Quadern de laboratori
Estructura de Computadors

Emilio Castillo
José María Cela
Montse Fernández
David López
Joan Manuel Parcerisa
Angel Toribio
Rubèn Tous
Jordi Tubella
Gladys Utrera

Departament d'Arquitectura de Computadors
Facultat d'Informàtica de Barcelona
Quadrimestre de Primavera - Curs 2014/15

Licencia Creative Commons

Sessió 3: Tipus de dades estructurats

Objectiu: Entendre com s'emmagatzemen en memòria les matrius declarades en el llenguatge C, i aprendre i posar en pràctica l'accés a variables de tipus matriu.

Lectura prèvia

Matrius

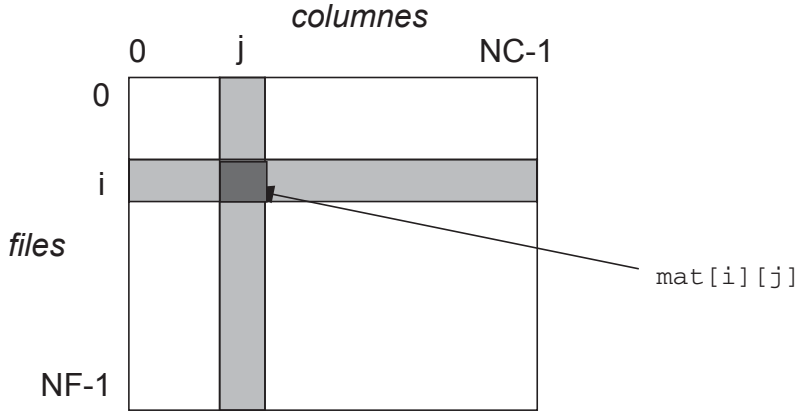
Una matriu és una agrupació multidimensional d'elements de tipus homogenis, els quals s'identifiquen per un índex en cada dimensió. Una cas particular són les matrius de dues dimesions: un conjunt bidimensional de NFxNC elements, on NF és el nombre de files i NC el de columnes. La declaració en C d'una matriu d'enters és:

```
int mat[NF][NC];                    /* NF i NC han de ser constants */
```

i hi podem inicialitzar els elements, com per exemple:

```
int mat[2][3] = {{-1, 2, 4}, {0, 5, -2}};
```

Cada element s'identifica amb dos índexos, el primer és la fila, el segon la columna:



En C els elements s'emmagatzemen en memòria en posicions consecutives per files, i en cada fila ordenats per columnes.

En MIPS els elements també es guarden en posicions consecutives a partir de l'adreça *mat*, respectant les regles d'alineació dels elements (*mat* es guardarà doncs en una adreça múltiple de 4). En MIPS serà:

```
            .data
            .align 2
mat:        .space NF*NC*4
```

o bé:

```
mat:        .word -1,2,4,0,5,-2
```

Suposant que `mat` és una matriu de `NF` files i `NC` columnes d'elements de mida `NB` bytes, per accedir a un element qualsevol `mat[i][j]` ho farem saltant `i` files completes, i després `j` elements, a partir de l'adreça inicial `mat (figura 3.1)`. L'adreça es calcularà de la següent manera (NB = núm bytes per element):

```
@mat[i][j]  =  @mat + (i*NC + j)*NB  =  @mat + i*NC*NB + j*NB
```

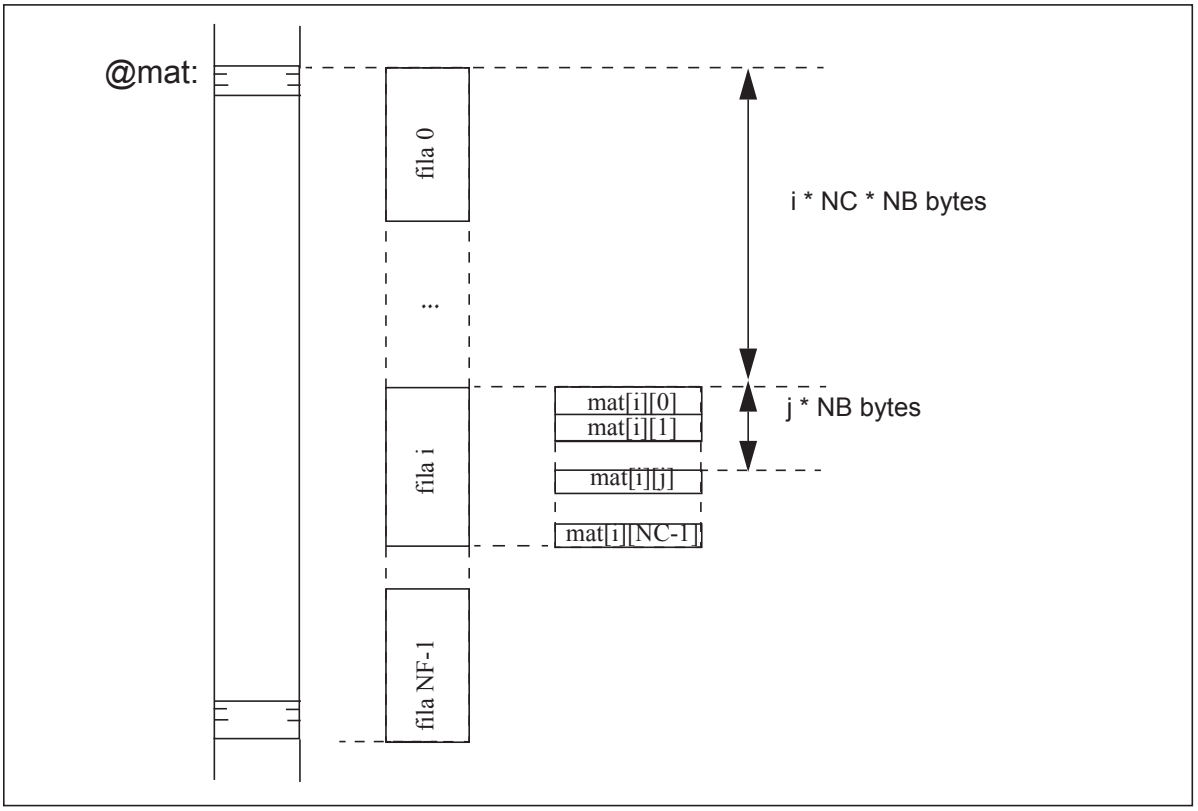


Figura 3.1: : Emmagatzematge de matrius per files, i accés a l'element `mat[i][j]`

Enunciats de la sessió

Activitat 3.A: Declaració de matrius

Completa el següent exercici:

Exercici 3.1: Donada la següent declaració de variables globals en C, tradueix-la a assemblador MIPS. Recorda que en C els elements d'una matriu es guarden per files. Utilitza la directiva `.align` per garantir l'alineació dels elements, allà on calgui.

```
int mat1[5][6];
char mat2[3][5];
long long mat3[2][2];
int mat4[2][3] = {{2, 3, 1}, {2, 4, 3}};
```

```
.data
.space 5*6*4
.space 3*5
.align 3
.space 2*2*8
.align 2
.space 2, 3, 1, 2, 4, 3
```

Activitat 3.B: Accés als elements d'una matriu

Completa el següent exercici:

Exercici 3.2: Calcula l'adreça de memòria de cada un dels següents accessos a les matrius declarades en l'apartat anterior. Pots deixar la resposta en funció de les adreces *mat1*, *mat2*, *mat3* i *mat4*.

`@mat1[4][3] =`	@mat1 + 4(4*6+3)
`@mat2[2][4] =`	@mat2 + (2*5+4)
`@mat3[1][0] =`	@mat3 + 8(1*2+0)
`@mat4[0][2] =`	@mat4 + 4(2)

Aquesta activitat consistirà a traduir el següent programa (Figura 3.2) a assemblador MIPS. No fa res d'especial interès, però ens permetrà practicar l'accés a elements d'una matriu.

```
int mat1[5][6];
int mat4[2][3] = {{2, 3, 1}, {2, 4, 3}};
int col = 2;

main()
{
        mat1[4][3] = subr(mat4, mat4[0][2], col);
        mat1[0][0] = subr(mat4, 1, 1);
}

int subr(int x[][3], int i, int j)
{
        mat1[j][5] = x[i][j];
        return i;
}
```

Figura 3.2: Programa que fa diversos accessos aleatoris a matrius

Abans de continuar, completa els exercicis 3.3 i 3.4:

Exercici 3.3: Tradueix a llenguatge assemblador MIPS les declaracions de variables globals i la funció *main* de la Figura 3.2. Recorda que aquesta s'ha de programar com una subrutina, seguint totes les regles estudiades (p. ex., s'ha de preservar el registre *$ra* si el *main* crida altres subrutines). Observa que la declaració de les variables globals *mat1* i *mat4* són les mateixes que en l'exercici 3.1, i que les adreces dels elements `mat1[4][3]` i `mat4[0][2]` són les que ja has calculat a l'exercici 3.2.

```
addiu $sp, $sp, -4
sw $ra, 0($sp)

la $a0, mat4
lw $a1, 8($a0)
la $t0, col
lw $a2, 0($t0)
jal subr

la $t0, mat1
sw $v0, 108($t0)

la $a0, mat4
li $a1, 1
li $a2, 1
jal subr

la $t0, mat1
sw $v0, 0($s1)

lw $ra, 0($sp)
addiu $sp, $sp, 4
jr $ra
```

Exercici 3.4: Tradueix a assemblador MIPS la subrutina *subr* de la Figura 3.2

```
la $t0, mat1
li $t1, 6
mult $t1, $a2
mflo $t1
addiu $t1, $t1, 5
sll $t1, $t1, 2
addu $t0, $t0, $t1

li $t4, 3
mult $a1, $t4
mflo $t4
addu $t4, $t4, $a2
sll $t4, $t4, 2
addu $t4, $t4, $a0

lw $t4, 0($t4)
sw $t4, 0($t0)
move $v0, $a1
jr $ra
```

Comprovació pràctica

Copieu el codi dels exercicis 3.4 i 3.3 al fitxer *s3b.s.* Executeu-lo amb el MARS i comproveu en finalitzar el programa que l'element `mat1[0][0]=1`, que `mat1[1][5]=4`, que `mat1[2][5]=3` i que `mat1[4][3]=1` (per localitzar-los a la vista de dades del MARS haureu de calcular a mà la seva adreça tenint en compte que la variable *mat1* s'emmagatzema a partir de la posició 0x10010000 de memòria).

A continuació, utilitzant el depurador de MARS, poseu un breakpoint a l'inici de la subrutina *subr*, executeu el programa fins a aquest punt, i digueu quin és el valor (en hexadecimal) dels següents registres:

`$a0 =`	0x10010078
`$a1 =`	0x00000001
`$a2 =`	0x00000002
`$ra =`	0x00400044

Activitat 3.C: Accés seqüencial a la columna d'una matriu

Completa el següent exercici abans de continuar:

Exercici 3.5: Donada la segtüent declaració de la matriu *mat*, de 4 files per 6 columnes, de nombres enters:

```
int mat[4][6];
```

Escriu la fórmula per calcular l'adreça de l'element *mat*[*i*][*2*], en funció de l'adreça de *mat* i del valor enter *i:*

`@mat[i][2] =`	@mat + 4(i * 6 + 2)

Fent servir aquesta fórmula, calcula la distància en bytes (stride) entre les adreces de dos elements consecutius d'una mateixa columna:

`@mat[i+1][2] - @mat[i][2] =`	(@mat + 4*(i+1)*6 + 2) - (@mat + 4(i*6 + 2) = (i+1)*24 + 8 - i*24 + 8 = 24*i +24 - 24*i = 24 bytes

Veient les respostes de l'exercici 3.5, observeu que, donats dos elements consecutius d'una columna, l'adreça del segon element s'obté sumant una quantitat constant a l'adreça de l'element anterior. En general, la distància entre dos elements consecutius d'un vector o d'una fila d'una matriu també és constant. A aquest valor constant se l'acostuma a anomenar *stride*, i és el resultat que has calculat a l'exercici anterior. Quan recorrem vectors o matrius utilitzant aquesta propietat diem que estem fent un "accés seqüencial" als seus elements, i seguim els següents 3 passos:

1. Al principi, inicialitzar un punter (un registre) amb l'adreça del primer element a recórrer.
2. Accedir a cada element fent servir sempre aquest punter.
3. Just a continuació de cada accés, incrementar el punter tants bytes com hi hagi de diferència entre un element i el següent (l'*stride*, el mateix que has calculat a l'exercici 3.5).

A continuació considerarem el següent programa en C, on la funció *suma_col* calcula la suma dels elements de la columna 2 de la matriu *m* que rep com a paràmetre:

```
int mat[4][6] =   {  {0, 0, 2, 0, 0, 0},
                     {0, 0, 4, 0, 0, 0},
                     {0, 0, 6, 0, 0, 0},
                     {0, 0, 8, 0, 0, 0}  };
int resultat;

main()
{
       resultat = suma_col(mat);
}

int suma_col(int m[][6])
{
       int i, suma = 0;

       for(i = 0; i < 4; i++)
              suma += m[i][2];

       return suma;
}
```

Figura 3.3: Suma de la columna 2 de la matriu amb accés aleatori.

Podem reescriure en C la funció *suma_col* aplicant la tècnica d'accés seqüencial:

```
int suma_col(int m[][6])
{
       int i, suma = 0;
       int *p;

       p = &m[0][2];                /* inicialitzar el punter */
       for(i = 0; i < 4; i++) {
              suma += *p;           /* accés a m usant el punter */
              p += 6;               /* incrementar el punter */
       }

       return suma;
}
```

Figura 3.4: Suma de la columna 2 de la matriu amb accés seqüencial.

La matriu *m* de la funció *suma_col* és igual a la matriu *mat* que has vist a l'exercici 3.5. Fixa't però en la diferència que hi ha entre el valor de l'*stride* que has calculat a l'exercici 3.5 i el valor amb què s'incrementa el punter *p* en la Figura 3.4. Això és degut a l'aritmètica de punters en C: un increment d'una unitat en un punter suposa sumar-li, en assemblador, la mida (en bytes) de l'element al qual apunta. En el nostre cas, la mida de l'element és 4 bytes, ja que *p* apunta a un element de tipus int. Per tant, el valor que apareix en el codi en C s'haurà de multiplicar per 4 en la traducció a assemblador.

Completa l'exercici 3.6 abans de continuar:

Exercici 3.6: Tradueix a MIPS el programa de la Figura 3.3 usant la tècnica d'accés seqüencial per recórrer la matriu (versió que apareix a la Figura 3.4). Recorda que la funció *main* s'ha de programar com una subrutina, seguint les regles pertinents.

```
main:
        addiu $sp, $sp, -4
        sw $ra, 0($sp)

        la $a0, mat
        jal suma_col

        la $t0, resultat
        sw $v0, 0($t0)

        lw $ra, 0($sp)
        addiu $sp, $sp, 4
        jr $ra
```

```
suma_col:
        move $t0, $zero
        move $t1, $a0
        addiu $t1, $t1, 8

        move $t2, $zero
        li $t3, 4

for:    beq $t2, $t3, fi
        lw $t4, 0($t1)
        addu $t0, $t0, $t4

        addiu $t1, $t1, 24
        addiu $t2, $t2, 1
        b for

fi:     move $v0, $t0
        jr $ra
```

Comprovació pràctica

Copieu el codi de l'exercici 3.6 anterior en el fitxer s3c.s. Verifiqueu que després d'executar el programa, la variable global *resultat* val 20. Feu també la següent comprovació: reinicieu el programa (tecla F12); poseu un punt d'aturada a la subrutina *suma_col*, a la instrucció següent del `lw` que accedeix a la matriu; i observeu com, a cada pulsació de la tecla F5 (Go), el `lw` va carregant al registre destí els successius elements de la columna 2 de *mat*: 2, 4, 6, 8.