


Il Linguaggio Assembly: Controllo del flusso e procedure

Prof. Alberto Borghese
Dipartimento di Scienze dell'Informazione
borghese@dsi.unimi.it

Università degli Studi di Milano

Riferimento sul Patterson: 2.6, 2.7


Sommario

Istruzioni MIPS di controllo di flusso.

Le procedure


Le strutture di controllo

Strutture di controllo:

- cicli (for i = 0; i < n; i++)
- condizioni (if …. then …. else ….)
- salto (goto)

- Queste istruzioni (branch & jump):
  - Alterano l'ordine sequenziale di esecuzione delle istruzioni:
    - La prossima istruzione da eseguire non è l'istruzione successiva all'istruzione corrente
  - Permettono di eseguire cicli e condizioni

- In assembly le strutture di controllo sono molto semplici e primitive


Istruzioni di salto condizionato

- Istruzioni di salto: viene caricato un nuovo indirizzo nel contatore di programma (PC) invece dell'indirizzo seguente l'indirizzo di salto secondo l'ordine sequenziale delle istruzioni.

- Istruzioni di ***salto condizionato (conditional branch)*****:** il salto viene eseguito solo se una certa condizione risulta soddisfatta.

- Esempi: **`beq`** (*branch on equal*) e **`bne`** (*branch on not equal*)

```
beq rs, rt, L1 # go to L1 if (rs == rt)
bne rs, rt, L1 # go to L1 if (rs != rt)
```

Istruzioni di salto incondizionato

- Istruzioni di salto: viene caricato un nuovo indirizzo nel contatore di programma (PC) invece dell'indirizzo seguente l'indirizzo di salto secondo l'ordine sequenziale delle istruzioni.

- Istruzioni di ***salto incondizionato (unconditional jump):*** il salto viene sempre eseguito.
  Esempi: **`j`** (jump) e **`jr`** (jump register) e **`jal`** (jump and link)

```
j   L1          # go to L1
jr  r31         # go to add. contained in r31
jal L1          # go to L1. Save add. of next
                # instruction in reg. ra (ad
                # esempio return address).
```


Esempio if … then

Codice C:

```
if (i==j)
    f=g+h;
```

- Si suppone che le variabili **f, g, h, i** e **j** siano associate rispettivamente ai registri **`$s0, $s1, $s2, $s3 e $s4`**

La condizione viene trasformata in codice C implementabile in Assembly:

```
    if (i != j)
        goto Etichetta;
    f=g+h;
Etichetta:
```

Codice MIPS:

```
        bne $s3, $s4, Etichetta    # go to Etichetta if i ≠ j
        add $s0, $s1, $s2          # f=g+h is skipped if i ≠ j
Etichetta:
```

Esempio if… then … else

Codice C:

```
if (i==j)
        f=g+h;
  else
        f=g-h;
```

- Si suppone che le variabili **f, g, h, i** e **j** siano associate rispettivamente ai registri **`$s0, $s1, $s2, $s3 e $s4`**

Codice MIPS:

```
      bne $s3, $s4, Else # go to Else if i≠j
      add $s0, $s1, $s2  # f=g+h skipped if i ≠ j
      j   End            # go to End
Else: sub $s0, $s1, $s2  # f=g-h skipped if i = j
End:
```


Esempio: do … while (repeate)

Codice C:

```
do
  g = g + A[i];
  i = i + j;
while (i != h)
```

- Si suppone che **g** e **h** siano associate a **`$s1`** e **`$s2,`** i e **j** associate a **`$s3`** e **`$s4`** e che **`$s5`** contenga il *base address* di **A** = **A[0].**
- Si noti che il corpo del ciclo modifica la variabile **i**
  ⇒ devo moltiplicare **i** per **4** ad ogni iterazione del ciclo per indirizzare il vettore A.

- Indirizzamento della memoria: indirizzo Base + Offset.
- Strategia utilizzata: sposto l'indirizzo base e considero sempre offset = 0.


Esempio: do … while

Codice C modificato:

```
        i = 0;
Ciclo:  g = g + A[i];
        i = i + j;
        if (i != h) goto Ciclo;
```

g e **h** -> **$s1** e **$s2**
i e **j** -> **$s3** e **$s4**
A[0] -> **$s5**

Codice MIPS:

```
      add $s3, $zero, $zero
Loop: muli $t1, $s3, 4      # $t1 ← 4 * i : offset in byte
      add $t1, $t1, $s5     # $t1 ← address of A[i]
      lw $t0, 0($t1)        # $t0 ← A[i]
      add $s1, $s1, $t0     # g ← g + A[i]
      add $s3, $s3, $s4     # i ← i + j
      bne $s3, $s2, Loop    # go to Loop if i ≠ h
```



Esempio: while

Codice C:

```
while (A[i] == k)          Ciclo:   if (A[i] != k) goto Fine;
     i = i + j;                             i = i + j; goto Ciclo;
                           Fine;
```

Si suppone che **i, j** e **k** siano associate a **$s3, $s4, e $s5** e che **$s6** contenga il *base address* di **A**

Codice MIPS:

```
Loop: muli $t1, $s3, 4       # $t1 ← 4 * i
      add  $t1, $t1, $s6     # $t1 ← address of A[i]
      lw   $t0, 0($t1)       # $t0 ← A[i]
      bne $t0, $s5, Exit     # go to Exit if A[i]≠k
      add $s3, $s3, $s4      # i ← i + j
      j Loop                 # go to Loop
Exit:
```


Strutture di controllo

- Cosa posso fare se il contenuto di un registro è minore o maggiore del contenuto di un altro?
- MIPS mette a disposizione branch solo nel caso uguale o diverso, non maggiore o minore.
- Spesso è utile condizionare l'esecuzione di una istruzione al fatto che una variabile sia minore di una altra:
  - `slt $s1, $s2, $s3  # set on less than`
    - Assegna il valore **1** a `$s1` se `$s2 < $s3;` altrimenti assegna il valore **0**
- Con `slt, beq` e **bne** si possono implementare tutti i test sui valori di due variabili **(=, !=, <, <=, >,>=)**


Esempio

```
if (i < j) then
   k = i + j;
else
   k = i - j;
```

```
   if (i < j)
         flag = 1;
   If (flag == 0) goto Else;
   k = i + j;
   goto Exit;
Else:   k = i – j;
Exit:
```

```
#$s0 ed $s1 contengono i e j
#$s2 contiene k
```

```
      slt $t0, $s0, $s1

      beq $t0, $zero, Else
      add $s2, $s0, $s1
      j Exit
Else: sub $s2, $s0, $s1
Exit:
```

Condizione di disuguaglianza con pseudo-istruzioni (bgt)

```
if (i < j) then
    k = i + j;
else
    k = i - j;
```

```
    if (i < j)
        t = 1;
    If (t == 0) goto Else;
    k = i + j;
    goto Exit;
Else:   k = i – j;
Exit:
```

```
#$s0 ed $s1 contengono i e j
#$s2 contiene k
```

```
        bgt $s0, $s1, Else

        add $s2, $s0, $s1
        j Exit
Else:   sub $s2, $s0, $s1
Exit:
```


Struttura switch/case

- Può essere implementata mediante una serie di *if-then-else*
- Alternativa: uso di una *jump address table* cioè di una tabella che contiene una serie di indirizzi di istruzioni alternative (espressività maggiore che in linguaggio ad alto livello)

```
switch(k)
 {
   case 0:    f = i + j; break;
   case 1:    f = g + h; break
   case 2:    f = g - h; break;
   case 3:    f = i - j; break;
  default:    break;
}
```

```
      if (k < 0)
            t = 1;
      else
            t = 0;
      if (t == 1)          // k < 0
            goto Exit;
      t2 = k;
      if (t2 == 0)         // k >= 0
            goto L0;
      t2--; if (t2 == 0)   // k = 1;
            goto L1;
      t2--; if (t2 == 0)   // k = 2;
            goto L2;
      t2--; if (t2 == 0)   // k = 3;
            goto L3;
      goto Exit;           // k > 3;

L0:  f = i + j;  goto Exit;
L1:  f = g + h; goto Exit;
L2:  f = g – h; goto Exit;
L3:  f = i - j; goto Exit;

Exit:
```

Struttura switch/case

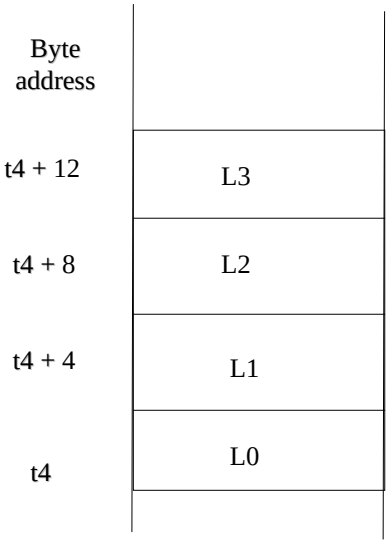
```
#$s0, .., $s5 contengono f,..,k, k variabile di test
#$t2 contiene la costante 4

      slt $t3, $s5, $zero
      bne $t3, $zero, Exit    # if k<0
                              #case vero e proprio
      beq $s5, $zero, L0
      addi $s5, $s5, -1
      beq $s5, $zero, L1
      addi $s5, $s5, -1
      beq $s5, $zero, L2
      addi $s5, $s5, -1
      beq $s5, $zero, L3
      j Exit;                 # if k>3

L0: add $s0, $s3, $s4
    j Exit
L1: add $s0, $s1, $s2
    j Exit
L2: sub $s0, $s1, $s2
    j Exit
L3: sub $s0, $s3, $s4
Exit:
```

Struttura switch/case

Jump address table



Memoria principale (RAM)


```
#$s0, .., $s5 contengono f,..,k
#$t4 contiene lo start address della jump address table (che si
#            suppone parta da k = 0).

   #verifica prima i limiti (default)
      slt  $t3, $s5, $zero          # if k < 0 exit
      bne  $t3, $zero, Exit
      slti $t3, $s5, 4              # if k >= 4 exit
      beq  $t3, $zero, Exit
   #case vero e proprio
      muli   $t1, $s5, 4            # t1 = k * 4   offset
      add    $t1, $t4, $t1          # t1 += Table_address
      lw     $t0, 0($t1)
      jr     $t0                    # j A[k]
L0: add $s0, $s3, $s4
    j Exit
L1: add $s0, $s1, $s2
    j Exit
L2: sub $s0, $s1, $s2
    j Exit
L3: sub $s0, $s3, $s4
Exit:
```

Struttura switch/case ottimizzata

Esempio

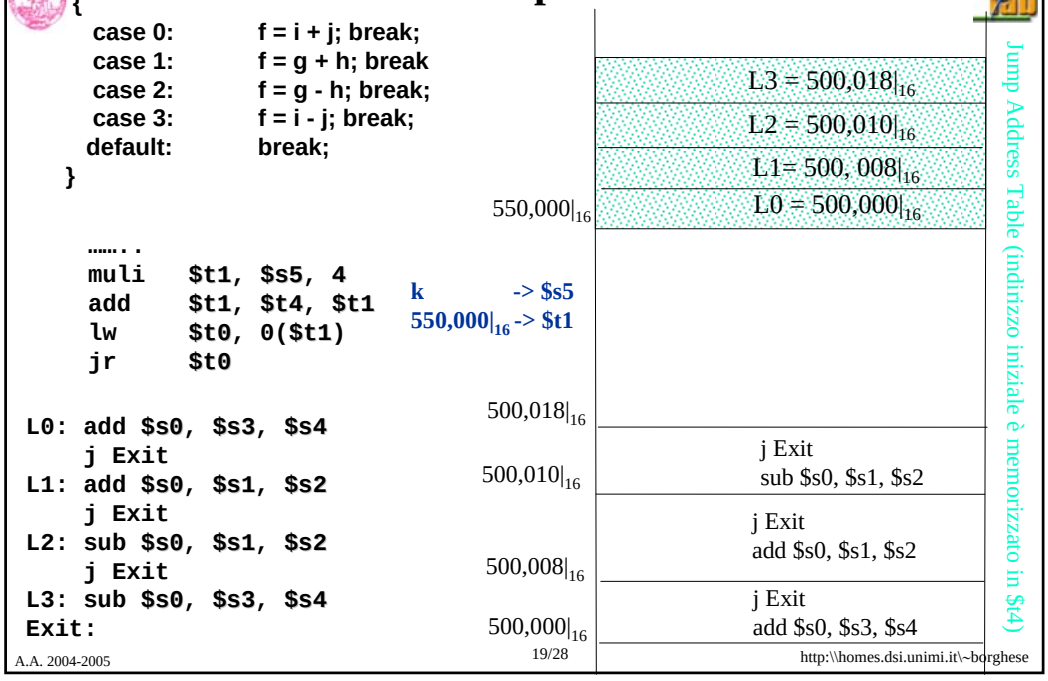
```
switch(k)
{
   case 0:      f = i + j; break;
   case 1:      f = g + h; break
   case 2:      f = g - h; break;
   case 3:      f = i - j; break;
  default:      break;
}
```

```
……..
muli   $t1, $s5, 4
add    $t1, $t4, $t1
lw     $t0, 0($t1)
jr     $t0
```

k -> $s5

$550,000|_{16}$ -> $t1

```
L0: add $s0, $s3, $s4
    j Exit
L1: add $s0, $s1, $s2
    j Exit
L2: sub $s0, $s1, $s2
    j Exit
L3: sub $s0, $s3, $s4
Exit:
```



Sommario

Istruzioni MIPS di controllo di flusso.

Le procedure


Gli attori

Ci sono due ***attori:***
- Procedura chiamante.
- Procedura chiamata.

```
f = f + 1;
if (f == g)
 res = funct(f,g)
else f = f -1;
……
```

```
int funct (int p1, int p2)
{ int out
   out = p1 * p2;
   return out;
}
```

I due moduli si parlano solamente attraverso i parametri:
-Parametri di input (argomenti della funzione).
-Parametri di output (valori restituiti dalla funzione).


I compiti

- La procedura **chiamante** deve eseguire le seguenti operazioni:
  - Predisporre i parametri di ingresso della procedura in un posto accessibile alla procedura
  - Trasferire il controllo alla procedura
- La procedura **chiamata** deve eseguire le seguenti operazioni:
  - Allocare lo spazio di memoria necessario alla memorizzazione dei dati e alla sua esecuzione (record di attivazione)
  - Eseguire il compito richiesto
  - Memorizzare il risultato in un luogo accessibile al chiamante
  - Restituire il controllo al chiamante


I registri interessati

- Convenzioni per l'allocazione dei registri per le chiamate a procedura:
  - **`$a0-$a3 ($f12-$f15)`** registri **argomento** usati dal chiamante per il passaggio dei parametri
    - Se i parametri sono più di 4 si passano mediante la memoria (stack)
  - **`$v0,$v1 ($f0, …, $f3)`** registri **valore** sono usati dalla procedura per memorizzare i valori di ritorno
  - **`$ra`** **(return address)** registro di ritorno per memorizzare l'indirizzo della prima istruzione del chiamante da eseguire al termine della procedura


MIPS: Software conventions for Registers

0	zero	constant 0
1	at	reserved for assembler
2	v0	expression evaluation &
3	v1	function results
4	a0	arguments
5	a1	
6	a2	
7	a3	
8	t0	temporary: caller saves
. . .		(callee can clobber)
15	t7	
16	s0	callee saves
. . .		(caller can clobber)
23	s7	
24	t8	temporary (cont'd)
25	t9	
26	k0	reserved for OS kernel
27	k1	
28	gp	Pointer to global area
29	sp	Stack pointer
30	fp	frame pointer (s8)
31	ra	Return Address (HW)

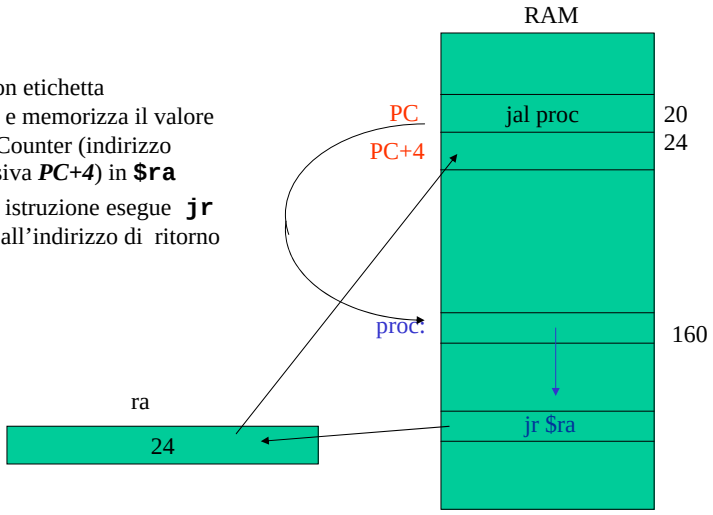
Meccanismo di chiamata

- Necessaria un'istruzione apposita che cambia il flusso di esecuzione (salta alla procedura) e salva l'indirizzo di ritorno (istruzione successiva alla chiamata di procedura): **`jal`** **(jump and link).**

•**jal Indirizzo_Procedura**

➢Salta all'indirizzo con etichetta **Indirizzo_Procedura** e memorizza il valore corrente del Program Counter (indirizzo dell'istruzione successiva ***PC+4***) in **`$ra`**

•La procedura come ultima istruzione esegue **`jr $ra`** per effettuare il salto all'indirizzo di ritorno della procedura.



La chiamata a procedura

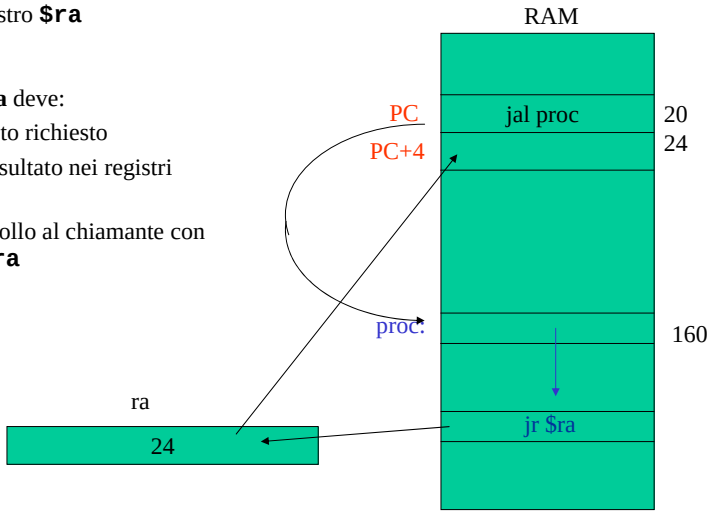
- Il programma **chiamante** deve:
  - Mettere i valori dei parametri da passare alla procedura nei registri **`$a0-$a3`**
  - Utilizzare l'istruzione **`jal address`** per saltare alla procedura e salvare il valore di **`(PC+4)`** nel registro **`$ra`**

•La procedura **chiamata** deve:

–Eseguire il compito richiesto

–Memorizzare il risultato nei registri **`$v0,$v1`**

–Restituire il controllo al chiamante con l'istruzione **`jr $ra`**



Problemi

- Una procedura può avere bisogno di più registri rispetto ai 4 a disposizione per i parametri e ai 2 per la restituzione dei valori.
- Salvare i registri che una procedura potrebbe modificare, ma che il programma chiamante ha bisogno di mantenere inalterati.
- Fornire lo spazio necessario per le variabili locali alla procedura.
- Gestione di procedure annidate (procedure che richiamano al loro interno altre procedure) e procedure ricorsive (procedure che invocano dei 'cloni' di se stesse).

utilizzo dello stack

Sommario

Istruzioni MIPS di controllo di flusso.

Le procedure