Lab 5:

Stringhe - Procedure (parte 1)

Esecuzione di una procedura

Per l’esecuzione di una procedura, un programma deve eseguire questi sei passi:

1. Mettere i **parametri** in un luogo accessibile alla procedura;
2. **Trasferire il controllo** alla procedura;
3. **Acquisire le risorse** necessarie per l’esecuzione della procedura;
4. **Eseguire** il compito richiesto;
5. Mettere il **risultato** in un luogo accessibile al programma chiamante;
6. **Restituire il controllo** al punto di origine, dato che la stessa procedura può essere chiamata in diversi punti di un programma.

Parametri e Indirizzo di Ritorno

- registri `a0-a7 (x10-x17)` sono 8 registri per i parametri, utilizzati cioè per passare valori alle funzioni o restituire valori al chiamante
- registro `ra(x1)` contiene l'indirizzo di ritorno

`jal` e `jalr`: Passaggio di Controllo

- L'istruzione **`jal` (jump and link)** serve per la chiamata di funzioni: produce un salto a un indirizzo e salva l'indirizzo dell'istruzione successiva a quella del salto nel registro **`ra`**
  (indirizzo di ritorno, detto appunto link)

```
jal ra, ProcAddress # salta a ProcAddress e salva indirizzo di ritorno in ra
```

[jal ProcAddress]

- Il ritorno da una procedura utilizza un salto indiretto, **jump and link register (`jalr`)**

```
jalr zero, 0(ra) # salta indietro all'indirizzo di ritorno presente in ra
```

[jr ra] oppure [ret]

`jal` e `jalr`: Passaggio di Controllo

Lo schema è quindi il seguente:

- la funzione chiamante mette i parametri in **`a0-a7`** e usa **`jal X`** per saltare alla funzione **`X`**
- la funzione chiamata svolge le proprie operazioni, inserisce i risultati negli stessi registri e restituisce il controllo al chiamante con l'istruzione **`jr ra`**

Esempio (sum)

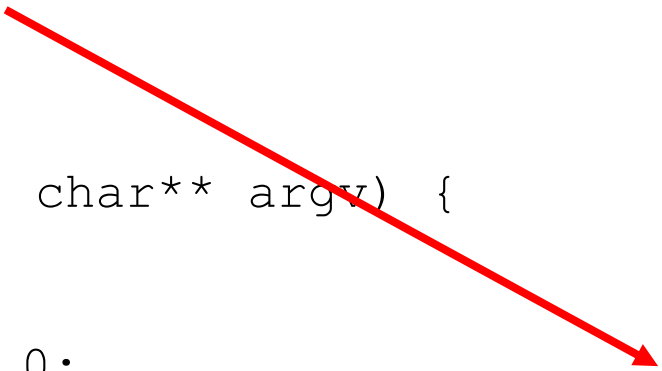
```
int sum(int a, int b){
      return a+b;
}

int main(int argc, char** argv) {
      int a = 1;
      int b = 2;
      int result = 0;
      result = sum(a,b);
      printf("result: %d", result);
      exit(0);
}
```

Esempio (sum)

```c
int sum(int a, int b){
      return a+b;
}

int main(int argc, char** argv) {
      int a = 1;
      int b = 2;
      int result = 0;
      result = sum(a,b);
      printf("result: %d", result);
      exit(0);
}
```



```asm
_start:
    li a0, 1 # a
    li a1, 2 # b
    li s1, 0 # result

    jal sum
    add s1, a0, zero
    …
sum:
    add a0, a0, a1
    jr ra
```

Esempio (sum)

```
int sum(int a, int b){
```

registri per passaggio parametri (FUNZIONE CHIAMANTE)

```
int main(int argc, char** argv) {
        int a = 1;
        int b = 2;
        int result = 0;
        result = sum(a,b);
```

registri per passaggio parametri (FUNZIONE CHIAMATA)

```
}
```

```
_start:
    li a0, 1 # a
    li a1, 2 # b
    li s1, 0 # result

    jal sum
    add s1, a0, zero
    …
sum:
    add a0, a0, a1
    jr ra
```

Esempio (sum)

```
int sum(int a, int b){
      return a+b;
}

      #ra = MemAddress, jump sum

      result = sum(a,b);
      printf("result: %d", result);
      exit(0);
}
```

```
_start:
    li a0, 1 # a
    li a1, 2 # b
    li s1, 0 # result

    jal sum
    add s1, a0, zero
    …
sum:
    add a0, a0, a1
    jr ra
```

Esempio (`sum`)

domanda: perché usiamo **`jr ra`**, e non semplicemente **`jump`**?

risposta: perché la funzione può essere chiamata da molti punti del programma, anche dall'interno di altre procedure. C'è quindi bisogno di **un meccanismo per tornare all'istruzione successiva alla chiamata**. Serve un meccanismo che tenga conto dell'indirizzo salvato sul registro **`ra`**.

```
_start:
    li a0, 1 # a
    li a1, 2 # b
    li s1, 0 # result

    jal sum
    add s1, a0, zero
    …
sum:
    add a0, a0, a1
    jr ra
```

Esempio (`sum`)

Address	Code	Basic		
0x00400000	0x00100513	addi x10,x0,1	6:	li a0, 1 # a
0x00400004	0x00200593	addi x11,x0,2	7:	li a1, 2 # b
0x00400008	0x00000493	addi x9,x0,0	8:	li s1, 0 # result
0x0040000c	0x01c000ef	jal x1,0x0000001c	10:	jal sum
0x00400010	0x000504b3	add x9,x10,x0	11:	add s1, a0, zero
0x00400014	0x00900533	add x10,x0,x9	14:	mv a0, s1
0x00400018	0x00100893	addi x17,x0,1	15:	li a7, 1
0x0040001c	0x00000073	ecall	16:	ecall
0x00400020	0x00a00893	addi x17,x0,10	19:	li a7, 10
0x00400024	0x00000073	ecall	20:	ecall
0x00400028	0x00b50533	add x10,x10,x11	24:	add a0, a0, a1
0x0040002c	0x00008067	jalr x0,x1,0	25:	jr ra

stato **prima** di eseguire `jal sum`
- `pc` vale `0x000000000040000c`
- `ra` vale `0x0000000000000000`

```
_start:
    li a0, 1 # a
    li a1, 2 # b
    li s1, 0 # result

    jal sum
    add s1, a0, zero
    …
sum:
    add a0, a0, a1
    jr ra
```

Esempio (`sum`)

Address	Code	Basic		
0x00400000	0x00100513	addi x10,x0,1	6:	li a0, 1 # a
0x00400004	0x00200593	addi x11,x0,2	7:	li a1, 2 # b
0x00400008	0x00000493	addi x9,x0,0	8:	li s1, 0 # result
0x0040000c	0x01c000ef	jal x1,0x0000001c	10:	jal sum
0x00400010	0x000504b3	add x9,x10,x0	11:	add s1, a0, zero
0x00400014	0x00900533	add x10,x0,x9	14:	mv a0, s1
0x00400018	0x00100893	addi x17,x0,1	15:	li a7, 1
0x0040001c	0x00000073	ecall	16:	ecall
0x00400020	0x00a00893	addi x17,x0,10	19:	li a7, 10
0x00400024	0x00000073	ecall	20:	ecall
0x00400028	0x00b50533	add x10,x10,x11	24:	add a0, a0, a1
0x0040002c	0x00008067	jalr x0,x1,0	25:	jr ra

ra **pc**

stato **dopo** aver eseguito `jal sum`
- `pc` vale `0x0000000000400028`
- `ra` vale `0x0000000000400010`

```
_start:
    li a0, 1 # a
    li a1, 2 # b
    li s1, 0 # result

    jal sum
    add s1, a0, zero
    …
sum:
    add a0, a0, a1
    jr ra
```

Esempio (`sum`)

Address	Code	Basic		
0x00400000	0x00100513	addi x10,x0,1	6:	li a0, 1 # a
0x00400004	0x00200593	addi x11,x0,2	7:	li a1, 2 # b
0x00400008	0x00000493	addi x9,x0,0	8:	li s1, 0 # result
0x0040000c	0x01c000ef	jal x1,0x0000001c	10:	jal sum
0x00400010	0x000504b3	add x9,x10,x0	11:	add s1, a0, zero
0x00400014	0x00900533	add x10,x0,x9	14:	mv a0, s1
0x00400018	0x00100893	addi x17,x0,1	15:	li a7, 1
0x0040001c	0x00000073	ecall	16:	ecall
0x00400020	0x00a00893	addi x17,x0,10	19:	li a7, 10
0x00400024	0x00000073	ecall	20:	ecall
0x00400028	0x00b50533	add x10,x10,x11	24:	add a0, a0, a1
0x0040002c	0x00008067	jalr x0,x1,0	25:	jr ra

ra **pc**

stato **dopo** aver eseguito `jr ra`
- `pc` vale `0x0000000000400010`
- `ra` vale `0x0000000000400010`

```
_start:
    li a0, 1 # a
    li a1, 2 # b
    li s1, 0 # result

    jal sum
    add s1, a0, zero
    …
sum:
    add a0, a0, a1
    jr ra
```

Stringhe

Codifica ASCII

- *American Standard Code for Information Interchange*
- Utilizza 8 bit (1 byte) per rappresentare i caratteri

- `load byte unsigned (lbu)` prende un byte dalla memoria mettendolo negli 8 bit di un registro, collocati più a destra
- `store byte (sb)` prende il byte corrispondente agli 8 bit di un registro, collocati più a destra, e lo salva in memoria

```
lbu x12, 0(x10) // Leggi un byte dall'indirizzo sorgente
sb  x12, 0(x11) // Scrivi il byte all'indirizzo di destinazione
```

Codifica ASCII

Valore ASCII	Carattere	Valore ASCII	Carattere	Valore ASCII	Carattere	Valore ASCII	Carattere	Valore ASCII	Carattere	Valore ASCII	Carattere
32	Spazio	48	0	64	@	80	P	096	`	112	p
33	!	49	1	65	A	81	Q	097	a	113	q
34	“	50	2	66	B	82	R	098	b	114	r
35	#	51	3	67	C	83	S	099	c	115	s
36	$	52	4	68	D	84	T	100	d	116	t
37	%	53	5	69	E	85	U	101	e	117	u
38	&	54	6	70	F	86	V	102	f	118	v
39	‘	55	7	71	G	87	W	103	g	119	w
40	(	56	8	72	H	88	X	104	h	120	x
41	)	57	9	73	I	89	Y	105	i	121	y
42	*	58	:	74	J	90	Z	106	j	122	z
43	+	59	;	75	K	91	[	107	k	123	{
44	,	60	<	76	L	92	\	108	l	124	|
45	-	61	=	77	M	93	]	109	m	125	}
46	.	62	>	78	N	94	^	110	n	126	~
47	/	63	?	79	O	95	_	111	o	127	DEL

Codifica ASCII

Valore ASCII	Carattere	Valore ASCII	Carattere	Valore ASCII	Carattere	Valore ASCII	Carattere	Valore ASCII	Carattere	Valore ASCII	Carattere
32	Spazio	48	0	64	@	80	P	096	`	112	p
33	!	49	1	65	A	81	Q	097	a	113	q
34	“	50	2	66	B	82	R	098	b	114	r
35	#	51	3	67	C	83	S	099	c	115	s
36	$	52	4	68	D	84	T	100	d	116	t
37	%	53	5	69	E	85	U	101	e	117	u
38	&	54	6	70	F	86	V	102	f	118	v
39	‘	55	7	71	G	87	W	103	g	119	w
40	(	56	8	72	H	88	X	104	h	120	x
41	)	57	9	73	I	89	Y	105	i	121	y
42	*	58	:	74	J	90	Z	106	j	122	z
43	+	59	;	75	K	91	[	107	k	123	{
44		60	<	76	L	92	\	108	l	124	|

Il linguaggio C termina le stringhe con un byte che contiene il valore 0 (carattere “null” in ASCII, non mostrato nella tabella)

Esercizio 0 – `charAt`

Usando il linguaggio assemblativo del RISC-V, scrivere una funzione **charAt** che riceva:

sul registro a0, **l'indirizzo** in memoria di una stringa (array di byte)
sul registro a1, un numero intero (n)

charAt ritorna il carattere nella posizione n della stringa str.
Il seguente codice in C realizza charAt (convertilo in RISC-V):

```
char charAt(char *str, int n) {
    return str[n];
}
```

Esercizio 1 – `strlen` (String Length)

Scrivere una procedura RISC-V per calcolare la lunghezza di una stringa di caratteri in C, escluso il carattere terminatore. Le stringhe di caratteri in C sono memorizzate come un array di byte in memoria, dove il byte ‘\0’ (`0x00`) rappresenta la fine della stringa.

```
unsigned long strlen(char *str) {
    unsigned long i;
    for (i = 0; str[i] != '\0'; i++);
    return i;
}
```

```
.globl _start
.data
      src: .string "This is the source string."
```

Esercizio 2 – `digit`

Scrivere una funzione RISC-V **digit** che verifichi se un byte passato come parametro nel registro a0 rappresenta un carattere cifra (0-9) nella codifica ASCII. Verificare vuol dire: restituire 1 (su a0) se la condizione è vera, 0 altrimenti.

Esercizio 3 – `strcmp`

Scrivere una procedura RISC-V `strcmp` per confrontare due stringhe di caratteri. `strcmp(str1, str2)` restituisce 0 se `str1` è uguale a `str2`, 1 nel caso contrario.

risultato atteso, a0 = 1

```
.globl _start
.data
      str1: .string "first"
      str2: .string "second"
```

Esercizio 4 – `strchridx`

Scrivere una procedura RISC-V strchridx(str, c) per restituire l'indice della prima occorrenza di **c** in **str**.

strchridx(str, c) restituisce -1 se c non è presente in str.

```
long long strchridx(char *str, char c) {
    long long i = 0;
    while (str[i] != '\0' and str[i] != c) {
        i++;
    }
    if (str[i] == '\0') {
        return -1;
    } else {
        return i;
    }
}
```

Esercizio 5 – `hash`

Usando il linguaggio assemblativo del RISC-V, scrivere una funzione **hash** che riceva sul registro **a0** l'indirizzo in memoria di una stringa (array di byte).

La funzione deve calcolare il valore hash della stringa e ritornarlo sul registro a0. Il valore hash deve essere calcolato come segue:

```
long hash(char *str) {
    long hash = 5381;
    int i = 0;

    while (str[i] != '\0') {
        hash = ((hash << 5) + hash) + str[i];
        i++;
    }
    return hash;
}
```