Lezione 1: L'architettura LC-3

Laboratorio di Elementi di Architettura e Sistemi Operativi
8 Marzo 2019

Ricorda...

Il ciclo di esecuzione di un'istruzione è composto da sei fasi:
FETCH
DECODE
ADDRESS EVALUATION
OPERAND FETCH
EXECUTE
STORE RESULT

Istruction Set Architecture

Che cos'è l'ISA?

Il termine ISA (Instruction Set Architecture), specifica l'interfaccia tra i comandi software (forniti attraverso un linguaggio di programmazione) e quello che l'hardware è in grado di eseguire (linguaggio macchina).

In particolare specifica:

- l'organizzazione della memoria
- l'insieme dei registri
- l'insieme delle istruzioni:
  - opcode
  - tipi di dato
  - metodi di indirizzamento

Vediamole nel dettaglio...

Organizzazione della memoria

- La memoria di LC-3 ha uno spazio di indirizzamento di 2^{16}(=65536) locazioni.
- Ogni locazione (word) contiene 16 bit di dati.
- Gli indirizzi sono a 16 bit.
- Gli indirizzi di memoria sono numerati da 0 (0x0000) a 65535 (0xFFFF)

0x0000 0x00FF	Trap Vector Table
0x0100 0x01FF	Interrup Vector Table
0x0200 0x2FFF	Operating System and Supervisor Stack
0x3000 0xFDFF	Available for User Program
0xFE00 0xFFFF	Device register addresses

- Non tutti identificano zone di memoria disponibile per l'utente, come riportato in figura.

Insieme dei registri

- LC-3 mette a disposizione 8 General Purpose Register (GPR);
- i registri sono a 16 bit (word);
- ognuno degli 8 registri (chiamati R0, R1, ..., R7) è identificato da un numero a 3 bit (da R0=000 a R7=111).

Register 0	(R0)	0000111100001111
Register 1	(R1)	0000111111111111
Register 2	(R2)	0000000000001111
Register 3	(R3)	0000110000001111
Register 4	(R4)	0000111100000011
Register 5	(R5)	0000111100001100
Register 6	(R6)	0000111100001001
Register 7	(R7)	0000100000001111

Insieme delle istruzioni

- Un'istruzione è identificata da DUE componenti:
  - opcode: specifica cosa l'istruzione chiede di fare alla macchina;
  - operandi: specificano i dati su cui la macchina andrà ad operare;
- Ogni istruzione è codificata su 16 bit.
- Esempio: vogliamo fare un'ADD fra i registri R0 e R1 e memorizzare il risultato in R2. L'istruzione sarà:

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
ADD				R2			R0						R1		

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
ADD				R2			R3						R1		

- L'ISA di LC-3 definisce 15 istruzioni, ciascuna identificata da un opcode univoco;
- L'opcode è specificato dai bit [12:15] di un'istruzione. Poichè vengono usati 4 bit, si possono identificare 16 istruzioni; LC-3 ne specifica 15, lasciandone libera una (codice 1101).
- Ci sono 3 diversi tipi di istruzioni:
  - operazioni: processano informazioni;
  - spostamento di dati: spostano informazioni tra registri e memoria e viceversa;
  - controllo: cambiano il flusso d'esecuzione delle istruzioni.

Tipi di dato

- Per tipo *di dato* si intende un modo per rappresentazione l'informazione che sia gestibile dall'ISA
  - ovvero, per la quale l'ISA mette a disposizioneistruzioni *in grado di manipolarla*
- Ci sono molti modi per rappresentare un'informazione...
  - caratteri
  - modulo e segno
  - complemento a uno
  - complemento a due
  - virgola mobile
  - ...
- L'ISA di LC-3 utilizza la forma interi in complemento a due

Metodi di indirizzamento

- Il metodo di indirizzamento è il meccanismo per specificare dove si trova un operando;
- LC-3 supporta cinque modi di indirizzamento:
  - all'interno dell'istruzione stessa (literal o immediate)
  - a registro
  - tre a memoria:
    - PC-relative
    - indiretto
    - base + offset

Il linguaggio assembly di LC-3

Abbiamo visto...

- Ogni istruzione è identificata da un insieme di 1 e di 0;
- Ogni locazione di memoria è individuata da un indirizzo a 16 bit.

Tuttavia...

scrivere programmi sottoforma di 1 e 0 non è certo il massimo. Vediamo quindi come rappresentare in modo più comprensibile i nostri programmi.

Il linguaggio assembly di LC-3

- è un linguaggio a basso livello;
- ha lo scopo di rendere la programmazione più semplice rimanendo comunque vicino all'ISA;
- vi è una corrispondenza uno a uno tra istruzioni ASM e istruzioni specifiche dell'ISA;
- mette a disposizione nomi simbolici al posto degli opcode delle istruzioni; ad esempio ADD identifica l'opcode 0001;
- permette inoltre di definire nomi simbolici per le locazioni di memoria (symbolic address).

Istruzioni Assembly

Il formato generale di un'istruzione assembly è:

LABEL	OPCODE	OPERANDS	;COMMENTS

- LABEL: assegna un nome simbolico ad un indirizzo (che può contenere un'istruzione o un indirizzo di memoria).
  È opzionale;
- OPCODE e OPERANDS: sono specifici per ogni istruzione;
- COMMENTS: identifica un commento (come il comando // del C).
- Una label è un nome simbolico che può essere usato per identificare una zona di memoria; viene usata nel programma per fare un riferimento esplicito alla zona di memoria associata; in LC-3 una LABEL può essere lunga al massimo 20 caratteri.
- Come già visto, un'istruzione ha un OPCODE e un certo numero di OPERANDI;

- l'OPCODE:

  - è un nome simbolico che corrisponde ad un'istruzione LC-3;
  - l'idea è che i nomi simbolici (ADD, AND, LDR) sono più facilmente ricordabili rispetto a 0001, 0101,0110;

- gli OPERANDI: sono specifici per ogni istruzione; ad esempio:

  - BRz AGAIN : se zero, salta all'istruzione AGAIN;
  - ADD R1,R1,#3 : somma 3 al contenuto di R1;
  - Nota: nelle operazioni che richiedono valori costanti, come ad esempio l'istruzione appena vista, si utilizza
    # per indicare un decimale, x per indicare un esadecimale, e b per indicare un numero binario.

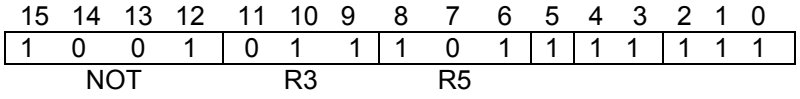
- Nel linguaggio assembly i commenti sono indicati dal ";"
- contengono messaggi in linguaggio naturale che non hanno effetti sul processo di esecuzione;
- ciò che segue il ";" viene completamente ignorato.

Le istruzioni di LC-3: operazioni

- Le operazioni sono istruzioni che processano i dati; possono essere di tipo aritmetico (ADD, SUB, MUL, DIV)
- di tipo logico (AND, OR, NOT);
- LC-3 definisce tre operazioni:
  - NOT
  - AND
  - ADD
- Combinandole assieme è possibile ottenere tutte le altre operazioni aritmetiche e logiche.

NOT

- L'istruzione NOT (opcode = 1001) è l'unica ad utilizzare un solo operando (operazione unaria);
- Utilizza un registro sia per la sorgente che per la destinazione;
- Esegue il complemento bit a bit sui 16 bit del registro sorgente, e memorizza il risultato nel registro destinazione;
- Esempio: si vuole porre nel registro R3 la negazione del registro R5; l'istruzione sarà:



- Nota: i bit [0:5] sono tutti 1.

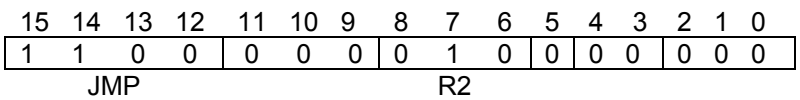
AND e ADD

- Le istruzioni AND (opcode = 0101) e ADD (opcode = 0001) operano su due operandi a 16 bit;
- L'ADD esegue l'addizione in complemento a due tra gli operandi;
- L'AND esegue l'and bit a bit tra gli operandi;
- A differenza di NOT, il secondo operando sorgente può essere:
  - un registro,
  - un valore costante.
- Nel primo caso il bit [5] vale 0, così come i bit [3:4]. I bit [0:2] contengono il numero del registro.

Salti non condizionali

- LC-3 mette a disposizione l'istruzione **JMP** (opcode = 1100) per eseguire salti non condizionati;
- JMP carica nel PC il valore contenuto nel registro indicato dai bit [6:8];

Esempio:



Da codice assembly a codice macchina

L'assemblatore

Abbiamo visto che il linguaggio assembly permette di scrivere programmi a più alto livello rispetto le istruzioni macchina;

tuttavia un'architettura è in grado di eseguire solo istruzioni in linguaggio macchina: occorre quindi una traduzione;

questo processo di traduzione viene fatto dall'ASSEMBLATORE.

In generale, nel linguaggio assembly vi è una corrispondenza 1 a 1 fra le istruzioni ASM e le istruzioni macchina;

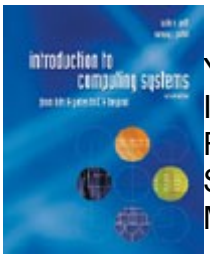
si può quindi pensare di prendere il programma scritto in ASM e, riga per riga, determinare la corrispondente istruzione macchina.

Esempio:

```
01 .ORIG x3000
02 AND R2,R2,#0 ; reset di R2
...
07 BRp AGAIN
01 x3000: 0101011011100000
...
```

Riferimenti

Libro di testo:



Yale N. Patt, Sanjay J. Patel.
Introduction to Computing Systems:
From Bits and Gates to C and Beyond.
Seconda edizione.
McGraw-Hill Higher Education, 2003.

http://www.mhhe.com/patt2

Contiene il simulatore, il manuale del simulatore e le appendici con l'elenco completo delle istruzioni e la descrizione dell'ISA

ESERCIZIO 1:

Decodificare le seguenti istruzioni in linguaggio macchina:

0011000001010000: _X3000:_ST__R0,___80_____; X3000 + 80

0010001000000111: _X3001:_LD_____

0010010000000101: _X3002:_LD_____

0101011011100000: _____

0001011011000010: __br np _____

0001001001111111: _____

0000001111111101: _____

1111000000100101: _____

0000000000000000: _____

0000000000000110: _____

(0000) 3050 0011000001010000 (4) .ORIG x3050

(3050) 2207 0010001000000111 (5) LD R1 SIX

(3051) 2405 0010010000000101 (6) LD R2 NUMBER

(3052) 56E0 0101011011100000 (7) AND R3 R3 #0

(3053) 16C2 0001011011000010 (11) AGAIN ADD R3 R3 R2

(3054) 127F 0001001001111111 (12) ADD R1 R1 #-1

(3055) 03FD 0000001111111101 (13) BRP AGAIN

(3056) F025 1111000000100101 (15) TRAP x25

(3057) 0000 0000000000000000 (18) NUMBER .FILL x0000

(3058) 0006 0000000000000110 (18) SIX .FILL x0006