

Corso di Calcolatori Elettronici

Introduzione al linguaggio macchina

Prof. Roberto Canonico

Università degli Studi di Napoli Federico II



Dipartimento di Ingegneria Elettrica
e delle Tecnologie dell'Informazione (DIETI)

Il processore

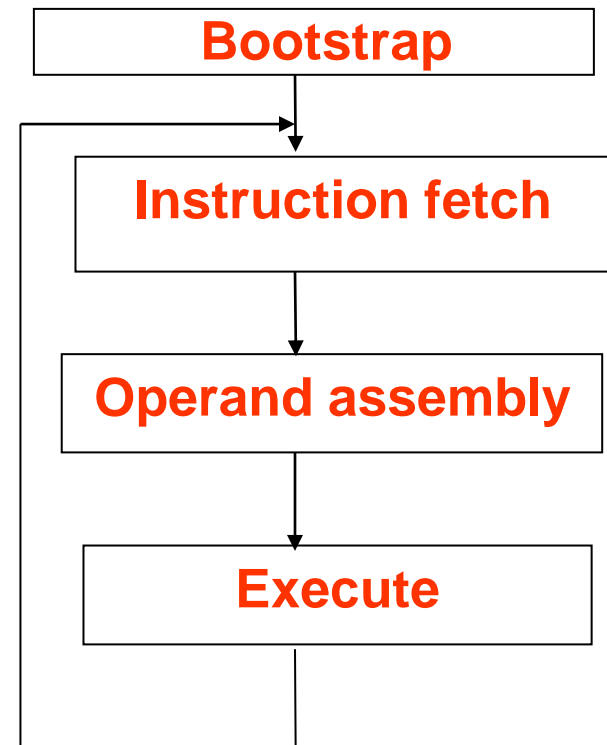
- ❑ Nell'architettura di un calcolatore si identificano i seguenti componenti fondamentali:
 - la CPU (*Central Processing Unit*) o processore
 - la memoria centrale
 - i dispositivi di Input/Output
 - il sistema di interconnessione
 - ❑ Il *processore* internamente è costituito da:
 - Unità di controllo
 - Registri
 - Unità aritmetico-logica (ALU)
 - Sezione di Collegamento con la memoria
 - Memory Address Register MAR
 - Memory Data Register MDR o Memory Buffer MB
 - Sezione di Collegamento con Ingresso-Uscita
-

Algoritmo del processore

- Il processore opera secondo un algoritmo ciclico che consiste di tre fasi:
 1. Prelievo dell'istruzione
 2. Decodifica e preparazione degli operandi
 3. Esecuzione

Nella fase di bootstrap il ciclo viene inizializzato;

viene assegnato un valore iniziale opportuno a PC in modo da avviare l'esecuzione di un programma iniziale in ROM



Algoritmo del Processore

- **Prelievo dell'istruzione (Fetch)**
 - La CPU preleva dalla memoria l'istruzione il cui indirizzo è in PC
 - L'istruzione viene copiata nel registro IR
 - **Decodifica / prelievo degli operandi (Operand Assembly)**
 - L'unità di controllo esamina il contenuto di IR e ricava il tipo di operazione ed i relativi operandi
 - Eventuali operandi contenuti in memoria vengono prelevati
 - **Esecuzione dell'istruzione (Execute)**
 - L'unità di controllo richiede all'ALU di effettuare l'operazione specificata nell'istruzione ed invia il risultato ad un registro o alla memoria
-

Istruzione I/m

- Il linguaggio macchina di un processore è costituito dalla codifica in binario delle istruzioni eseguibili dal processore
 - Un'istruzione in linguaggio macchina è, sul piano astratto, una tripla strutturata:
 - $i = (f, P1, P2)$
- ove:
- $f \in F$ insieme dei *codici operativi* del processore, cioè delle operazioni elementari definite al livello del linguaggio macchina;
 - $P1$ è un insieme di *operandi-sorgente*, cioè di valori e/o puntatori a registri (in senso proprio o registri di memoria) contenenti i valori su cui opera f ;
 - $P2$ è un insieme di *operandi-destinazione*, cioè di puntatori ai registri (in senso proprio o registri di memoria) cui sono destinati i risultati dell'elaborazione f
-

Rappresentazione di un'istruzione I/m

- Sul piano della sua rappresentazione, una istruzione è espressa come una informazione strutturata:

```
tipo istruzione=  
    cartesiano  
        codop: codice_operativo  
        parte-operandi: operandi  
end
```

- Tale informazione è codificata in macchina mediante codici a *lunghezza fissa* (tipicamente 32 bit, es. RISC) o a *lunghezza variabile* (nel Motorola 68000 multipli di 16 bit)
-

Diversificazione delle istruzioni I/m sulla base degli operandi

Le istruzioni I/m, rispetto agli operandi su cui operano, si diversificano:

1. Per tipo degli operandi (es. intero a 8, 16 o 32 bit);
2. Per numero degli operandi espliciti (0, 1, 2 o 3);
e, per ciascun operando:
3. Per la "natura" (ad esempio, se è una costante, se è il contenuto di un registro o di una locazione di memoria);
4. Per la tecnica di indirizzamento (fra l'altro se è implicito o esplicito);

Nel seguito si propongono vari possibili criteri di classificazione delle istruzioni I/m

Classificazione delle istruzioni l/m per numero di operandi espliciti

- Tipiche istruzioni l/m hanno 0, 1, 2 o 3 operandi espliciti:
 - OP es. `ClearAccumulator`
 - OP **O1** es. `Clear R0`
 - OP **O1, O2** es. `Move R1, R2`
 - OP **O1, O2, O3** es. `Add R4, R6, R1`ove O1, O2, O3 sono operandi espliciti
- Laddove l'istruzione abbia operandi impliciti, si tratta tipicamente della costante zero oppure di un registro (ad esempio l'accumulatore, nelle macchine ad accumulatore)

Classificazione delle istruzioni I/m per la natura degli operandi

- In funzione della natura degli operandi, le istruzioni sono classificate come:
 - memoria-immediato
 - memoria-registro
 - memoria-memoria
 - registro-immediato
 - registro-registro
 - In ciascuna coppia, il primo termine indica la natura dell'operando destinazione, mentre il secondo termine indica la natura dell'operando (o degli operandi) sorgente
 - Una CPU non supporta necessariamente tutte le possibili combinazioni sopra elencate; eccezioni sono possibili, anche per singole istruzioni
-

Classificazione delle istruzioni I/m per codici operativi

- Ciascuna CPU è caratterizzata da un proprio repertorio di istruzioni I/m
 - Il repertorio di codici operativi di una CPU può essere più o meno ricco
 - CISC vs. RISC
 - Il repertorio può comunque essere suddiviso tipicamente in poche “classi” di istruzioni fondamentali
-

Classi fondamentali di istruzioni l/m (1)

- Istruzioni di trasferimento dati
 - Copiano un dato dall'operando sorgente all'operando destinazione
 - Istruzioni aritmetiche
 - Effettuano operazioni aritmetiche sugli operandi sorgente e memorizzano il risultato nell'operando destinazione
 - Operano tipicamente su dati numerici di tipo intero
 - Istruzioni logiche e di scorrimento
 - Effettuano operazioni logiche booleane e di shift sugli operandi sorgente e memorizzano il risultato nell'operando destinazione
 - Operano tipicamente su dati di tipo "stringa di bit"
-

Classi fondamentali di istruzioni I/m (2)

- Istruzioni di comparazione
 - Alterano i flag del registro di stato del processore (*Processor Status Word* o *Status Register*) in base all'esito del confronto tra due operandi sorgente espliciti (istruzioni di *Compare* propriamente dette) o tra un operando sorgente esplicito ed uno implicito (tipicamente zero, come per l'istruzione *Test*)
 - Istruzioni di salto
 - Alterano il flusso sequenziale che caratterizza la normale esecuzione delle istruzioni, consentendo la realizzazione di diramazioni (*if-then-else*) e cicli
 - Agiscono modificando il registro *Program Counter*
 - Possono essere *condizionate* (alla verità di un predicato logico funzione dei flag del registro di stato) o *non-condizionate*
-

Classi fondamentali di istruzioni I/m (3)

- Istruzioni di collegamento a sottoprogramma
 - Sono istruzioni di salto che implementano i meccanismi necessari a consentire il ritorno al programma chiamante (salvataggio e ripristino dell'indirizzo dell'istruzione successiva al salto a subroutine)
 - Istruzioni di input/output
 - Alcune CPU sono dotate di istruzioni apposite per il trasferimento di dati da/verso le interfacce delle periferiche di input/output
-

Istruzioni di trasferimento dati

- Copiano un dato dall'operando sorgente all'operando destinazione
 - Tipicamente a due operandi espliciti
 - **MOVE sorgente,destinazione**
 - Nelle CPU ad accumulatore, uno dei due operandi è implicito: l'accumulatore
 - **LoadAccumulator #5** $ACC \leftarrow 5$
 - **StoreAccumulator 1000** $M[1000] \leftarrow ACC$
 - Le istruzioni di tipo Clear assumono la costante zero come operando sorgente implicito
 - **Clear R1** $R1 \leftarrow 0$
 - Le istruzioni che operano sul tipo "indirizzo di memoria" sono tipicamente considerate a parte
-

Istruzioni aritmetiche

- Effettuano operazioni aritmetiche unarie (cambia segno) o binarie (addizione, sottrazione, moltiplicazione, divisione) su dati interi espressi su 8, 16, 32 bit
 - $a = (\text{op}) b$ operazione unaria
 - $a = b (\text{op}) c$ operazione binaria
 - Alcune CPU sono dotate di istruzioni l/m per l'aritmetica in virgola mobile
 - In altri casi, un apposito coprocessore fornisce l'estensione del set di istruzioni per il supporto alla virgola mobile
 - Operazioni aritmetiche più complesse (es. radice quadrata) o funzioni trigonometriche ed esponenziali sono di solito supportate da coprocessori o realizzate in software
-

Istruzioni aritmetiche (2)

- Alcune CPU impongono il vincolo che l'operando destinazione coincida con un operando sorgente
$$a = (\text{op}) a \quad \text{operazione unaria}$$
$$a = a (\text{op}) b \quad \text{operazione binaria}$$
 - Ciò consente di lavorare con istruzioni a due soli operandi espliciti
 - Es. nel Motorola 68000:
 - `ADD D0,D1` $D1 \leftarrow [D0] + [D1]$
 - Il formato di istruzioni a 3 operandi espliciti è tipico delle CPU RISC; in esse, però, c'è il vincolo che i tre operandi siano tutti di tipo registro
 - Altre limitazioni sulla natura e sui modi di indirizzamento degli operandi valgono anche per le CPU CISC
 - Ad esempio, nel 68000 le istruzioni aritmetiche devono avere necessariamente un operando di tipo registro
-

Istruzioni logiche

- Effettuano operazioni logiche booleane “bit a bit” sia unarie (NOT) che binarie (AND, OR, XOR) su dati di tipo “stringa di bit” espressi su 8, 16, 32 bit
 - $a = (\text{op}) b$ operazione unaria
 - $a = b (\text{op}) c$ operazione binaria
 - Alcune CPU impongono il vincolo che l’operando destinazione coincida con un operando sorgente
 - $a = (\text{op}) a$ operazione unaria
 - $a = a (\text{op}) b$ operazione binaria
 - Ciò consente di lavorare con istruzioni a due soli operandi espliciti
 - Es. nel Motorola 68000:
 - AND D0,D1 $D1 \leftarrow [D0] \text{ AND } [D1]$
-

Istruzioni logiche (2)

- L'operazione di AND può essere utilizzata per mettere selettivamente a zero alcuni bit in un registro o in una locazione di memoria
 - AND.B #%11111100,D1
mette a zero i due bit meno significativi di D1
 - L'operazione di OR può essere utilizzata per mettere selettivamente a uno alcuni bit in un registro o in una locazione di memoria
 - OR.B #%00000011,D1
mette ad uno i due bit meno significativi di D1
-

Istruzioni logiche (3)

- L'operazione di XOR può essere utilizzata per negare selettivamente alcuni bit in un registro o in una locazione di memoria
 - `XOR.B #%00000011,D1`
inverte i due bit meno significativi di D1
-

Istruzioni di scorrimento

- Similmente alle operazioni logiche operano su dati di tipo “stringa di bit”
 - Operazioni tipiche:
 - *Shift-Left* sia aritmetico che logico
 - *Shift-Right* sia aritmetico che logico
 - *Circular-Shift-Left*
 - *Circular-Shift-Right*
 - Il numero di scorrimenti può essere fisso (tipicamente uno) o variabile (espresso da un ulteriore operando, immediato o registro)
-

Istruzioni di comparazione

- Alterano i flag del registro di stato del processore (*Processor Status Word* o *Status Register*) in base all'esito del confronto tra due operandi sorgente espliciti (istruzioni di *Compare* propriamente dette) o tra un operando sorgente esplicito ed uno implicito (tipicamente zero, come per l'istruzione *Test*)
 - Tipicamente queste istruzioni precedono le istruzioni di salto condizionato, e congiuntamente ad esse consentono di realizzare figure di programmazione quali le strutture di controllo *if-then-else* ed i *cicli*, tipici dei linguaggi di programmazione di alto livello
-

Istruzioni di salto

- Alterano il flusso sequenziale che caratterizza la normale esecuzione delle istruzioni
 - Agiscono modificando il registro *Program Counter*
 - Possono essere *condizionate* (alla verità di un predicato logico funzione dei flag del registro di stato) o *non-condizionate*
 - In l/m si distingue anche tra salti **assoluti** (*Jump*) e **relativi** (*Branch*)
 - Le istruzioni di Jump contengono nel codice l/m l'indirizzo destinazione
 - Le istruzioni di Branch contengono nel codice l/m un offset che, sommato al PC attuale, determina l'indirizzo destinazione
-

Istruzioni di collegamento a sottoprogramma

- Le istruzioni di salto a sottoprogramma (*Jump To Subroutine* o *Call*) salvano il valore del PC per consentire il ritorno al programma chiamante
 - Le istruzioni di ritorno da sottoprogramma (*Return From Subroutine*) ripristinano il valore del PC salvato per realizzare il ritorno al programma chiamante
 - Il valore del PC può essere salvato in un apposito registro (*Link Register*, CPU RISC) o sulla cima dello stack di sistema (soluzione tipica delle CPU CISC)
-

Istruzioni di input/output

- Alcune CPU sono dotate di istruzioni apposite per il trasferimento di dati da/verso le interfacce delle periferiche di input/output
 - Istruzioni IN e OUT
 - Si tratta in sostanza di istruzioni di trasferimento dati che operano su uno spazio di indirizzamento (quello delle interfacce di I/O) distinto da quello della memoria
 - Nei sistemi nei quali spazio di indirizzamento di I/O e spazio di indirizzamento di memoria coincidono (sistemi con I/O memory mapped) le operazioni di I/O vengono eseguite tramite normali istruzioni di trasferimento dati
-