Auto-incremento = pop, auto-decremento = push

Endereçamento em CISCs (≠ do MIPS)

Operandos em memória

```
# MIPS: --------------------------------------------
lw   $8, 0($19)
add  $16, $17, $8        # $16 = $17 + mem[$19]

# CISC: --------------------------------------------
addm $16, $17, 0($19)    # $16 = $17 + mem[$19]
```

- Problemas:
  - ∗ addm usa 3 registradores **mais** um imediato
    → instruções com tamanho variável
  - ∗ no VAX, qualquer operando pode estar em memória
    → implementação fica complicadíssima, e portanto, lenta

Endereçamento em CISCs (≠ do MIPS)

Instruções complexas

tem no PowerPC

```
for (i = 0; i < j; i++) { ...  }

# MIPS: --------------------------------------------
Loop:  ...
addi $19, $19, 1      $19=i, $20=j, $8=tmp
slt  $8, $19, $20     # $8 ←1 se $19 < $20
bne  $8, $0, Loop     # desvie se i<j ($19 < $20)

# CISC: --------------------------------------------
Loop:  ...            # increment-compare-and-branch
icb  $19, $20, Loop   # $19 = $19+1; desvie se $19<$20
```


Endereçamento em CISCs (≠ do MIPS)

Instruções complexas

- Problemas com instruções complexas:
  - ∗ `icb $19,$20,Loop` serve somente para o laço acima
    → não é geral o bastante para ser **realmente** útil
  - ∗ implementação aumenta muito a complexidade do hardware
    e portanto faz toda a máquina ficar mais lenta
    conforme veremos nos capítulos 5 e 6