

Introduzione al corso

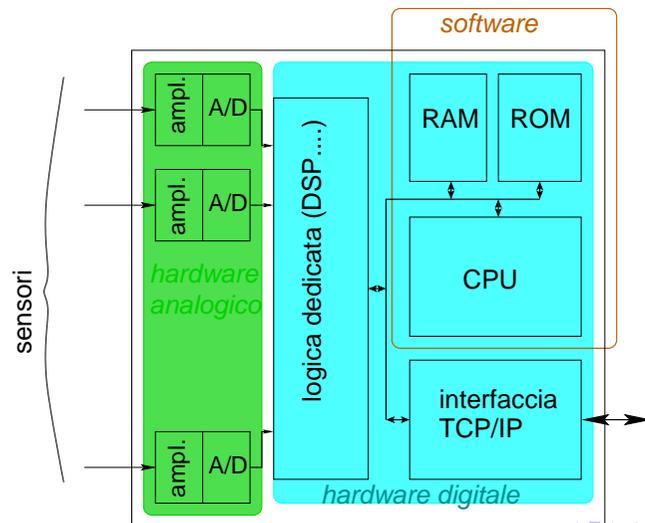
M. Favalli

Engineering Department in Ferrara



Esempio di sistema digitale

Invece di un esempio classico come un calcolatore, consideriamo un di sistema realizzabile con un unico circuito integrato



Obiettivi

Progetto di sistemi digitali (ovvero basati su una codifica delle informazioni che utilizza un numero finito di valori)

- Applicazioni
 - Calcolatori
 - Controllo
 - Telecomunicazioni
 -
- Specifiche:
 - funzionali
 - costo
 - prestazioni
 - consumo di potenza
 -

Per progettare questi sistemi abbiamo bisogno di un modello matematico (come vedremo, si tratta di più modelli).

Come descrivere un sistema digitale

- Sistemi molto complessi che contengono milioni di dispositivi "elementari" ⇒ non è possibile utilizzare un singolo modello matematico che li possa descrivere
- Gerarchia di livelli di descrizione che in maniera molto semplificata possiamo iniziare a descrivere procedendo dall'alto (utente) verso il basso (tecnologia)
 - livello software (se esiste)
 - livello hardware
- Entrambi i livelli si suddividono poi in una serie di sottolivelli
- Questa gerarchia consente di gestire la complessità in quanto a ciascun livello nascondiamo alcuni dettagli del livello sottostante ottenendo un modello più efficiente

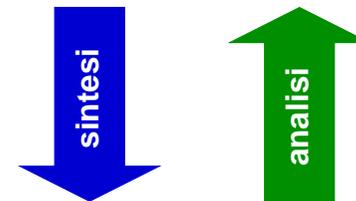
- Come esempio del processo di astrazione che si ha passando da un livello basso a quello superiore consideriamo un caso riguardante il software
- Nel passaggio dal linguaggio assembly a un linguaggio di programmazione (es. C), si nascondono diversi dettagli:
 - allocazione delle variabili nei registri
 - il meccanismo di riferimento diretto a un'etichetta nelle istruzioni di salto condizionato
 - il protocollo di chiamata delle funzioni

Un esempio introduttivo

- Partendo da alcune conoscenze acquisite nel corso di Fondamenti di Informatica, si cercherà di inquadrare il ruolo delle reti logiche nel progetto dell'hardware
- In particolare, si assume una conoscenza di base dell'architettura di Von Neumann che descrive una semplice CPU e dei suoi componenti fondamentali (ALU, registri)
- Come si vedrà le reti logiche consentono di descrivere sistemi più generali di una CPU

- I livelli più alti si identificano con livelli di specifica e quelli più bassi con l'implementazione

Specifiche di sistema



Realizzazione fisica

Livelli dell'hardware: sistema - architettura

- Si descrive il comportamento (behavior) del sistema, che può essere molto complesso, descritto come processi di elaborazione interagenti
- Si forniscono le specifiche su costi e prestazioni
- Si fanno le prime scelte decidendo quali parti del sistema possono essere realizzate via software (utilizzando una o più CPU) e quali via hardware (reti dedicate)
- Le prestazioni determinano questo partizionamento: ciò che viene implementato direttamente via hardware è di solito più veloce di quanto realizzato via software

Esempio di specifica

Consideriamo come semplicissimo esempio, quello di un sistema che calcola: $x = a * b + c^2 + d * e$ (dove a, b, c, d, e sono interi)

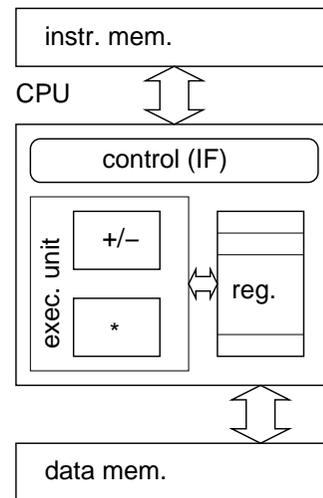
Livelli dell'hardware: sistema - architettura

Caso particolare: utilizzo di una CPU

- Traduzione dell'espressione in un algoritmo (una sequenza di operazioni) e nella sua esecuzione mediante una semplice CPU (sw+hw)

```
u=a*b;  
v=c*c;  
u=u+v;  
v=d*e;  
u=u+v;
```

- Questo approccio, molto generale, può risultare inadeguato dal punto di vista delle prestazioni



Livelli dell'hardware: sistema - architettura

Sintesi

- Sono possibili diverse soluzioni con costi e prestazioni diversi
- Per arrivare a una realizzazione bisogna porsi alcune domande:
 - che tipo e che numero di blocchi funzionali (sommatori, moltiplicatori ...) sono disponibili
 - quando si esegue una certa operazione e quale risorsa la esegue
 - quali sono i costi e le prestazioni di ciascuna risorsa utilizzata
- Come vedremo sono possibili diverse soluzioni

Livelli dell'hardware: sistema - architettura

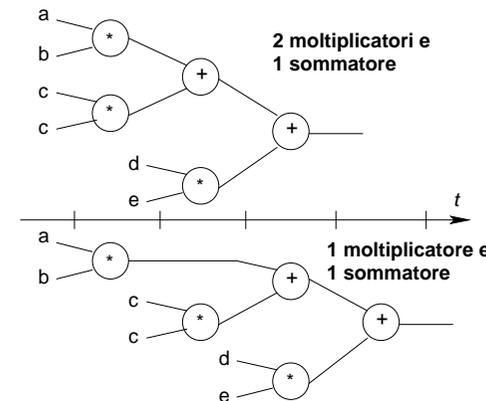
Caso particolare: utilizzo di hardware dedicato

- In una prospettiva più generale si può supporre di non avere le limitazioni della CPU (sequenzialità nelle operazioni, numero limitato di risorse) rinunciando alla programmabilità
- Realizziamo un componente dedicato supponendo di disporre di sottosistemi in grado di calcolare somma e prodotto e di sottosistemi in grado di memorizzare risultati parziali
- Dall'espressione si può notare che è possibile eseguire in parallelo i diversi prodotti nel caso in cui si disponga di più moltiplicatori
- Questo consente di calcolare il risultato in un tempo inferiore rispetto alla CPU

Livelli dell'hardware: sistema - architettura

Caso particolare: utilizzo di hardware dedicato

Confrontiamo due soluzioni: la prima (sol. 1) utilizza 2 moltiplicatori e la seconda (sol. 2) 1 moltiplicatore.

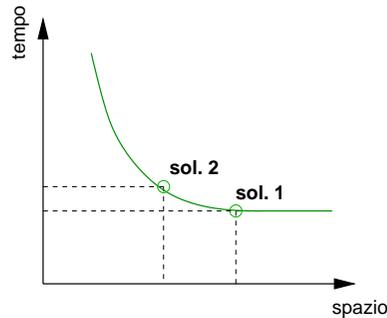


Come si vede dal grafo che illustra le operazioni eseguite nel tempo (nell'ipotesi che ciascuna operazione impieghi un "intervallo" di tempo) la prima soluzione è più veloce ma è anche più costosa

Servirebbero 3 moltiplicatori? quanti intervalli di tempo impiegava la CPU?

Il compromesso spazio tempo

- Si tratta di un aspetto ricorrente nel progetto dell'hardware (non solo ...)
- Lo spazio si identifica con il costo (nelle tecnologie attuali lo spazio occupato da un sottosistema é proporzionale al suo costo)
- Per tempo si intende quello necessario per calcolare i risultati (prestazioni)
- Non esiste quasi mai una soluzione che minimizzi sia lo spazio che il tempo, si hanno diverse soluzioni con diversi compromessi fra costi e prestazioni



Esempio

Come esempio consideriamo ancora il caso del software con due funzioni che eliminano gli elementi ripetuti da un vettore ordinato

```
int f1(int *v, int n, int *vout)
{
  int i, *vout, nout;

  vout=(int *)malloc(n*sizeof(int));
  nout=0;
  for (i=0; i<n; i++)
    if ((i==0) || (v[i]!=v[i-1]))
      {
        vout[nout]=v[i];
        nout++;
      }
  return nout;
}
```

```
int f2(int *v, int n, int *vout)
{
  int i, *vout, nout;

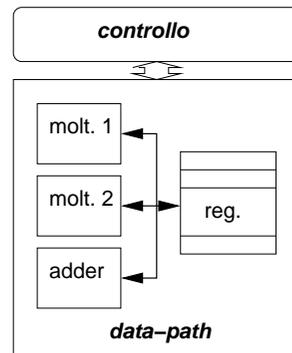
  nout=0;
  for (i=0; i<n; i++)
    if ((i==0) || (v[i]!=v[i-1]))
      nout++;
  vout=(int *)malloc(nout*sizeof(int));
  nout=0;
  for (i=0; i<n; i++)
    if ((i==0) || (v[i]!=v[i-1]))
      {
        vout[nout]=v[i];
        nout++;
      }
  return nout;
}
```

Livelli dell'hardware: RTL

Register Transfer Level

É il livello al quale sono descritte in dettaglio le scelte di progetto fatte al livello superiore:

- quale sottosistema (sommatore, moltiplicatore ...) esegue un'operazione e quale ne esegue un'altra
- dove memorizzare i risultati parziali
- come controllare che le operazioni si svolgano in maniera corretta
- come interconnettere fra loro questi sottosistemi



```
molt. 1  molt. 2  adder
-----
r1:=a*b; r2:=c*c;
-----
r3:=d*e;          r1:=r1+r2;
-----
                      r1:=r1+r3;
-----
```

Livelli dell'hardware: logico - gate

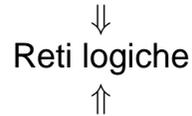
- Un ulteriore problema é quello di realizzare:
 - 1 i componenti del data-path (sommatori, moltiplicatori, le unità che contengono i risultati parziali)
 - 2 il sottosistema che si occupa di eseguire le varie operazioni nella sequenza corretta (controllo)
 - 3 le interconnessioni fra questi sottosistemi
- Questi sistemi devono essere progettati mediante i blocchi elementari (gate) che la tecnologia ci mette a disposizione
- Eseguire queste operazioni in modo da creare sistemi funzionalmente corretti, che soddisfino criteri di costo e prestazioni é il ruolo del livello logico
- Al di sotto di questo livello entrano in gioco livelli tecnologici in cui compaiono le caratteristiche fisiche dei componenti elementari

Il ruolo delle reti logiche

Interfaccia fra un mondo architetturale (fino al livello RTL) indipendente dalla tecnologia e un mondo tecnologico che porta alla realizzazione fisica del sistema.

Informazioni dai livelli piú alti

specifiche di progetto e obiettivi di progetto



Informazioni dai livelli "tecnologici"

caratteristiche dei componenti elementari che vengono utilizzati per costruire le reti logiche

Modello di un sistema di calcolo

Il modello piú generale di un qualsiasi sistema di calcolo é quello di funzione: $f : I \rightarrow O$ dove I é l'insieme dei possibili ingressi e O quello delle possibili uscite.



- descrizione di tipo **comportamentale** (ci dice cosa fa, ma non come lo fa)
- ci sono molte cose non specificate, come ad esempio il modo in cui vengono forniti gli elementi di I e O

Determinismo

Cosa succederebbe se invece di una funzione avessi una relazione? Se allo stesso elemento di I corrispondono piú elementi di O , si ha un comportamento non deterministico

Tecnologie digitali

- Tecnologie che ci consentono di realizzare un sistema digitale
- Vedremo i requisiti generali che una tecnologia deve soddisfare per permettere la realizzazione di un sistema digitale
- Per fare questo si deve prima specificare meglio cosa intendiamo per sistema di calcolo

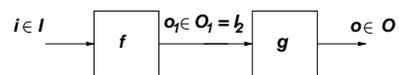
Sistemi di calcolo non digitali

Un processo di calcolo può essere realizzato in molti modi e non necessariamente mediante tecnologie digitali. Ad esempio, le reti neurali che simulano in maniera semplificata il comportamento del cervello possono essere di tipo non digitale e consentono di risolvere problemi complessi come il riconoscimento di caratteri

Modelli comportamentali e strutturali

- Un modello di tipo comportamentale (behavioral) descrive il sistema come una "scatola nera"
- Si parla invece di descrizione **strutturale** quando un sistema viene descritto come insieme di componenti interconnessi (in questo caso si specifica come é fatto il sistema invece del cosa fa)
- In questo caso la funzione svolta dal sistema può essere dedotta a partire dalle funzioni dei singoli componenti e dal modo in cui sono interconnessi
- Le descrizioni dei singoli componenti possono essere sia di tipo strutturale (gerarchico) che comportamentale

Connessione in cascata



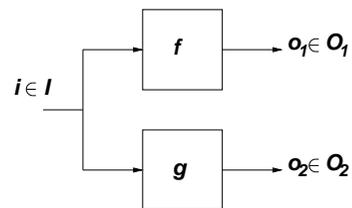
$$f : I_1 \rightarrow O_1$$

$$g : I_2 \rightarrow O_2$$

$$I = I_1$$

$$O = O_2 = g(f(I))$$

Connessione in parallelo



$$f : I_1 \rightarrow O_1$$

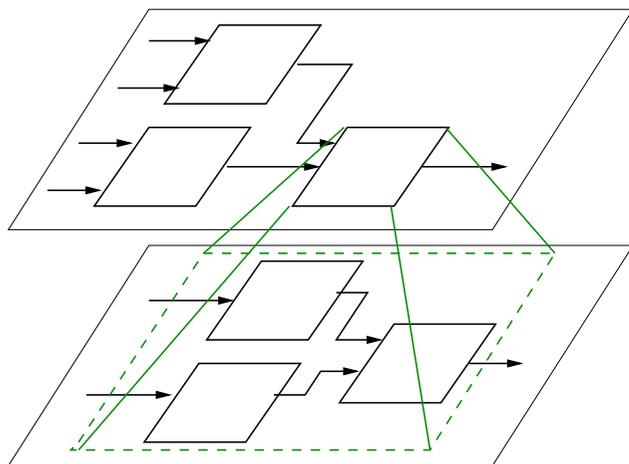
$$g : I_2 \rightarrow O_2$$

$$I = I_1 = I_2$$

$$O = O_1 \cup O_2 = f(I) \cup g(I)$$

Descrizioni di tipo gerarchico

Si tratta di un accorgimento utilizzato per gestire la complessità

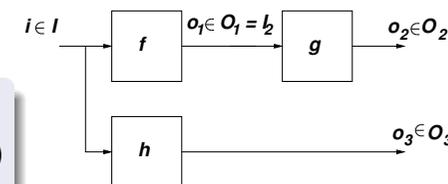


$$f : I \rightarrow O_1$$

$$g : I_2 = O_1 \rightarrow O_2$$

$$h : I \rightarrow O_3$$

$$O = O_2 \cup O_3 = g(I_2) \cup h(I) = g(f(I)) \cup h(I) \quad (1)$$



Realizzazione

Una tecnologia deve mettere a disposizione:

- 1 Supporto fisico per le informazioni: gli elementi di I e O devono essere rappresentati tramite una qualche grandezza fisica
- 2 Supporto fisico per l'elaborazione: un sistema fisico in grado di elaborare le grandezze di ingresso producendo i valori di uscita

Nota

Consistenza fra il tipo di grandezze utilizzato per rappresentare ingresso e uscita e il sistema fisico utilizzato per elaborarle

Sistema fisico	Grandezze fisiche utilizzate per rappresentare l'informazione
Calcolatrice meccanica (basata su ingranaggi)	Posizioni angolare
Centrale elettromeccanica di commutazione	Posizioni angolari dei selettori e correnti
Calcolatore elettronico basato su circuiti integrati	Valori di tensione alle interconnessioni
Calcolatore elettronico basato su Quantum Cellular Automata ?	Posizione di una coppia di elettroni