Tema 2. Instruccions i tipus de dades bàsics

Estructura de Computadors (EC)

Rubèn Tous

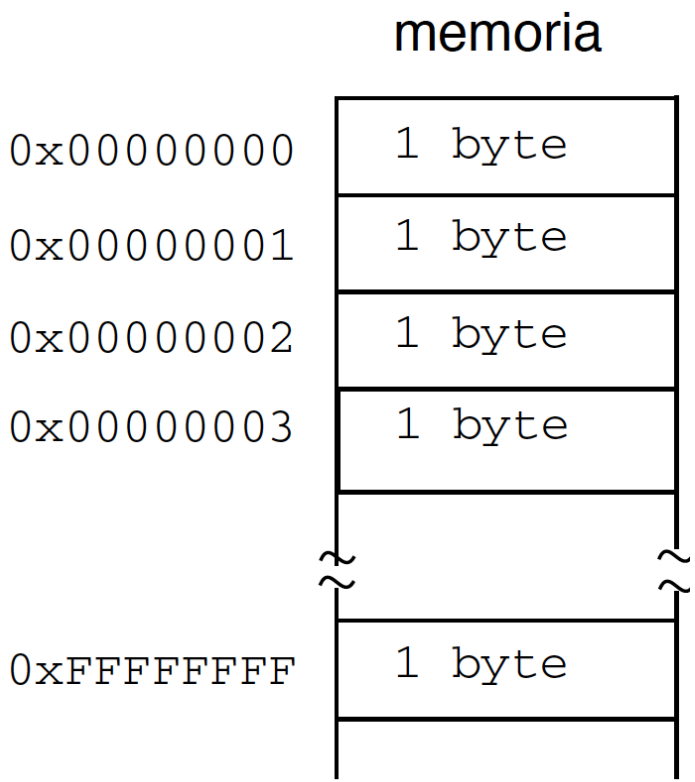
rtous@ac.upc.edu
Computer Architecture Department
Universitat Politecnica de Catalunya

UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Índex

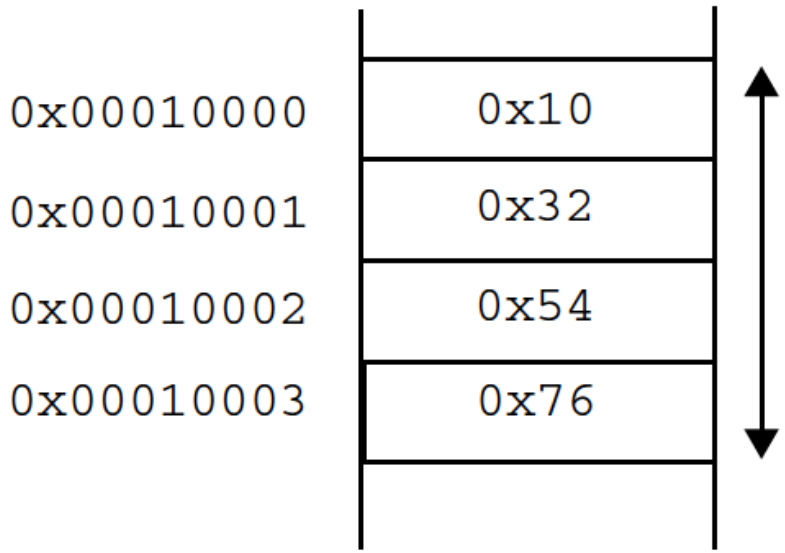
2.2.1 Adreçament a nivell de byte

- Memòria = vector en què cada element s'identifica per una adreça i conté 8 bits (un byte).
- 2^{32} bytes adreçables.



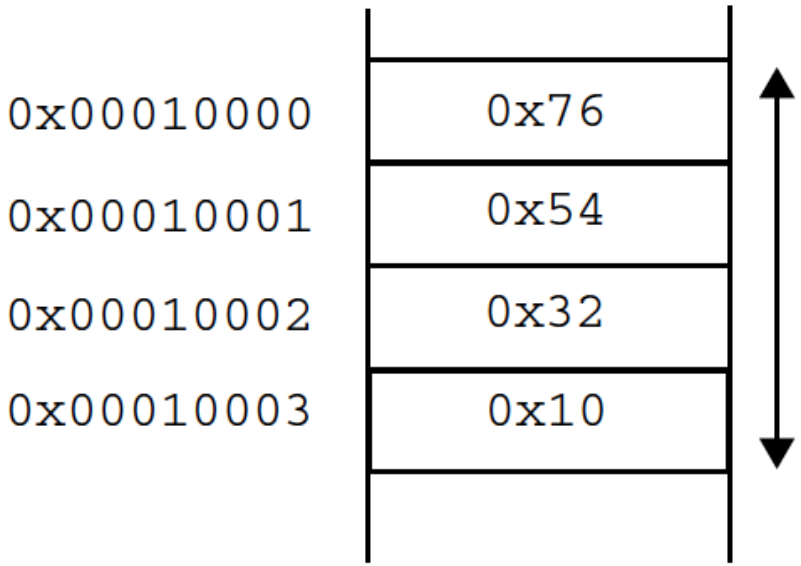
2.2.2 Ordenació de bytes (“byte ordering” o “endianness”)

- Little-endian: Coloquem primer (en l’adreça més baixa) el byte de MENYS pes.
- Exemple: guardem el número 0x76543210 (4 bytes) a l’adreça 0x00010000:



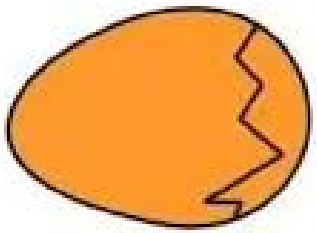
2.2.2 Ordenació de bytes (“byte ordering” o “endianness”)

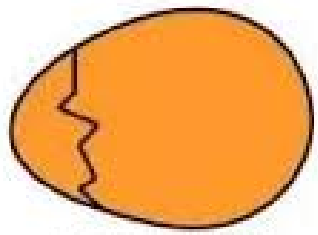
- Big-endian: Coloquem primer (en l’adreça més baixa) el byte de MÉS pes.
- Exemple: guardem el número 0x76543210 (4 bytes) a l’adreça 0x00010000:



2.2.2 Ordenació de bytes (“byte ordering” o “endianness”)

- La nomenclatura prové de Els viatges de Gulliver de Jonathan Swift.
- Dos regnes s’enfronten per quina és la manera correcta de trencar un ou bullit.





2.2.2 Ordenació de bytes (“byte ordering” o “endianness”)

- MIPS no defineix una ordenació específica (little o big endian).
- A EC utilitzarem little-endian.
- Compte que el llibre de Patterson Hennesy utilitza big-endian!

2.3 Variables

Exemple C:

```
1  int g1, g2;
2  void main() {
3     int l1, l2;
4     l1 = g1;
5     ...
6  }
```

2.3.1 Variables locals i globals

En llenguatge C:

- Tipus d'emmagatzematge: automatic, extern, static o register.
- Per defecte les declarades dins una funció són automatic (auto).
- Per defecte les declarades fora d'una funció són extern.

2.3.1 Variables locals i globals

En llenguatge C:

- Cada tipus d'emmagatzematge té una **visibilitat** i una **durada**.
- Visibilitats: local (dins la funció), global multi-file scope i global single-file scope.
- Durada: Fins al final subrutina, fins al final del programa.

2.3.1 Variables locals i globals

En llenguatge C:

- Les auto tenen visibilitat local i durada fins al final de la subrutina.
- Les extern tenen visibilitat global multi-file scope i durada fins al final del programa.

2.3.1 Variables locals i globals

- El modificador **static** aplicat a una variable local amplia la seva durada fins al final del programa.
- El modificador **static** aplicat a una variable global restringeix la seva visibilitat a global single-file.
- NO FAREM SERVIR CAP MODIFICADOR.

2.3.1 Variables locals i globals

- A les auto les anomenarem **locals** i quan sigui possible les emmagatzemarem en registres.
- A les extern les anomenarem **globals** i les emmagatzemarem a la memòria.

2.3.1 Variables locals i globals

Exemple C:

```
1  int g1, g2;
2  void main() {
3     int l1, l2;
4     l1 = g1;
5     ...
6  }
```

Exemple MIPS:

```
1     .data
2  g1: .word 0
3  g2: .word 0
4     .text
5     .globl main
6  main:
7     la $t0, g1
8     lw $t1, 0($t0) #l1 a $t1
9     ...
```

2.3.2 Mida de les variables

- En C, la mida en bytes que ocupa una variable depèn de cada ISA on s'implementa.
- A EC farem les següents suposicions per als tipus enters:
  - char $\rightarrow$ 1 byte
  - short $\rightarrow$ 2 bytes
  - int $\rightarrow$ 4 bytes
  - long long $\rightarrow$ 8 bytes
- El mateix per als naturals (precedits per unsigned).

2.3.3 Declaració i alineació de variables emmagatzemades en memòria

Exemple C:

```
1  int a = 1;
2  unsigned int b;
3  char c, d;
4
5  void main() {
6     ...
7  }
```

2.3.3 Declaració i alineació de variables emmagatzemades en memòria

- Les directives .byte, .half, .word i .dword reserven 1, 2, 4 o 8 bytes:
  - char $\rightarrow$ .byte
  - short $\rightarrow$ .half
  - int $\rightarrow$ .word
  - long long $\rightarrow$ .dword
- A continuació s'escriu el valor inicial de la variable (o 0).

2.3.3 Declaració i alineació de variables emmagatzemades en memòria

```
1 char c = 0x11;
2 short s = 0x2211;
3 int i = 0x44332211;
4 unsigned int ui;
5 long long l = 0x8877665544332211
```

```
1     .data
2 c:  .byte  0x11
3 s:  .half  0x2211
4 i:  .word  0x44332211
5 ui: .word  0
6 l:  .dword 0x8877665544332211
```

2.3.3 Declaració i alineació de variables emmagatzemades en memòria

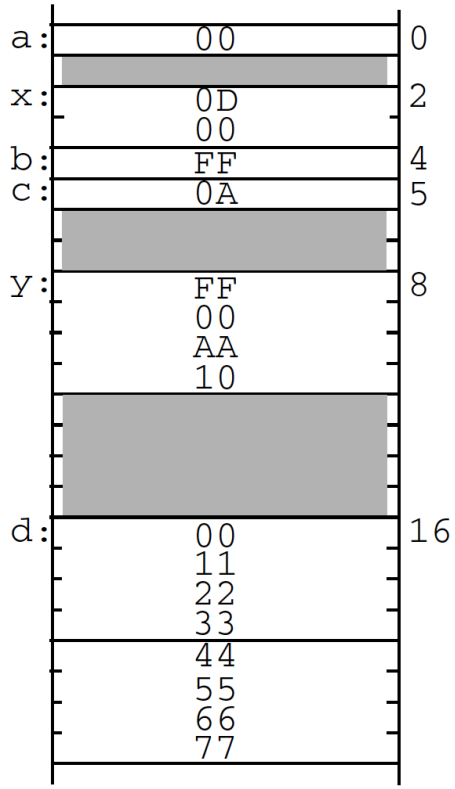
- **Alineació**: L'adreça inicial de la variable ha de ser múltiple de la grandària de la variable:
  - .byte $\rightarrow$ -
  - .half $\rightarrow$ múltiple de 2.
  - .word $\rightarrow$ múltiple de 4.
  - .dword $\rightarrow$ múltiple de 8.

2.3.3 Declaració i alineació de variables emmagatzemades en memòria

- **Alineació automàtica**: per defecte les variables globals s'ubiquen en adreces múltiples de la seva mida.
- Les directives .half, .word i .dword produeixen l'alineació correcta.

2.3.3 Declaració i alineació de variables emmagatzemades en memòria

```
1 a:.byte 0
2 x:.half 13
3 b:.byte -1
4 c:.byte 10
5 y:.word 0x10AA00FF
6 d:.dword 0x7766554433221100
```



2.3.3 Declaració i alineació de variables emmagatzemades en memòria

.byte/ .half/ .word/ .dword directives	
.byte n	Reserva 1 byte i l'inicialitza a n
.half n	Reserva 1 halfword alineat en una adreça múltiple de 2 i l'inicialitza a n
.word n	Reserva 1 word alineat en una adreça múltiple de 4 i l'inicialitza a n
.dword n	Reserva 1 doubleword alineat en una adreça múltiple de 8 i l'inicialitza a n

2.3.3 Declaració i alineació de variables emmagatzemades en memòria

Vectors?

```
1  int v[5] = {1, 2, 3, 4, 5};
```

```
1  v: .word 1, 2, 3, 4, 5
```

2.3.3 Declaració i alineació de variables emmagatzemades en memòria

En cas que...

```
1 char v[100];
```

- La directiva **.space n** reserva n bytes de memòria i els inicialitza a zero.

```
1 v: .space 100
```

2.3.3 Declaració i alineació de variables emmagatzemades en memòria

```
1  int v[100];
```

```
1  v:  .space  100*4
```

2.3.3 Declaració i alineació de variables emmagatzemades en memòria

```
1 char c;
2 int v[100];
```

- Alineació? .space no pot alinear!

2.3.3 Declaració i alineació de variables emmagatzemades en memòria

Alineacions explícites amb **.align n** (propera adreça múltiple de 2^n).

.align (assembler directive)	
.align n	Ubica la propera dada a una adreça múltiple de 2^n

2.3.3 Declaració i alineació de variables emmagatzemades en memòria

```
1 char c;
2 int v[100];
```

```
1 c: .byte 0
2    .align 2
3 v: .space 100*4
```

2.3.3 Declaració i alineació de variables emmagatzemades en memòria

`.align`	directiva
`.align n`	Ubica la següent dada en una adreça múltiple de 2^n (ha de ser n>0)
`.space m`	Reserva m bytes i els inicialitza a zero

2.4 Operands

- Majoria d'instruccions amb 3 operands.
- Principi de Disseny 1: Simplicity favors regularity.
- La manera com s'especifica un operand és el **mode d'adreçament**.
- 5 modes d'adreçament: registre, immediat, memòria, pseudodirecte i relatiu al PC.

```
1 addu $t1, $t2, $t3 # $t1 = $t2 + $t3
```

2.4 Operands

Amb immediat:

```
1 addiu $t1, $t2, 10 # $t1 = $t2 + 10
```

2.4.1 Operands en mode registre i immediat

- Instruccions de suma i resta:

addu/addiu/subu		
addu rd, rs, rt	rd = rs + rt	
addiu rt, rs, imm16	rt = rs + SignExt(imm16)	Immediat de 16 bits en Ca2
subu rd, rs, rt	rd = rs - rt	

2.4.1 Operands en mode registre i immediat

- 32 registres de 32 bits cadascun per a propòsit general.
- Dues maneres d'usarlos: pel número o pel nom.

Número	Nom	Utilització
`$0`	`$zero`	Sempre val zero, no modificable
`$1`	`$at`	Reservat a l'expansió de macros
`$2-$3`	`$v0-$v1`	Resultat de subrutines (sols usarem $v0)
`$4-$7`	`$a0-$a3`	Arguments de subrutines
`$8-$15`	`$t0-$t7`	Temporals no preservats per les crides a subrutines
`$16-$23`	`$s0-$s7`	Temporals preservats per les crides a subrutines
`$24-$25`	`$t8-$t9`	Temporals no preservats per les crides a subrutines
`$26-$27`	`$k0-$k1`	Reservats per al SO (convé no usar-los)
`$28`	`$gp`	Global pointer, no l'estudiem
`$29`	`$sp`	Stack pointer, conté l'adreça del cim de la pila
`$30`	`$fp`	Frame pointer, no l'estudiem
`$31`	`$ra`	Return address, adreça de retorn de subrutina

2.4.1 Operands en mode registre i immediat

Exemple en C:

```
1  void main() {
2    int f, g, h, i, j;
3    ...
4    f = (g + h) - (i + j);
5    ...
```

En MIPS, suposant que f, g, h, i, j ocupen $t0, $t1, $t2, $t3, $t4:

```
1 addu $t0, $t1, $t2   # $t0 = g + h
2 addu $t1, $t3, $t4   # $t1 = i + j
3 subu $t0, $t0, $t1   # f = (g + h) - (i + j)
```

2.4.1 Operands en mode registre i immediat

Còpia entre registres:

```
1 addiu $t1, $t2, 0 # $t1 = $t2
```

Alternativa:

```
1 addu $t1, $zero, $t2 # $t1 = $t2
```

Alternativa (amb pseudoinstrucció):

```
1 move $t1, $t2        # Equival a addu $t1, $zero, $t2
```

2.4.1 Operands en mode registre i immediat

- Macros o pseudoinstruccions.
- S'expandeixen en una o més instruccions MIPS.
- Faciliten la lectura i depuració.

move		(pseudoinstrucció o macro)
move rdest, rsrc	rdest = rsrc	addu rdest, rsrc, $zero

2.4.2 Operands literals i constants simbòliques

- Algunes instruccions admeten operands en mode immediat (literal de 16 bits).
- Això ens permet assignar un literal a un registre fent per exemple:

```
1 addiu $t1, $zero, 100
```

2.4.2 Operands literals i constants simbòliques

Però si l'operand és de 32 bits (per exemple una adreça) podem fer servir la macro **li**.

```
1 li $t1, 0x44332211 # lui $at, 0x4433
2                    # ori $t1, $at, 0x2211
```

També serveix per operands petits:

```
1 li $t1, 0x2211 # addiu $t1, $zero, $0x2211
```

2.4.2 Operands literals i constants simbòliques

Compte amb estalviar dígits, el Mars treballa amb literals de 32 bits:

```
1 li $t1, 0xFFFF #El Mars llegeix 0x0000FFFF
```

2.4.2 Operands literals i constants simbòliques

li		(pseudoinstrucció o macro)
li rdest, imm16	rdest = SignExt(imm16)	addiu rdest, $zero, imm16
li rdest, imm32	rdest = imm32	lui $at, hi(imm32) ori rdest, $at, lo(imm32)

2.4.2 Operands literals i constants simbòliques

Adreces. La macro **la** (load address):

```
1    .data
2 a:.word 0
3    .text
4    .globl main
5 main:
6    la      $t0, a # $t0 = &a = 0x10010000
7    ...
```

2.4.2 Operands literals i constants simbòliques

la		(pseudoinstrucció o macro)
la rdest, address	rdest = address	lui $at, hi(address) ori rdest, $at, lo(address)

2.4.2 Operands literals i constants simbòliques

Constants simbòliques:

```
1 #define N 10
```

```
1     .eqv N 10
2     .data
3 a:  .word 0
4     .text
5     .globl main
6 main:
7     li $t0, N
8     ...
```

2.4.3 Operands en memòria. Load i store

Exemple:

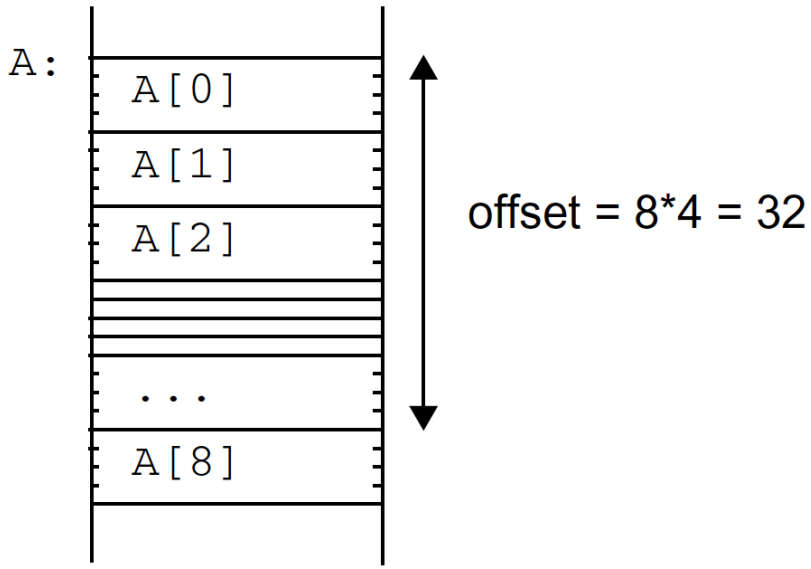
```
1  int a;
2  void main() {
3    int b; //b a $t1
4    b = a;
5    a = b;
6  }
```

```
1    .data
2  a:.word 0
3    .text
4    .globl main
5  main:
6    la $t0, a
7    lw $t1, 0($t0)
8    sw $t1, 0($t0)
9    ...
```

2.4.3 Operands en memòria. Load i store

Exemple lectura de memòria:

```
1  int A[100];
2  void main() {
3    int g, h; //a $t1 i $t2.
4    g = h + A[8];
5  }
```



2.4.3 Operands en memòria. Load i store

Exemple lectura de memòria:

```
1  int A[100];
2  void main() {
3    int g, h; //a $t1 i $t2.
4    g = h + A[8];
5  }
```

```
1  la   $t3, A              # $t3 = adr. base del vector
2  lw   $t0, 32($t3)        # $t0 = A[8]. Offset 32
       bytes = 8*4
3  addu $t1, $t2, $t0       # g = h + A[8];
```

2.4.3 Operands en memòria. Load i store

Exemple escriptura de memòria:

```
1  int A[100];
2  void main() {
3     int h; //a $t2.
4     A[12] = h + A[8];
5  }
```

```
1  la   $t3, A          # $t3 = adr. base del vector
2  lw   $t0, 32($t3)    # $t0 = A[8] (offset = 32 = 8*4)
3  addu $t0, $t2, $t0   # $t0 = h + A[8]
4  sw   $t0, 48($t3)    # A[12] = h + A[8] (offset = 48
       = 12*4)
```

2.4.3 Operands en memòria. Load i store

Instruccions Load Byte, Load Byte Unsigned i Store Byte: lb, lbu, sb.

```
1 lb   $t1, 0($t2) # $t1 = 0x00000011
2 lb   $t1, 2($t2) # $t1 = 0xFFFFFFCC
3 lbu  $t1, 0($t2) # $t1 = 0x00000011
4 lbu  $t1, 2($t2) # $t1 = 0x000000CC
```

Existeixen instruccions anàlogues per accedir a dades “half” de 16 bits: lh, lhu, sh.

2.4.3 Operands en memòria. Load i store

WARNING

La instrucció lb extén signe. La instrucció lbu extén zeros.

El mateix passarà amb lh i lhu.

2.4.3 Operands en memòria. Load i store

`lw/lh/lhu/lb/lbu/sw/sh/sb`		
`lw rt, off16(rs)`	$rt = M_w[rs + SignExt(off16)]$	load word
`lh rt, off16(rs)`	$rt = SignExt(M_h[rs + SignExt(off16)])$	load half (extén signe)
`lhu rt, off16(rs)`	$rt = M_h[rs + SignExt(off16)]$	load half (extén zeros)
`lb rt, off16(rs)`	$rt = SignExt(M_b[rs + SignExt(off16)])$	load byte (extén signe)
`lbu rt, off16(rs)`	$rt = M_b[rs + SignExt(off16)]$	load byte (extén zeros)
`sw rt, off16(rs)`	$M_w[rs + SignExt(off16)] = rt$	store word
`sh rt, off16(rs)`	$M_h[rs + SignExt(off16)] = rt_{15:0}$	store half
`sb rt, off16(rs)`	$M_b[rs + SignExt(off16)] = rt_{7:0}$	store byte

2.4.3 Operands en memòria. Load i store

- **Alineació**: les adreces utilitzades en les instruccions de lectura/escriptura de memòria han de ser múltiple del número de bytes que es vulgui llegir/escriure.
- Per exemple, a les instruccions lw i sw han de ser múltiples de quatre. A lh i sh múltiples de 2. A lb i sb no hi ha restricció.

2.4.3 Operands en memòria. Load i store

Exemple:

```
1    .data
2 x:.word 0xDDCCAABB
3    .text
4    lw $t1, 1($t0) # $t1 = M[$t0 + 1]
```

Provoca excepció d'accés no alineat!