

Introduction à l'assembleur: plan

- ▶ Présentation de l'architecture de la machine MIPS 2000
- ▶ Registres, mémoire, directives
- ▶ Les instructions:
 - accès à la mémoire
 - opérations arithmétiques
 - opérations logiques
 - instructions de comparaison
 - instructions de contrôle
- ▶ Les appels système SPIM
- ▶ Un exemple complet: la factorielle itérative

Le processeur MIPS 2000 et SPIM

Il y a plusieurs microprocesseurs, classés en deux grandes catégories

CISC : Intel

RISC : MIPS, SPARC, etc.

Pour ce cours, on utilisera comme machine cible le processeur MIPS 2000, un RISC pour lequel on dispose d'un excellent émulateur, SPIM.

Un exemple

```
.text1
    # String operations
    # size
size:2
    lw $a0 4($29)3    # address of asciiz passed on the stack4
    li $v0 0          # $v0 will contain the length
__loop: lbu $v15 0($a0) # load the next byte in the string in $3
        beqz $v1 __end # end if zero
        add $a0 $a0 1  #
        add $v0 $v0 1  #
        j __loop
__end: jr $ra        # return to CTigre calling function
```

¹directive assembleur

²etiquette/label

³adressage de la mémoire

⁴commentaire

⁵registre

Architecture du processeur MIPS 2000

L'architecture des processeurs MIPS est simple et régulière, ce qui en facilite la compréhension et l'apprentissage. On peut resumer en quelques points les choix architecturaux essentiels:

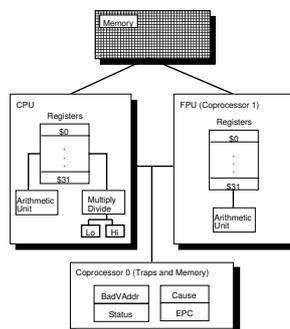
registres 32 registres génériques⁶ de 32 bits

taille du mot une word fait 4 octets, i.e. 32 bits (la taille d'un registre); l'accès à la mémoire⁷ est en général aligné à la word (donc, les adresses sont des multiples de 4⁸)

load/store l'accès⁹ à la mémoire se fait *seulement* par des instructions explicites de chargement et mémorisation à partir de registres

arithmétique les opérations arithmétiques utilisent deux registres en entrée et un registre en sortie

format les instructions tiennent toutes sur 32 bits¹⁰ (une word)



Exercice: comparez avec ce que vous savez de la famille x86.

Registres, et conventions

Les 32 registres sont tous équivalents, *mais* pour garantir l'interopérabilité entre programmes assembleurs produits par des compilateurs différents, on a fixé des *conventions d'usage* qui sont détaillées comme suit.

Les registres \$a0...\$a3 sont utilisés pour passer les premiers 4 paramètres d'une fonction lors d'un appel.

Les temporaires "sauvegardés" doivent être préservés par la fonction appellante, les temporaires "non sauvegardés" doivent être préservés par la fonction appelée.

Les registres \$sp, \$fp, \$gp sont utilisés pour compiler des langages comme celui du projet, alors que \$ra contient l'adresse de retour après l'appel à une fonction.

Le registre zero contient la constante 0.

⁶Toutes les opérations sont disponibles sur tous les registres!

⁷On peut adresser 2³² octets

⁸comment sont les 2 derniers bits d'une adresse alignée?

⁹On adresse l'octet, mais on charge un mot

¹⁰Cela a des conséquences de taille sur les valeurs immédiats!

Registre	Numéro	Usage
zero	0	Constante 0
at	1	Reservé pour l'assembleur
v0	2	Evaluation d'expressions et
v1	3	resultats d'une fonction
a0	4	Argument 1
a1	5	Argument 2
a2	6	Argument 3
a3	7	Argument 4
t0-t7	8-15	Temporaire (non préservé lors d'un appel)
s0-s7	16-23	Temporaire sauvegardé (préservé lors d'un appel)
t8	24	Temporaire (non préservé lors d'un appel)
t9	25	Temporaire (non préservé lors d'un appel)
k0	26	Reservé pour OS kernel
k1	27	Reservé pour OS kernel
gp	28	Pointeur à la zone globale
sp	29	Pointeur de pile
fp	30	Pointeur de bloc
ra	31	Adresse de retour (pour les fonctions)

Table 1: Registres MIPS et conventions d'usage.

Machine virtuelle assembleur

Pour des soucis d'efficacité, la machine MIPS réelle dispose d'instructions *retardées*, permettant d'accélérer l'exécution des sauts non locaux, et impose des restrictions sur les modes d'adressage, qui compliquent la compréhension du système.

L'assembleur MIPS offre à l'utilisateur une interface qui cache la complexité de l'architecture matérielle réelle.

Dans ces notes, nous nous intéressons exclusivement à la *machine virtuelle* assembleur.

Machine virtuelle assembleur: syntaxe

Commentaires tout ce qui suit # est ignoré

```
# ceci est un commentaire
```

Identificateurs séquence alphanumérique ne commençant pas par un entier; les symboles `_` et `.` sont admis; les noms des instructions assembleur sont réservés

```
j end_loop.2
```

Etiquettes identificateurs qui se trouvent au debut d'une ligne et sont suivis de :

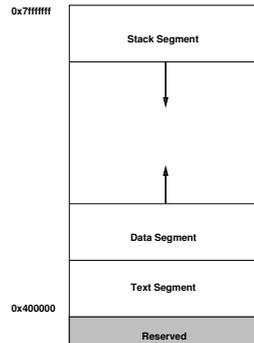
```
v:                .word 33
end_loop.2:      lw $a0, v
```

Chaînes de caractères sont délimitées par `"`. Les caractères spéciaux suivent les conventions habituelles:

```
fin de ligne      \n
tabulation        \t
guillemets        \"
```

Machine virtuelle assembleur: mémoire et directives

La mémoire sur l'émulateur SPIM est divisée en zones, comme suit:



Pour le projet, il nous suffit de connaître les directives suivantes (pour les autres, voir le document de référence sur la page du projet):

- `.ascii str`
Met la chaîne en mémoire, sans terminaison
- `.asciiz str`
Met la chaîne en mémoire, terminée par un octet à 0
- `.data <addr>` Ce qui suit doit aller dans le segment DATA (eventuellement à partir de l'adresse `addr`)
- `.text <addr>` Ce qui suit doit aller dans le segment TEXT (eventuellement à partir de l'adresse `addr`)
- `.word w1, ..., wn`
Met les n valeurs sur 32-bit dans des mots successifs

Machine virtuelle assembleur: Byte Order

Une `word` occupe

plusieurs octets consecutifs: si on a le mot 0000000000000000000010000000001 (l'entier 1025), et on dispose pour le mémoriser des 4 octets consécutifs aux adresses

Little endian¹¹ (PC,...)

addr	contenu
10	00000001
11	00000100
12	00000000
13	00000000

10,11,12, et 13, on peut le mémoriser comme ça

ou

Big endian (SPARC,...)

addr	contenu
10	00000000
11	00000000
12	00000100
13	00000001

comme

SPIM suit la convention de la machine hôte!

Modes d'adressage

La machine virtuelle assembleur fournit les modes d'adressage suivants pour accéder à la mémoire:

Format	Adresse
(register)	contenu du registre
imm	l'adresse est imm
imm (register)	imm + contenu du registre
symbol	adresse du symbole
symbol ± imm	adresse du symbole ± immédiate
symbol ± imm (register)	adresse du symbole ± (imm + contenu du registre)

N.B.: la plupart des accès mémoire sont *alignés*

Instructions

- ▶ Accès à la mémoire
- ▶ Arithmétique
- ▶ Logique
- ▶ Comparaison
- ▶ Contrôle

Instruction d'accès à la mémoire (load/store)

`la Rdest, adresse` *Load Address*[†]
Charge l'adresse, (et non le contenu de la case mémoire correspondante), dans le registre Rdest.

```
.data
start: .word 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1
.text
la $t0, start+28
```

`lw Rdest, adresse` *Load Word*
Charge l'entier 32-bit (word) qui se trouve à l'adresse dans le registre Rdest.

```
lw $t0, 32($sp)
lw $t1, start+2($a0)
```

`li Rdest, imm` *Load Immediate*[†]
Charge la valeur imm dans le registre Rdest.

```
li $t0, 0x12345678
```

sw Rsrc, adresse *Store Word*
Mémorise la word contenue dans le registre Rsrc à l'adresse.

sw \$t0, 32(\$sp)

Copie de registres

move Rdest, Rsrc *Move* †
Copie le contenu de Rsrc dans Rdest.

move \$t0, \$a1

Opérations arithmétiques

Dans ce qui suit, Src2 peut-être un registre ou une valeur immédiate sur 16 bits.

add Rdest, Rsrc1, Src2 *Addition (with overflow)*
addi Rdest, Rsrc1, Imm *Addition Immediate (with overflow)*
addu Rdest, Rsrc1, Src2 *Addition (without overflow)*
addiu Rdest, Rsrc1, Imm *Addition Immediate (without overflow)*
Somme registre Rsrc1 et Src2 (ou Imm) dans le registre Rdest.

div Rdest, Rsrc1, Src2 *Divide (signed, with overflow)* †
Met dans le registre Rdest le quotient de la division de Rsrc1 par Src2 dans Rdest.

mul Rdest, Rsrc1, Src2 *Multiply (without overflow)* †
mulo Rdest, Rsrc1, Src2 *Multiply (with overflow)* †

mulou Rdest, Rsrc1, Src2 *Unsigned Multiply (with overflow)* †
Met le produit de Rsrc1 et Src2 dans le registre Rdest.

rem Rdest, Rsrc1, Src2 *Remainder* †
remu Rdest, Rsrc1, Src2 *Unsigned Remainder* †
Met le reste de la division de Rsrc1 par Src2 dans Rdest.

sub Rdest, Rsrc1, Src2 *Subtract (with overflow)*
subu Rdest, Rsrc1, Src2 *Subtract (without overflow)*

Met la différence entre Rsrc1 et Src2 dans Rdest.

Opérations logiques

and Rdest, Rsrc1, Src2 *AND*
andi Rdest, Rsrc1, Imm *AND Immediate*
AND logique de Rsrc1 et Src2 (ou Imm) dans le registre Rdest.
not Rdest, Rsrc *NOT* †
Met la negation logique de Rsrc dans Rdest.

or Rdest, Rsrc1, Src2 *OR*
ori Rdest, Rsrc1, Imm *OR Immediate*

Met le OU logique de Rsrc1 et Src2 (ou Imm) dans Rdest.

xor Rdest, Rsrc1, Src2 *XOR*
xori Rdest, Rsrc1, Imm *XOR Immediate*

Met le XOR de Rsrc1 et Src2 (ou Imm) dans Rdest.

rol Rdest, Rsrc1, Src2 *Rotate Left* †
ror Rdest, Rsrc1, Src2 *Rotate Right* †

Rotation du contenu de Rsrc1 à gauche (droite) du nombre de places indiqué par Src2; le résultat va dans le registre Rdest.

sll Rdest, Rsrc1, Src2 *Shift Left Logical*
sllv Rdest, Rsrc1, Rsrc2 *Shift Left Logical Variable*
sra Rdest, Rsrc1, Src2 *Shift Right Arithmetic*¹²
srav Rdest, Rsrc1, Rsrc2 *Shift Right Arithmetic Variable*
srl Rdest, Rsrc1, Src2 *Shift Right Logical*
srlv Rdest, Rsrc1, Rsrc2 *Shift Right Logical Variable*

Décale Rsrc1 à gauche (droite) du nombre de places indiqué par Src2 (Rsrc2) et met le résultat dans Rdest.

Instructions de comparaison

(Src2 est un registre, ou une valeur 32 bits)

seq Rdest, Rsrc1, Src2 *Set Equal* †
Met le registre Rdest à 1 si le registre Rsrc1 est égal à Src2, et à 0 sinon.

sge Rdest, Rsrc1, Src2 *Set Greater Than Equal* †
sgeu Rdest, Rsrc1, Src2 *Set Greater Than Equal Unsigned* †
Met le registre Rdest à 1 si le registre Rsrc1 est plus grand que, ou égal à Src2, et à 0 sinon.

sgt Rdest, Rsrc1, Src2 *Set Greater Than* †
sgtu Rdest, Rsrc1, Src2 *Set Greater Than Unsigned* †
Met registre Rdest à 1 si le registre Rsrc1 est plus grand que Src2, et à 0 sinon.

sle Rdest, Rsrc1, Src2 *Set Less Than Equal* †
sleu Rdest, Rsrc1, Src2 *Set Less Than Equal Unsigned* †
Met le registre Rdest à 1 si le registre Rsrc1 est plus petit ou égal à Src2, et à 0 sinon.

slt Rdest, Rsrc1, Src2 *Set Less Than*
slti Rdest, Rsrc1, Imm *Set Less Than Immediate*
sltu Rdest, Rsrc1, Src2 *Set Less Than Unsigned*
sltiu Rdest, Rsrc1, Imm *Set Less Than Unsigned Immediate*
Met le registre Rdest à 1 si le registre Rsrc1 est plus petit que Src2 (or Imm), et à 0 sinon.

¹²sra 100100 2 = 111001

Service	Code	Arguments	Resultat
print_int	1	\$a0 = integer	
print_string	4	\$a0 = string	
read_int	5		integer (in \$v0)
read_string	8	\$a0 = buffer, \$a1 = length	
sbrk ¹⁵	9	\$a0 = amount	adresse (in \$v0)
exit	10		

sne Rdest, Rsrc1, Src2 *Set Not Equal* †
 Met le registre Rdest à 1 si le registre Rsrc1 is not equal to Src2, et à 0 sinon.

Instructions de contrôle

On dispose de sauts “courts” (le décalage est sur 16 bit¹³), appelés branch, (Src2 est un registre ou une constante).

b label *Branch instruction* †
 Saut (court) inconditionnel à label.

beq Rsrc1, Src2, label *Branch on Equal*
 Saut (court) conditionnel à label si le contenu de Rsrc1 est égale à Src2.

bgt Rsrc1, Src2, label *Branch on Greater Than* †
 Saute à label si le contenu de Rsrc1 est plus grand que celui de Src2

blt Rsrc1, Src2, label *Branch on Less Than* †

bne Rsrc1, Src2, label *Branch on Not Equal*

etc. et on dispose aussi de sauts “longs” (décalage sur 26 bits¹⁴).

j label *Jump*
 Saut long à label.

jal label *Jump and Link*
 Saut long à label. Sauve l’adresse de la prochaine instruction dans le registre 31. Cela sert pour les appels de fonction.

Appels système

SPIM fournit quelques appels système minimalistes: On charge dans \$v0 le code de l’appel et les arguments dans les registres \$a0...\$a3 (ou \$f12 les valeurs en virgule flottante). Le resultat se trouve dans \$v0 (ou \$f0).

¹³donc on peut sauter $2^{15} - 1$ instructions en avant ou 2^{15} instructions en arrière

¹⁴Combien d’instructions peut-on sauter?

Appels système

Par exemple, pour imprimer “deux plus trois = 5”, on peut écrire:

```
.data
str: .asciiz "deux plus trois = "
.text
li $v0, 4      # system call code for print_str
la $a0, str    # address of string to print
syscall        # print the string

li $v0, 1      # system call code for print_int
li $a0, 5      # integer to print
syscall        # print it
```

Un exemple simple
