

ARCHI – Architecture des ordinateurs

Sylvain Brandel

2022 – 2023

sylvain.brandel@univ-lyon1.fr



CM 10

LANGAGE D'ASSEMBLAGE DU LC-3

Partie 2

Routines, pile

Instructions

ISA (Instruction Set Architecture)

	Syntaxe	action	NZP	codage															
				opcode				arguments											
				F	E	D	C	B	A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Arith - logique	NOT DR, SR	DR <- not SR	*	1	0	0	1	DR	SR	1	1	1	1	1	1	1			
	ADD DR, SR1, SR2	DR <- SR1 + SR2	*	0	0	0	1	DR	SR1	0	0	0	SR2						
	ADD DR, SR1, Imm5	DR <- SR1 + SEXT(Imm5)	*	0	0	0	1	DR	SR1	1	Imm5								
	AND DR, SR1, SR2	DR <- SR1 and SR2	*	0	1	0	1	DR	SR1	0	0	0	SR2						
	AND DR, SR1, Imm5	DR <- SR1 and SEXT(Imm5)	*	0	1	0	1	DR	SR1	1	Imm5								
charg. rang.	LEA DR,label	DR <- PC + SEXT(PCOffset9)	*	1	1	1	0	DR	PCOffset9										
	LD DR,label	DR <- mem[PC + SEXT(PCOffset9)]	*	0	0	1	0	DR	PCOffset9										
	ST SR,label	mem[PC + SEXT(PCOffset9)] <- SR		0	0	1	1	SR	PCOffset9										
	LDR DR,BaseR,Offset6	DR <- mem[BaseR + SEXT(Offset6)]	*	0	1	1	0	DR	BaseR	Offset6									
	STR SR,BaseR,Offset6	mem[BaseR + SEXT(Offset6)] <- SR		0	1	1	1	SR	BaseR	Offset6									
branchement	BR[n][z][p] label Si (cond)	PC <- PC + SEXT(PCOffset9)		0	0	0	0	n	z	p	PCOffset9								
	NOP	No Operation		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	RET	PC <- R7		1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	
	JSR label	R7 <- PC ; PC <- PC + SEXT(PCOffset11)		0	1	0	0	1	PCOffset11										

Exemple 2

- Compte le nombre de caractères d'une chaîne et met le résultat en mémoire

```
.ORIG x3000
; ici viendra notre code
HALT
string: .STRINGZ "Hello World » ; la chaine dont on veut calculer la
; longueur
res:    .BLKW #1 ; le résultat sera mis ici (1 case)
.END
```

- **R0** : pointeur de chaîne ; **R1** : compteur ; **R2** : caractère courant

```
R0 <- string; // R0 pointe vers le début de la chaîne
R1 <- 0; // Le compteur R1 est initialisé à 0
while((R2 <- Mem[R0]) != '\0') {
    R0 <- R0+1; // Incrémenter le pointeur
    R1 <- R1+1; // Incrémenter le compteur
}
res <- R1; // Rangement du résultat
```

Exemple 2

```
.ORIG x3000
LEA R0,string      ; Initialisation du pointeur R0
AND R1,R1,0        ; Le compteur R1 est initialisé à 0
loop: LDR R2,R0,0   ; Chargement dans R2 du caractère pointé par R0
      BRz end      ; Test de sortie de boucle
      ADD R0,R0,1   ; Incrémentation du pointeur
      ADD R1,R1,1   ; Incrémentation du compteur
      BR loop
end:   ST R1,res
      HALT
string: .STRINGZ "Hello World"
res:   .BLKW #1
      .END
```

- Maintenant, on a envie de **réutiliser** le calcul de la longueur

Routines

- Plusieurs fois la même opération / même code ? → routine.
 - Routine : bloc de code accessible
 - **Étiquette** à la première instruction de la routine
 - Appel par saut (JSR)
 - Modification de PC
 - Retour (RET) à l'instruction suivant l'appel
 - Connaître l'adresse de retour
- Mémorisation (R7)**
- Routine : fonction dans un langage de haut niveau

Routines

branchement	BR[n][z][p] label Si (cond)	PC <- PC + SEXT(PCoffset9)	0	0	0	0	n	z	p	PCoffset9							
	NOP	No Operation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	JMP BaseR	PC <- BaseR	1	1	0	0	0	0	0	BaseR	0	0	0	0	0	0	
	RET	PC <- R7	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	JSR label	R7 <- PC ; PC <- PC + SEXT(PCoffset11)	0	1	0	0	1	PCoffset11									
	TRAP Trapvect8	R7 <- PC ; PC <- mem[Trapvect8]	1	1	1	1	0	0	0	0	Trapvect8						

- JSR

- Stocke l'adresse de retour dans R7
- Modifie PC ← adresse de label

branchement

```

; programme principal
...
JSR sub ; adresse de l'instruction suivante dans R7
...

```

- RET (équivalent à JMP R7)

- Retour à la routine appelante
- Modifie PC ← R7

ATTENTION AUX TRAP

```

sub: ...
...
RET ; retour au programme principal

```

Exemple 2 bis

- On reprend le calcul de la longueur d'une chaîne

```
.ORIG x3000
LEA R0,string      ; Initialisation du pointeur R0
AND R1,R1,0        ; Le compteur R1 est initialisé à 0
loop: LDR R2,R0,0    ; Chargement dans R2 du caractère pointé par R0
      BRz end       ; Test de sortie de boucle
      ADD R0,R0,1    ; Incrémentation du pointeur
      ADD R1,R1,1    ; Incrémentation du compteur
      BR loop
end:   ST R1,res
      HALT
string: .STRINGZ "Hello World"
res:   .BLKW #1
      .END
```

- Routine pour le calcul de la longueur
 - Adresse de la chaîne dans R0
 - Résultat dans R0

Exemple 2 bis

```
.ORIG x3000
LEA R0,string ; Initialisation du pointeur R0
JSR length ; saut vers la routine
ST R0,res
HALT

; données
string: .STRINGZ "Hello"
res:    .BLKW #1

; Routine pour calculer la longueur d'une chaîne (terminée par '\0')
; Entrée : R0 adresse de la chaîne
; Sortie : R0 longueur de la chaîne
length: AND R1, R1, 0
loop:   LDR R2, R0, 0
        BRz end
        ADD R0, R0, 1
        ADD R1, R1, 1
        BR loop
end:    ADD R0, R1, 0
        RET
```


Routines imbriquées

- Appel à une routine dans une routine ? **TRAP** dans une routine ?

```
; programme principal
    ...
    JSR sub1
    ...

; routine sub1
sub1:    ...
        JSR sub2
        ...
        RET
        ; Problème : ici R7 ne contient pas l'adresse de retour
        ; vers sub1 (puisque sub2 a été appelée juste avant...)

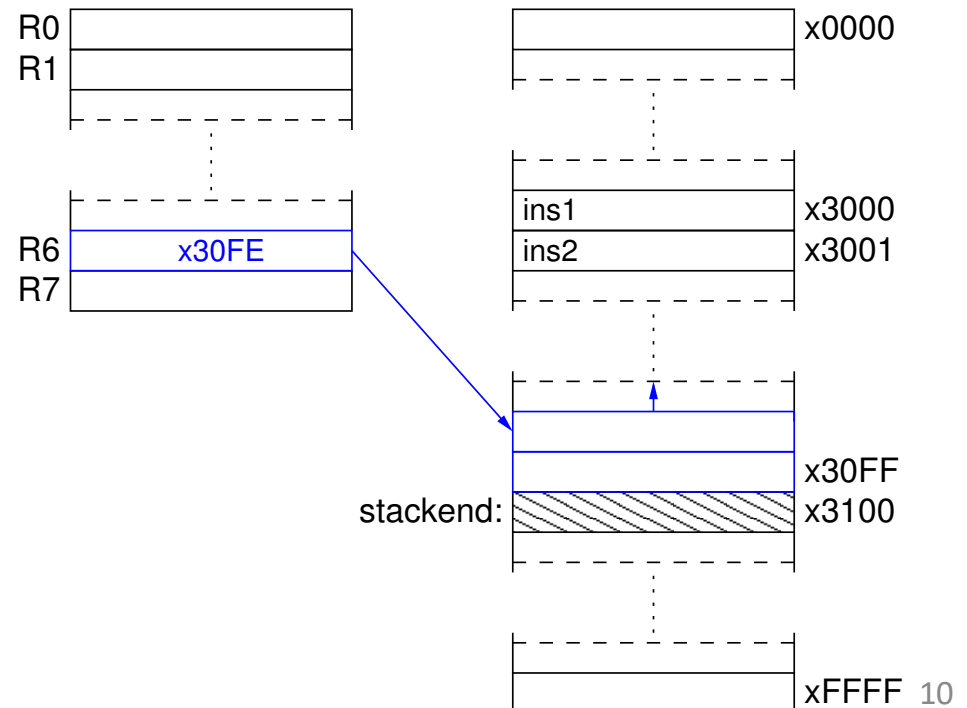
; routine sub2
sub2:    ...
        RET
```

- Pareil pour les registres ...
→ Pile d'exécution

Pile d'exécution

- Appel à une routine dans une routine ? R7 change → pile
- Pile : structure pour mémoriser adresses et registres
 - Sommet (dernier ajouté) pointé par R6 (fond : stackend)
 - Push → nouveau sommet → **modification de R6** + mémorisation
 - Pop → lecture + nouveau sommet → **modification de R6**
 - La pile croît dans le sens des adresses décroissantes

- Installation :
 - De la place (assez, pas trop)
 - Un fond
 - Initialisations



Pile d'exécution

```
                .ORIG x3000
; Programme principal
main:          LD R6,spinit ; on initialise le pointeur de pile
                ...
                HALT
; Gestion de la pile
spinit:       .FILL stackend
                .BLKW #15
stackend:     .BLKW #1 ; adresse du fond de la pile
.END
```

- Push

- Bouger le pointeur de sommet
 - Stocker le registre à sauver
- Avant appel de la routine

```
ADD R6, R6, -1
STR Rx, R6, 0
```

- Pop

- Récupérer la donnée au sommet
 - Bouger le pointeur de sommet
- Après retour de la routine

```
LDR Rx, R6, 0
ADD R6, R6, 1
```

Routines imbriquées

```
; programme principal
    ...
    LD R6, spinit      ; initialisation du pointeur de pile
    JSR sub1
    ...

; routine 1
sub1:  ...
    ADD R6, R6, -1    ; sauvegarde R7
    STR R7, R6, 0
    JSR sub2
    LDR R7, R6, 0     ; restauration R7
    ADD R6, R6, 1
    ...
    RET

; routine 2
sub2:  ...
    RET

; Mémoire réservée à la pile
spinit: .FILL stackend
        .BLKW #15
stackend: .BLKW #1 ; adresse du fond de la pile
```

Exemple 3

- Somme des entiers de 1 à n version récursive

```
int sum(int n) {  
    if (n==0) return 0; else return n + sum(n-1);  
}
```

- R1 : paramètre d'entrée, R0 : paramètre de sortie

```
routine sum(R1) {  
    push(R7);           // Sauvegarde de R7 sur la pile  
    push(R1);           // Sauvegarde de R1 sur la pile  
    if (R1 == 0) {  
        R0 <- 0;  
    }  
    else {  
        R1 <- R1 - 1;    // On prépare le paramètre de l'appel récursif  
        call sum(R1);    // Appel récursif  
        R1 <- top();     // R1 reprend sa valeur depuis le sommet de pile  
        R0 <- R0 + R1;  
    }  
    R1 <- pop();        // Restauration de R1 depuis la pile  
    R7 <- pop();        // Restauration de R7 depuis la pile  
    return;            // Résultat retourné via R0  
}
```

Exemple 3

```
; Programme principal
main:   LD R6,spinit      ; on initialise le pointeur de pile
        LD R1,n          ; on initialise R1 avant l'appel à la routine sum
        JSR sum          ; appel à la routine sum
        ST R0,r          ; on stocke le résultat à l'adresse r
        HALT

; Données
n:      .FILL #5
r:      .BLKW #1

; Routine sum
; paramètre d'entrée : R1
; paramètre de sortie : R0
sum:    ...
        RET              ; on retourne à l'appelant

; Mémoire réservée à la pile
spinit: .FILL stackend
        .BLKW #15
stackend: .BLKW #1      ; adresse du fond de la pile
```

Exemple 3

```
; Routine sum.
; Paramètre d'entrée   : R1
; Paramètre de sortie  : R0
sum:    ADD R6,R6,#-1
        STR R7,R6,#0      ; On sauvegarde l'adresse de retour R7.
        ADD R6,R6,#-1
        STR R1,R6,#0      ; On sauvegarde l'adresse de retour R1.

if:     ADD R1,R1,#0       ; Mise à jour du PSR d'après R1.
        BRnp else        ; Si R1 != 0, branchement sur le bloc else
        AND R0,R0,#0      ; Si R1 == 0, la valeur de retour est 0,
        BR endif         ; et on ne fait pas d'appel récursif.

else:   ADD R1,R1,#-1      ; Dans le cas R1 == 0, on prépare l'appel récursif.
        JSR sum           ; Appel récursif.
        LDR R1,R6,#0      ; On récupère la valeur de R1 avant l'appel récursif.
        ADD R0,R0,R1      ; On met le résultat dans le paramètre de sortie R0.

endif:  LDR R1,R6,#0      ; On restaure le registre R1.
        ADD R6,R6,#1
        LDR R7,R6,#0      ; On restaure le registre R7.
        ADD R6,R6,#1
        RET               ; On retourne à l'appelant
```