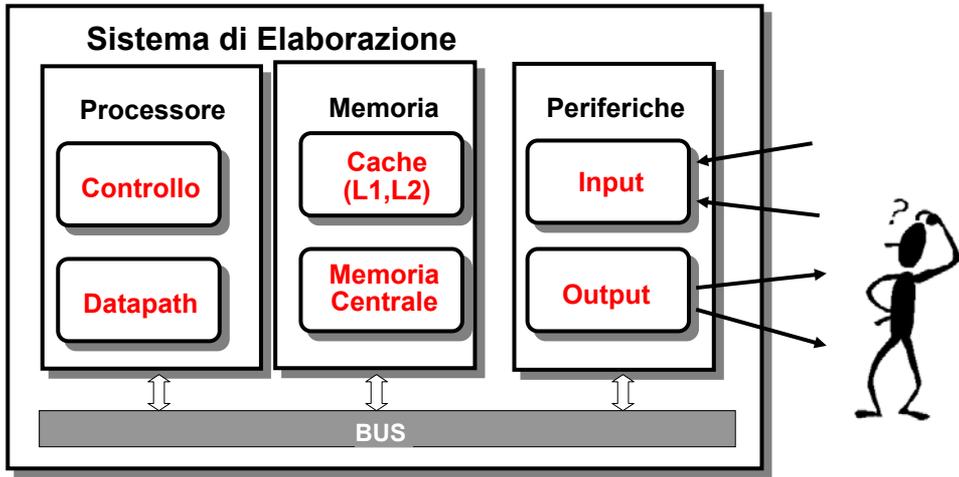


Input/Output: da un sistema di elaborazione a ... ?

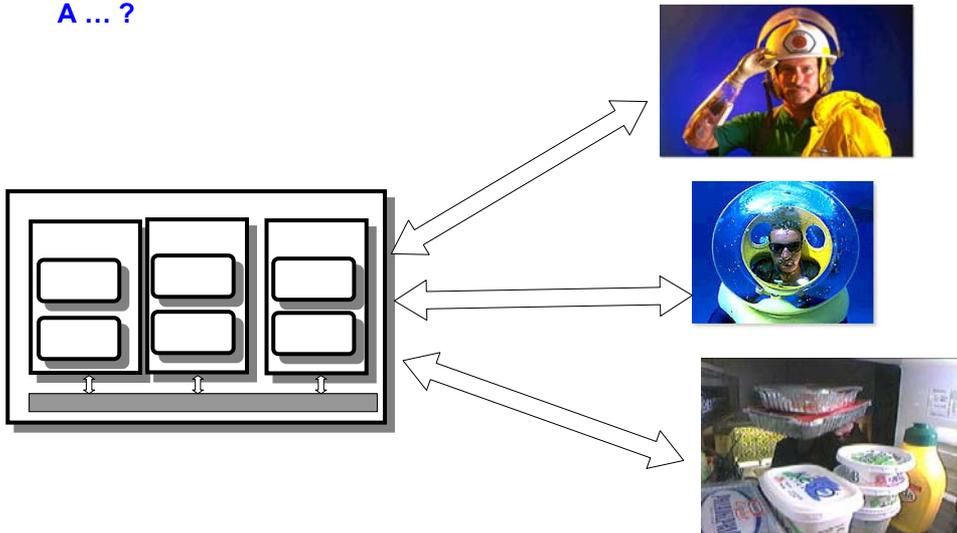


F. Tortorella

Corso di Calcolatori Elettronici II

Università degli Studi di Cassino

A ... ?



F. Tortorella

Corso di Calcolatori Elettronici II

Università degli Studi di Cassino

Periferiche "tradizionali"

Periferica	Funzione	Partner	Velocità (Kbytes/sec)
Tastiera	Input	umano	0.01
Mouse	Input	umano	0.02
Stampante	Output	umano	1.00
Floppy disk	Memorizz.	macchina	50.00
Stampante Laser	Output	umano	100.00
Disco Ottico	Memorizz.	macchina	500.00
Disco Magnetico	Memorizz.	macchina	10000.00
Network-LAN	I/O	macchina	10000.00
Display Grafico	Output	umano	30000.00



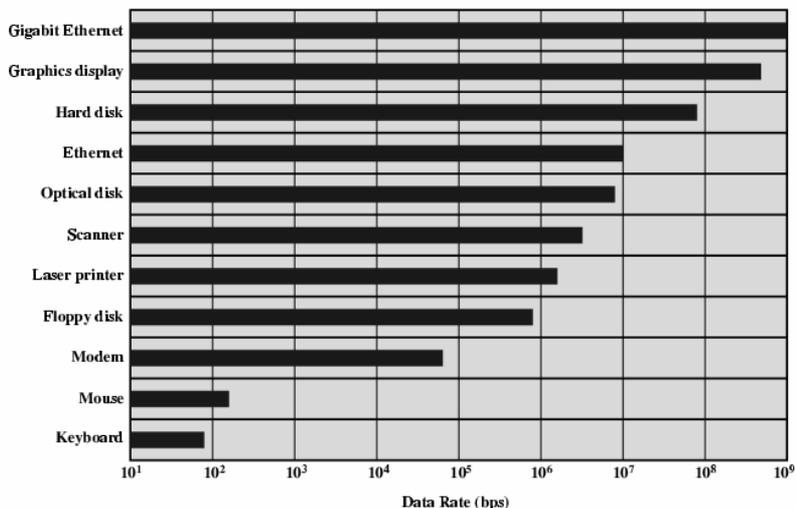
grossa variabilità tra le periferiche

F. Tortorella

Corso di Calcolatori Elettronici II

Università degli Studi
di Cassino

Periferiche "tradizionali": la classifica



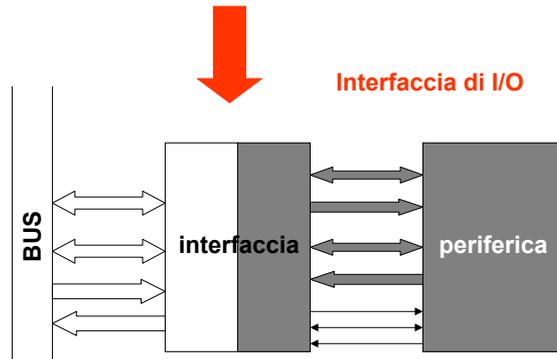
F. Tortorella

Corso di Calcolatori Elettronici II

Università degli Studi
di Cassino

Interfaccia di I/O

- Molti tipi diversi di periferiche
- Grossa variabilità all'interno di una stessa classe di periferiche
- Necessità di uniformare la connessione tra la periferica ed il resto del sistema

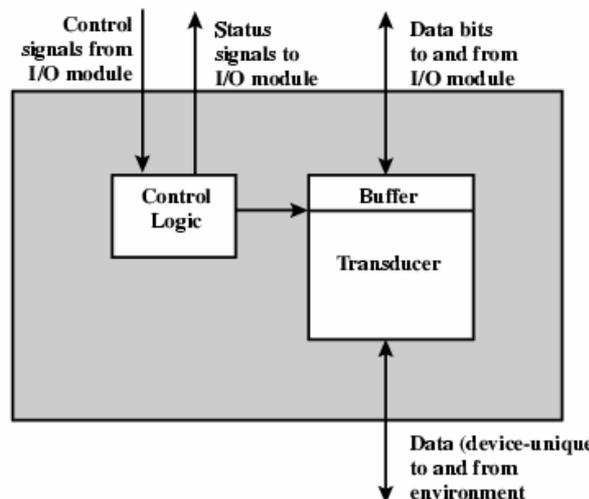


F. Tortorella

Corso di Calcolatori Elettronici II

Università degli Studi
di Cassino

Interfaccia di I/O: schema della periferica



F. Tortorella

Corso di Calcolatori Elettronici II

Università degli Studi
di Cassino

Funzioni dell'interfaccia di I/O

- Controllo e tempificazione
- Comunicazione con la CPU
- Comunicazione con la periferica
- Buffering dei dati
- Error Detection

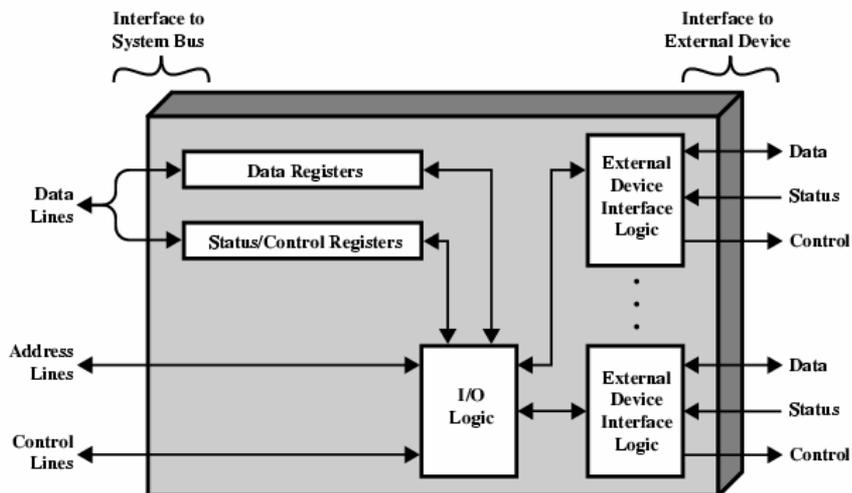
Fasi di un'operazione di I/O

- La CPU verifica lo stato dell'interfaccia di I/O
- L'interfaccia di I/O fornisce lo stato
- Se lo stato è ready, la CPU richiede un trasferimento di dati
- L'interfaccia di I/O acquisisce i dati dalla periferica
- L'interfaccia di I/O trasferisce i dati alla CPU
- **ACHTUNG:** descrizione generica – possibili molte variazioni sul tema !!

Interfaccia di I/O

- L'interfaccia è accessibile tramite bus in maniera analoga ad un modulo di memoria (viene selezionata dal processore tramite un indirizzo)
- Le comunicazioni avvengono tramite operazioni di lettura/scrittura su un insieme di registri (*I/O ports*) appartenenti all'interfaccia:
 - **Data IN**: registro dati in ingresso
 - **Data OUT**: registro dati in uscita
 - **Control Register (in)**: riceve istruzioni per le operazioni della periferica
 - **Status Register (out)**: contiene informazioni sullo stato della periferica
- L'accesso ai registri è multiplexato:
 - interfaccia mappata su due indirizzi, multiplexati in funzione di un segnale di controllo READ/WRITE
 - IND1: Data IN / Data OUT
 - IND2: Control / Status

Interfaccia di I/O: schema generico



I/O Addressing

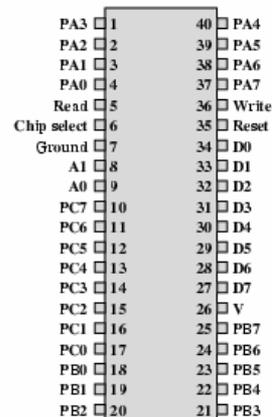
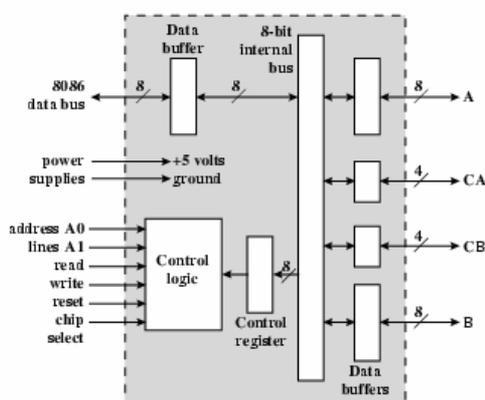
Ogni interfaccia viene selezionata dal processore tramite un indirizzo univoco.

Questo può appartenere:

- allo spazio di indirizzamento della CPU \Rightarrow **Memory mapped I/O**
 - operazioni di I/O realizzate tramite istruzioni di MOVE
 - numero di I/O ports teoricamente illimitato
 - struttura del bus più semplice
- ad uno spazio di indirizzamento separato \Rightarrow **Independent I/O**
 - presenza di istruzioni specifiche per l'I/O (IN, OUT)
 - non si sacrificano indirizzi di memoria per l'I/O
 - struttura del bus più complessa

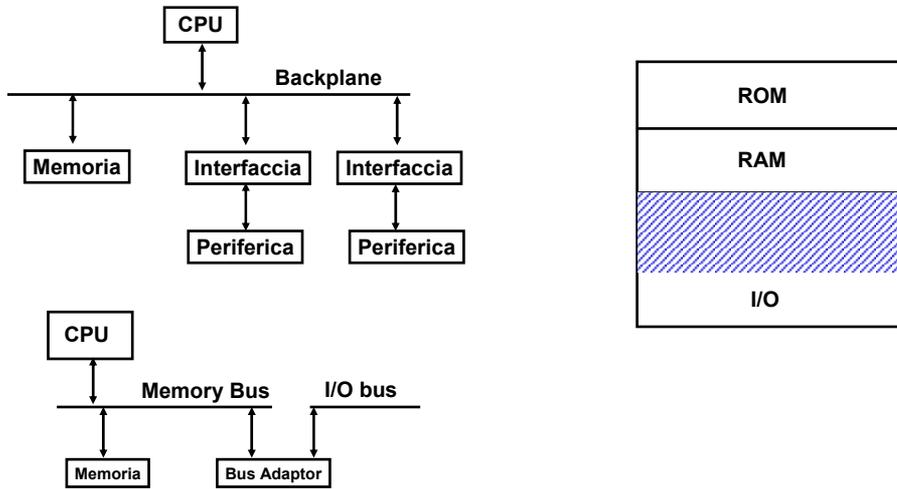
Possibili soluzioni miste

Intel 82C55A Programmable Peripheral Interface



(b) Pin layout

Memory mapped I/O

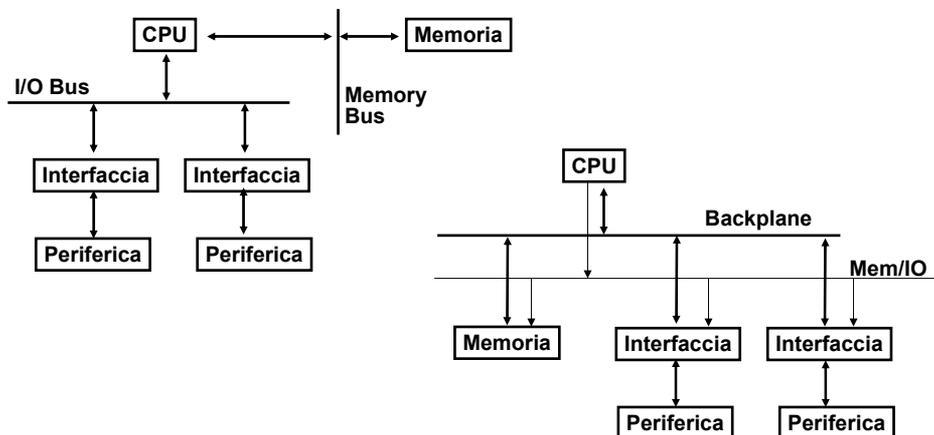


F. Tortorella

Corso di Calcolatori Elettronici II

Università degli Studi di Cassino

Independent I/O



F. Tortorella

Corso di Calcolatori Elettronici II

Università degli Studi di Cassino

Tempificazione delle operazioni di I/O

- Enorme differenza tra la velocità della CPU e delle periferiche
- Un processore funzionante a 500 MHz può (teoricamente) gestire un traffico di dati ad una velocità di 200000 KB/s, mentre le periferiche più veloci arrivano a 30000 KB/s
- Input: la periferica può non essere in grado di inviare dati alla CPU alla stessa velocità con cui il processore riesce a leggerli. Inoltre, la periferica potrebbe interagire con un utente umano, rallentando ulteriormente l'attività
- Output: la periferica può non essere in grado di accettare dati dalla CPU alla stessa velocità con cui il processore li produce
- Non è realizzabile una gestione sincrona delle operazioni di I/O.

Gestione delle operazioni di I/O: Polling

- Gestione asincrona dell'operazione
- La CPU inizia, dirige e termina l'operazione di I/O, rimanendo in attesa del completamento (*Programmed I/O*)
- Esempio: **Realizzazione della lettura di un dato**
 - Inizio: la CPU accede al Control Register dell'interfaccia, scrivendo una word che inizializza l'interfaccia e la predispone per l'operazione richiesta
 - Attesa: la CPU accede in lettura allo Status Register dell'interfaccia, rimanendo in loop finchè il dato non è disponibile (*busy waiting*)
 - Terminazione: la CPU accede in lettura al Data OUT, prelevando il dato ed inizializzando lo Status Register



E' conveniente il polling ?

- Con la tecnica del polling, la CPU spende del tempo in attesa della periferica:
 - quanto tempo viene perso in ogni interrogazione ?
 - con che frequenza avvengono le interrogazioni ?
- Consideriamo un processore con un clock da 500 MHz; per ogni interrogazione vengono impiegati 400 cicli di clock (chiamata alla procedura di polling, accesso all'interfaccia, ritorno). Valutiamo il carico dovuto al polling per periferiche diverse
 - **Mouse**: interrogato 30 volte al secondo per non perdere movimenti dell'utente
 - **Floppy disk**: trasferimento dati in unità da 2 byte, con una velocità di trasferimento di 50 KB/sec. E' necessario non perdere nessun dato.
 - **Hard disk**: trasferimento dati in blocchi da 16 byte, con una velocità di trasferimento di 8 MB/sec. Anche qui è necessario non perdere alcun dato.

Un po' di conti ... (1/2)

- **Mouse**:
 - cicli al secondo necessari per l'interrogazione:
 $30 * 400 = 12000$ cicli/sec
 - overhead sul processore:
 $12 * 10^3 / 500 * 10^6 = 0.002\%$

⇒ Polling con un impatto trascurabile sul processore
- **Floppy**:
 - interrogazioni/sec = $50 \text{ KB/s} / 2\text{B} = 25\text{K}$ poll/sec
 - cicli al secondo necessari per l'interrogazione:
 $25\text{K} * 400 = 10^7$ cicli/sec
 - overhead sul processore :
 $10 * 10^6 / 500 * 10^6 = 2\%$

⇒ ancora accettabile se non ci sono molte periferiche

Un po' di conti ... (2/2)

- **Hard Disk:**

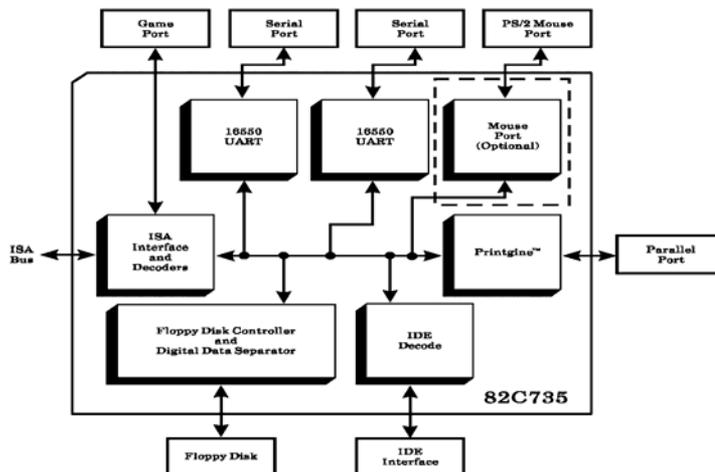
- interrogazioni/sec = $8 \text{ MB/s} / 16\text{B} = 500\text{K poll/sec}$
- cicli al secondo necessari per l'interrogazione:
 $500\text{K} * 400 = 2 * 10^8 \text{ cicli/sec}$
- overhead sul processore :
 $200 * 10^6 / 500 * 10^6 = 40\%$

⇒ inaccettabile

F. Tortorella

Corso di Calcolatori Elettronici II

Università degli Studi
di Cassino



F. Tortorella

Corso di Calcolatori Elettronici II

Università degli Studi
di Cassino

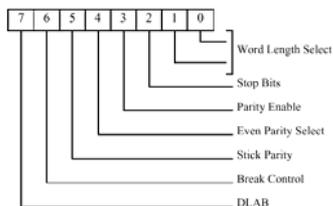
Register Mnemonic	Register Name	Index (hex)	Access	Address Range (hex)	Default State (hex)	Page
CR00	Configuration Register 0	00	R/W	3F0-3F1	3F	26
CR01	Configuration Register 1	01	R/W	3F0-3F1	9F	27
CR02	Configuration Register 2	02	R/W	3F0-3F1	DC	28
CR03	Configuration Register 3	03	R/W	3F0-3F1	00	28
CR04	Configuration Register 4	04	R/W	3F0-3F1	01	29
CR05	Configuration Register 5	05	R/W	3F0-3F1	00	29
CR06	Configuration Register 6	06	R/W	3F0-3F1	X1	30
CR07	Configuration Register 7	07	R/W	3F0-3F1	XX	30
CR08	Configuration Register 8	08	R/W	3F0-3F1	XX	31
CR09	Configuration Register 9	09	R/W	3F0-3F1	00	31

F. Tortorella

Corso di Calcolatori Elettronici II

Università degli Studi di Cassino

Register Mnemonic	Register Name	Offset (hex)	Access	Address (hex) Base Address Options: COM1, COM2: 3F8, 2F8 COM3, COM4: 338, 3E8, 2E8, 228 238, 2E8, 2E0, 228				Page
				DLAB	A2	A1	A0	
RBR	Receive Buffer	0	R	0	0	0	0	34
THR	Transmit Buffer	0	W	0	0	0	0	34
IER	Interrupt Enable	1	R/W	0	0	0	1	35
IIR	Interrupt ID	2	R	0	0	1	0	36
FCR	FIFO Control	2	W	0	0	1	0	37
LCR	Line Control	3	R/W	X	0	1	1	38
MCR	Modem Control	4	R/W	X	1	0	0	40
LSR	Line Status	5	R/W	X	1	0	1	41
MSR	Modem Status	6	R/W	X	1	1	0	42
SCR	Scratchpad	7	R/W	X	1	1	1	42
DLM	Divisor Latch MSB	1	R/W	1	0	0	1	43
DLL	Divisor Latch LSB	0	R/W	1	0	0	0	43



F. Tortorella

Corso di Calcolatori Elettronici II

Università degli Studi di Cassino

Hard Disk Controller (HDC) Registers

Register Mnemonic	Register Name	Access	Primary Address (hex)	Secondary Address (hex)	Page
HDATA	Data	R/W	1F0	170	48
HERR	Error	R	1F1	171	48
HWCMP	Write Compensation	W	1F1	171	49
HSC	Sector Count	W	1F2	172	49
HSN	Sector Number	R/W	1F3	173	50
HCL	Low Cylinder	R/W	1F4	174	50
HCH	High Cylinder	R/W	1F5	175	51
HDH	Drive Select/Head Number	R/W	1F6	176	51
HSTAT	Status	R	1F7	177	52
HCMD	Command	W	1F7	177	52
HSTAT2	Alternate Status	R	3F6	376	53
HCTRL	Fixed Disk Control	W	3F6	376	53
HIN	Digital Input	R	3F7	377	54

Alternative al polling - Interrupt I/O

- E' inutile che il processore sprechi tempo nell'attesa che la periferica sia pronta.
- Sarebbe sufficiente che la procedura di lettura fosse eseguita solo quando la periferica è pronta.

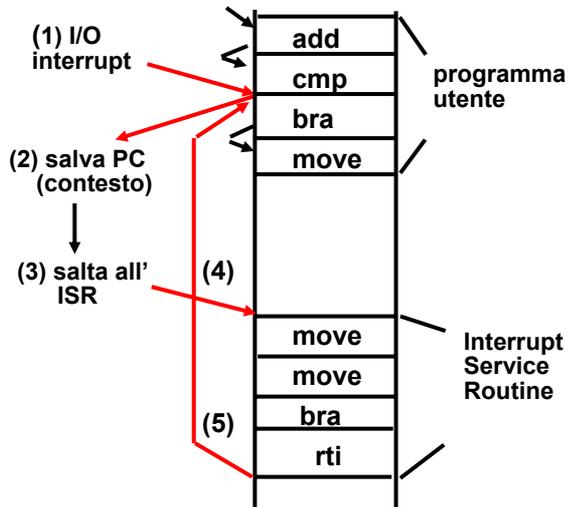


Uso delle interruzioni

- Possibile una gestione asincrona dell'operazione di I/O
- L'interfaccia deve essere in grado di generare un segnale di interrupt
- La CPU non deve attendere il completamento dell'operazione, ma risponde alla richiesta di interruzione

Gestione di un'operazione via interrupt I/O

- La CPU inizia l'operazione, scrivendo il contenuto del C.R. dell'interfaccia.
- Non rimane in attesa del completamento, ma riprende il programma, interrompendolo su richiesta dell'interfaccia



F. Tortorella

Corso di Calcolatori Elettronici II

Università degli Studi
di Cassino

Valutazione dell'Interrupt I/O

- Supponiamo un overhead di 500 cicli di clock per ogni trasferimento, interrupt inclusa. Supponiamo che l'hard disk sia attivo il 5% del tempo.
- Interrupt rate
 - Disk Int/sec = $8 \text{ MB/s} / 16\text{B}$
= 500K int/sec
 - Disk Polling cicli/sec = $500\text{K} * 500$
= 250,000,000 cicli/sec
 - Overhead sul processore durante i trasferimenti:
 $250 * 10^6 / 500 * 10^6 = 50\%$
- Disco attivo 5% $\Rightarrow 5\% * 50\% = 2.5\%$ overhead totale

F. Tortorella

Corso di Calcolatori Elettronici II

Università degli Studi
di Cassino

Interrupt I/O: questioni aperte

- Quale device ha generato l'interruzione?
 - Necessario affiancare l'informazione sull'identità del device
- E' possibile evitare interruzioni durante la gestione dell'interrupt ?
 - Che cosa succede se arrivano interrupt a maggiore priorità ?
 - E' possibile rientrare su una "interruzione interrotta" ?

Soluzioni possibili

- Identificazione del dispositivo interrompente
 - Multiline
 - Daisy chain
 - Polling
 - Interrupt vettorizzato
- Gestione della priorità
 - Gestione interna al processore
 - Gestione esterna al processore
- Programmable Interrupt Controller

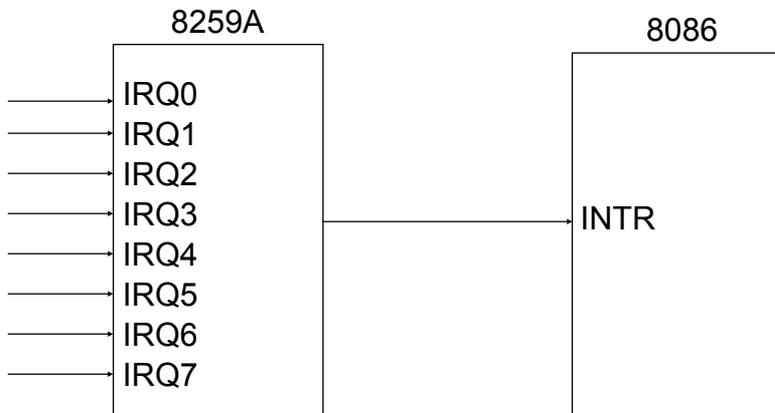
Esempio: l'80x86

- L'80x86 ha una sola linea d'interrupt
- Viene utilizzato il PIC 8259A
- L'8259A ha 8 linee d'interrupt
- Può essere montato in cascata, aumentando così le linee di interrupt disponibili

Esempio di PIC: l'8259

- Sequenza di eventi:
 - 8259A riceve gli interrupt
 - 8259A determina la priorità
 - 8259A segnala l'interrupt al processore 8086 (attiva la linea INTR)
 - La CPU accetta l'interrupt (ACK)
 - 8259A fornisce il vettore opportuno sul data bus
 - La CPU serve l'interrupt

Esempio di PIC: l'8259

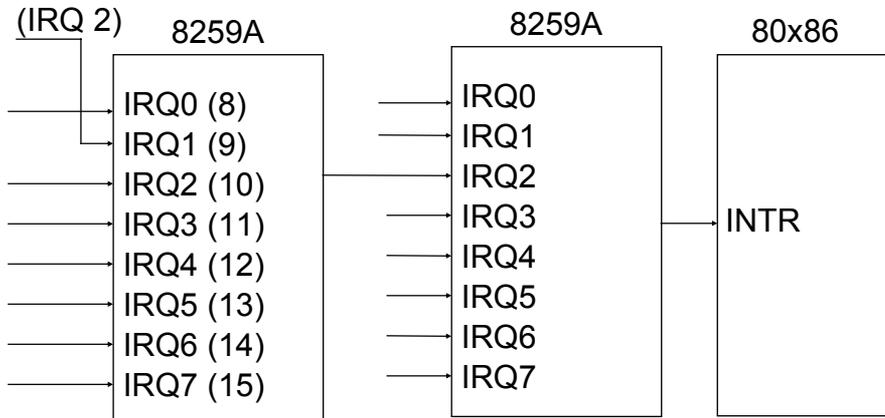


F. Tortorella

Corso di Calcolatori Elettronici II

Università degli Studi
di Cassino

Esempio di PIC: l'8259

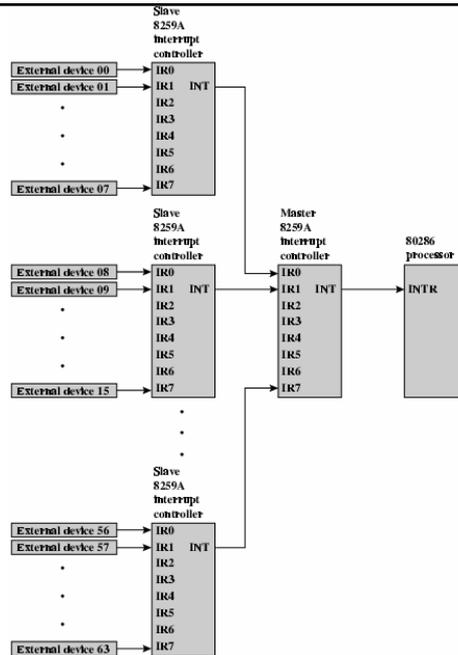


F. Tortorella

Corso di Calcolatori Elettronici II

Università degli Studi
di Cassino

Esempio di PIC: l'8259



F. Tortorella

Corso di Calcolatori Elettronici II

Università degli Studi
di Cassino

Gestione dell' I/O: questioni aperte

- L'organizzazione e la gestione delle operazioni di I/O ha una complessità molto elevata che non può essere gestita dall'utente normale, il quale
 - Non ha conoscenza del sistema di I/O
 - Non ha le competenze necessarie
- E' necessario che questa gestione avvenga a livello di sistema
- Chi mantiene traccia dello stato di tutti i device, gestisce gli errori, sa come è organizzato il sistema di I/O ?

F. Tortorella

Corso di Calcolatori Elettronici II

Università degli Studi
di Cassino

Il ruolo del Sistema Operativo

- Il sistema di I/O è condiviso tra molti processi che si contendono l'uso del processore
 - possibili violazioni di spazi riservati
 - possibile sbilanciamento tra gli accessi alle risorse di I/O
- Il controllo delle operazioni di I/O è complesso
- Le periferiche impiegano spesso le interruzioni per comunicare i risultati delle operazioni di I/O



Il Sistema Operativo

- garantisce che il programma utente accede solo quella parte del sistema di I/O su cui ha diritto
- stabilisce una politica di accesso alle risorse di I/O che assicuri la distribuzione equa degli accessi e l'efficienza complessiva del sistema
- virtualizza l'accesso alle periferiche fornendo procedure che gestiscono le operazioni a basso livello sul device (drivers)
- gestisce le interruzioni generate dalle periferiche

Direct Memory Access (1/3)

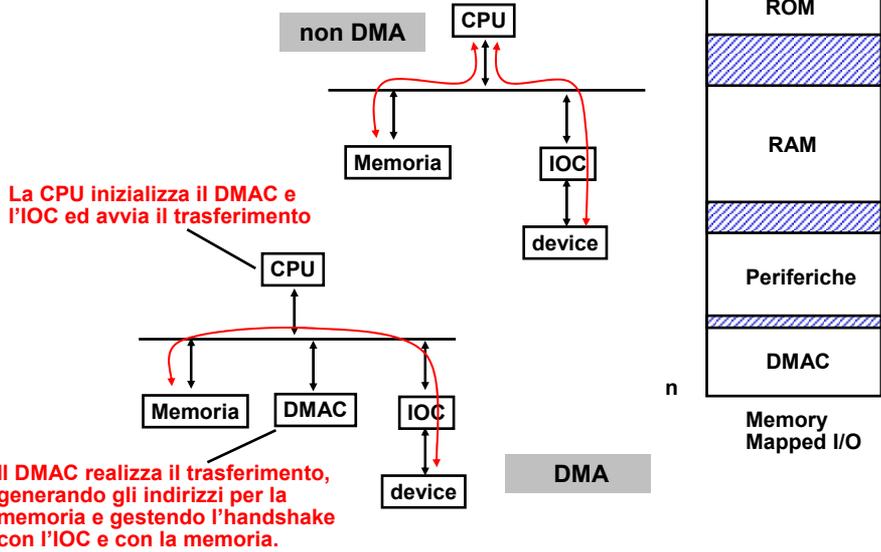
- Nel trasferimento di blocchi di dati l'interrupt I/O può risultare comunque pesante
- Durante il trasferimento di un blocco di dati, la CPU è occupata nell'inoltro di dati tra memoria e periferica
- Possibile liberare il processore dalla realizzazione del trasferimento, lasciandogli solo la supervisione dell'operazione (specificare il blocco da trasferire, gestire l'avvio e la chiusura) ?



Direct Memory Access (DMA):

l'operazione è realizzata tramite un dispositivo (DMA controller) capace di trasferire un blocco di dati tra la memoria ed una periferica e di generare un interrupt al termine

Direct Memory Access (2/3)



F. Tortorella

Corso di Calcolatori Elettronici II

Università degli Studi di Cassino

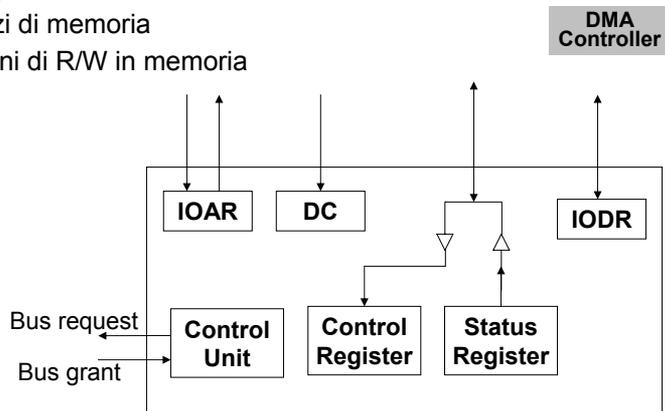
Direct Memory Access (3/3)

Per realizzare l'accesso diretto in memoria, il DMA controller deve essere capace di:

- gestire la richiesta per l'uso del BUS
- generare gli indirizzi di memoria
- realizzare operazioni di R/W in memoria

Registri del DMAC:

- IOAR** (I/O Addr. Reg.)
- DC** (Data Count)
- IODR** (I/O Data Reg.)



F. Tortorella

Corso di Calcolatori Elettronici II

Università degli Studi di Cassino

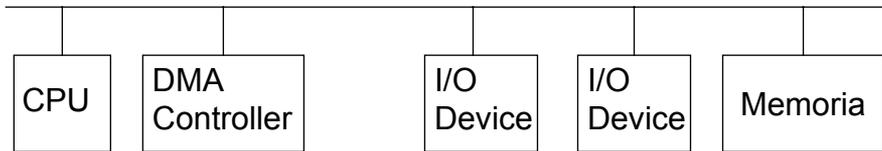
Sequenza di operazioni di un trasferimento DMA

1. La CPU fornisce le informazioni relative al blocco da trasferire ed inizializza il DMAC:
 - 1.1 base address → IOAR
 - 1.2 data count → DC
 - 1.3 controllo → Control Register
2. DMAC asserisce BUS REQUEST
3. La CPU rilascia il bus e asserisce BUS GRANT
4. Acquisito il bus, il DMAC trasferisce i dati da/verso la memoria incrementando IOAR e decrementando DC
5. Se $DC \neq 0$ e il device esterno non è pronto, il DMAC rilascia il bus che ritorna alla CPU
6. Se $DC = 0$, il controllo ritorna alla CPU. Eventualmente, viene generata un'interruzione

DMA - Modalità di trasferimento

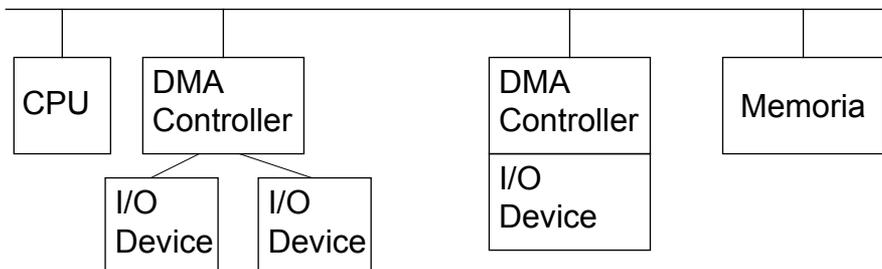
- **Trasferimento a blocco (block transfer)**
L'intero blocco viene trasferito mentre il DMA Controller è master del bus
Necessario per periferiche (p. e. dischi) in cui il trasferimento non può essere interrotto o rallentato
- **Furto di ciclo (cycle stealing)**
Il blocco viene trasferito attraverso una sequenza di trasferimenti di blocchi di lunghezza predefinita, alternandosi con la CPU sul bus
- **Trasferimento trasparente (transparent DMA)**
Il trasferimento ha luogo solo quando la CPU non è master del bus

Configurazione DMA (1)



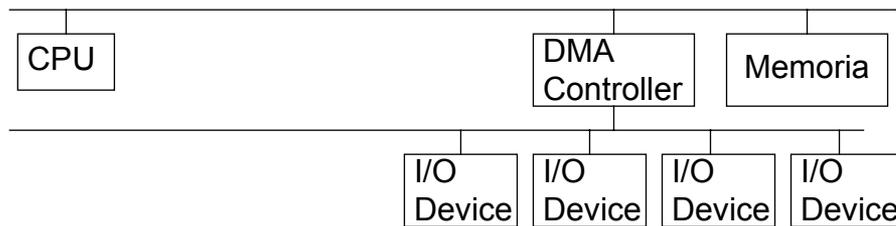
- Bus singolo, DMA controller separato
- Ogni trasferimento richiede due transazioni di bus
 - I/O → DMA quindi DMA → memory
- La CPU è sospesa due volte

Configurazione DMA (2)



- Bus singolo, DMA controller integrato
- Ogni controller può essere collegato a più di un device
- Ogni trasferimento richiede una transazione di bus
 - DMA → memory

Configurazione DMA (3)



- Bus di I/O separato
- Il bus supporta tutti i device gestiti via DMA
- Ogni trasferimento richiede una transazione di bus
 - DMA → memory

Valutazione dell'overhead relativo al DMA

- Frequenza processore: 500 MHz
- Setup del DMAC: 1000 cicli
- Servizio dell'interruzione: 500 cicli
- Hard Disk connesso via DMA
- Velocità di trasferimento: 8 MB/s
- Dimensione media del blocco trasferito: 8 KB

Tempo per trasferimento di un blocco: $8 \text{ KB} / 8 \text{ MB/s} = 10^{-3} \text{ sec}$

Disco sempre attivo $\Rightarrow 10^3 \text{ trasf/sec}$

Overhead del processore $\Rightarrow (1000+500) * 10^3 \text{ cicli/sec}$

% Overhead $\Rightarrow 1.5 * 10^6 / 500 * 10^6 = 0.3 \%$

I processori di I/O

programmed I/O

interrupt I/O

DMA



Coinvolgimento
della CPU



Complessità del
dispositivo

Dispositivi di I/O dalle più ampie capacità liberano la CPU dal peso della gestione delle operazioni di I/O.

Il costo da pagare è la complessità del dispositivo di I/O.

Soluzione estrema: **un processore dedicato all'I/O**

I processori di I/O

I processori di I/O (o *canali*) sono vere e proprie CPU dedicate esclusivamente alla gestione delle operazioni di I/O.

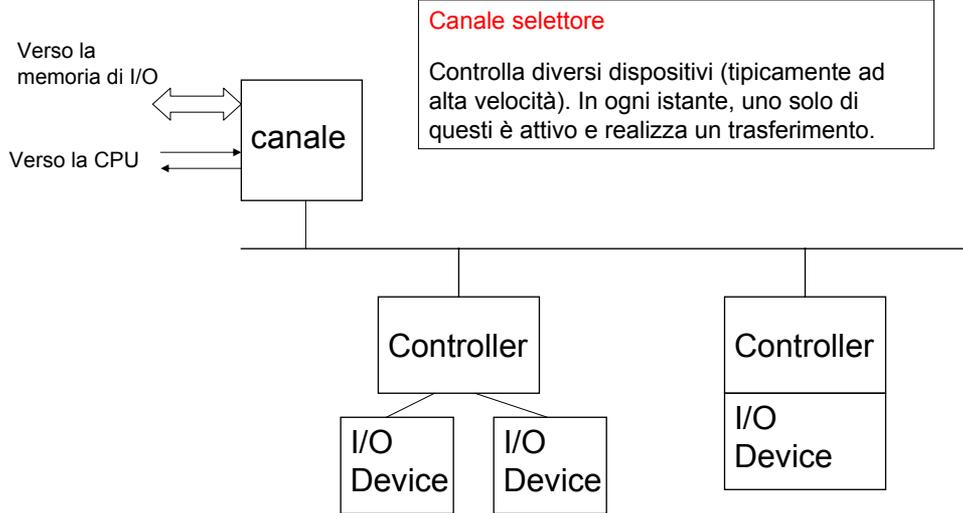
Il codice da eseguire (programma di I/O) è contenuto in una memoria riservata e realizza tutte le fasi delle operazioni di I/O (inizializzazione, trasferimento, chiusura, gestione di errori).

La CPU avvia l'operazione di I/O semplicemente fornendo al processore di I/O l'indirizzo del programma di I/O da eseguire.

Al termine dell'operazione, il processore di I/O produce un'interruzione per avvertire la CPU.

In questo modo, la CPU non ha più diretto controllo sul sistema di I/O.

Configurazione dei canali (1)

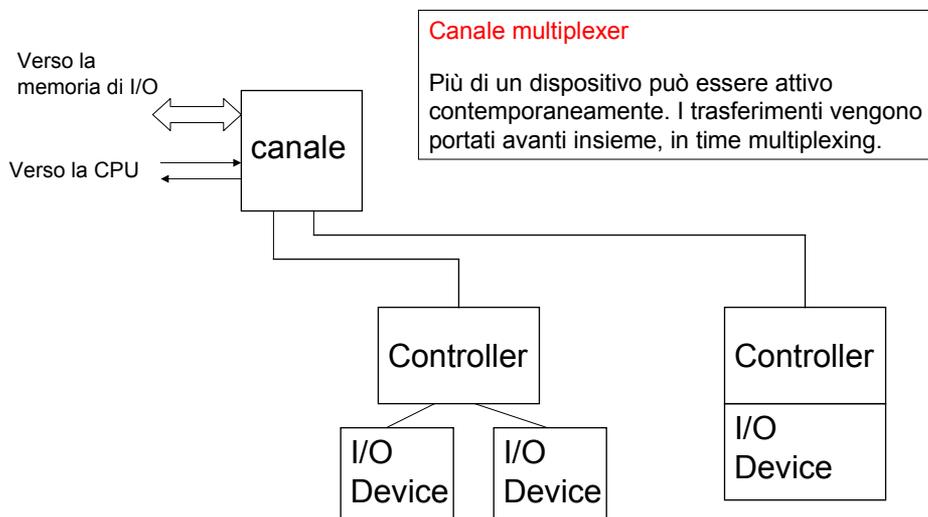


F. Tortorella

Corso di Calcolatori Elettronici II

Università degli Studi di Cassino

Configurazione dei canali (2)



F. Tortorella

Corso di Calcolatori Elettronici II

Università degli Studi di Cassino