


Il Linguaggio Assembly: Controllo del flusso: istruzioni e costrutti

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 (condizioni di uguaglianza).

Istruzioni MIPS di controllo di flusso (condizioni di disuguaglianza).

Costrutto switch


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:
```


Sommario

Istruzioni MIPS di controllo di flusso (condizioni di uguaglianza).

Istruzioni MIPS di controllo di flusso (condizioni di disuguaglianza).

Costrutto switch


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

        bge $s0, $s1, Else

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


Sommario

Istruzioni MIPS di controllo di flusso (condizioni di uguaglianza).

Istruzioni MIPS di controllo di flusso (condizioni di disuguaglianza).

Costrutto switch


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


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

IIa implementazione

Utilizzo 2 elementi del register file invece di 1 per memorizzare k e t2, ma è più leggibile.

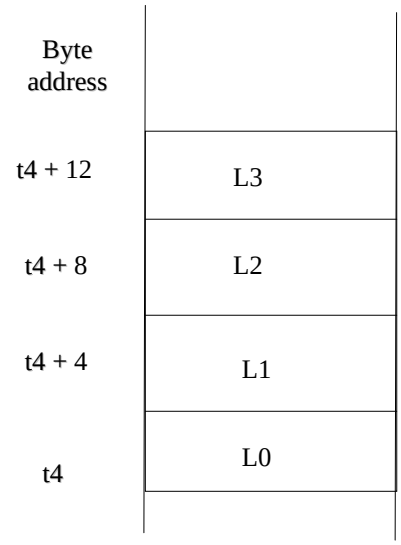

```
#$s0, .., $s5 contengono f,..,k, k variabile di test
#$t2 contiene la costante 4

      slt $t3, $s5, $zero
      bne $t3, $zero, Exit    # if k<0
                              #case vero e proprio
      mov $t3, $s5
      beq $t3, $s5, L0
      addi $t3, $t3, +1
      beq $t3, $5, L1
      addi $t3, $t3, +1
      beq $t3, $s5, L2
      addi $t3, $t3, +1
      beq $t3, $s5, 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

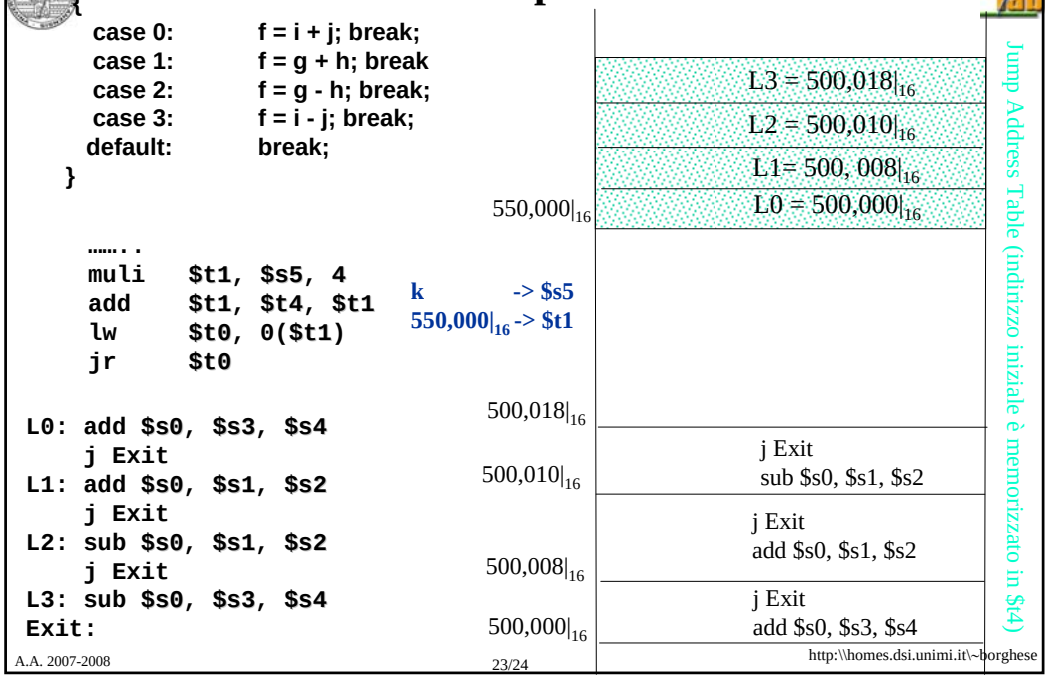
```
switch(k)
{
  case 0:    f = i + j; break;
  case 1:    f = g + h; break
  case 2:    f = g - h; break;
  case 3:    f = i - j; break;
 default:    break;
}
```

```
……..
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 (condizioni di uguaglianza).

Istruzioni MIPS di controllo di flusso (condizioni di disuguaglianza).

Costrutto switch