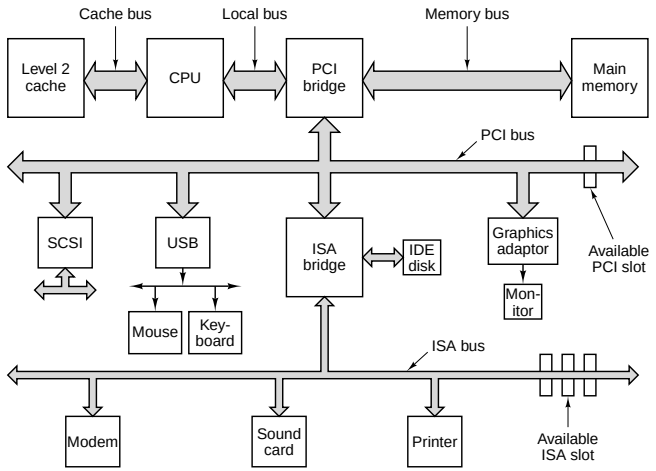
Input.output (I/O)



BUS

Un *bus* è

- un insieme di fili
- un protocollo

Input-output (I/O)

Grande varietà di dispositivi

Due grandi classi:

- *block devices* (es. dischi)
  - accesso a un blocco di dati per volta,
  - posso indirizzare il singolo blocco
- *character devices* (es. mouse, modem)
  - accesso a un byte per volta,
  - non posso indirizzare il singolo byte

Alcuni dispositivi non ricadono esattamente in nessuna delle due (es. clock, video controller)

Device controllers

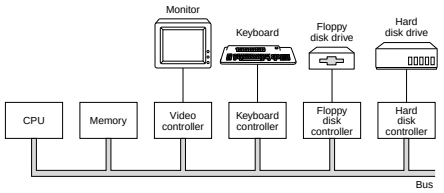
Un device si compone di:

- parti meccaniche
- parti elettroniche

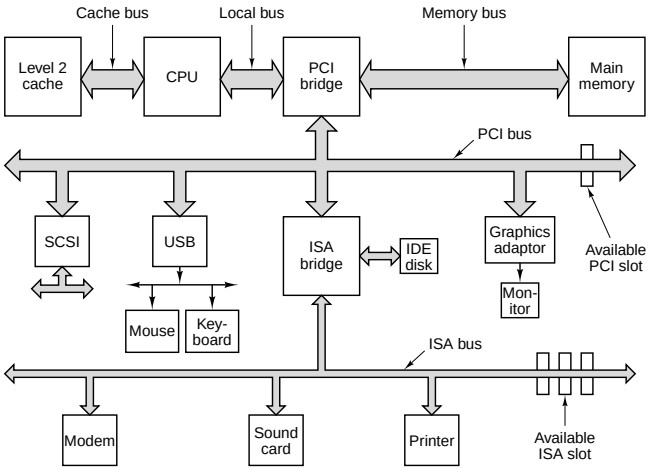
La parte elettronica è il *device controller*

Può in alcuni casi pilotare più dispositivi (es. IDE, SCSI, USB)

Compito del controller: interfacciare il protocollo di basso livello utilizzato dalla parte meccanica del device con il protocollo di alto livello usato dal bus



Architettura di un tipico PC



Tipi di bus

Un tipico PC possiede diversi tipi di bus

- Memory bus (il più veloce)
- Backplane bus (es. PCI, ISA)
- Specialized bus (es. SCSI, USB)

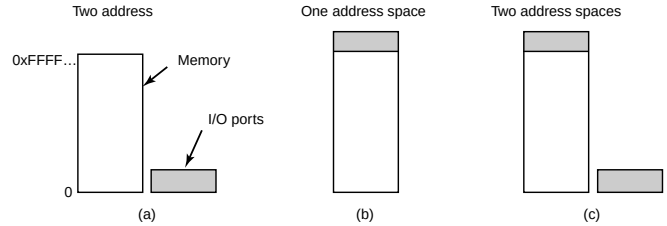
Il bus ISA è presente per offrire compatibilità con vecchie schede

Comunicazione con il device

Il controller possiede
- registri *di stato*
- registri *di comando*
- buffer di I/O

Come accedere a questi registri?

Due alternative:



- Spazi di indirizzi separati per I/O e memoria
- Memory-mapped I/O
- Ibrido

Spazi di indirizzi separati per I/O e memoria

Richiedono istruzioni speciali per accedere agli indirizzi di I/O

Es. i386: istruzioni IN, OUT

Gli indirizzi di I/O si chiamano *ports*

Lo spazio disponibile è di 64KB

Esempio: il file /proc/ioports

Mostra gli intervalli di port riservati dai vari *device drivers*

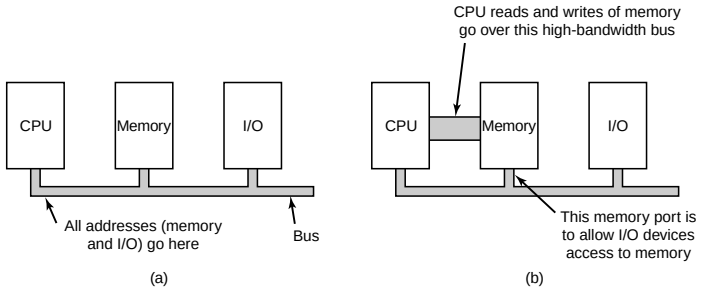
```
0000-001f : dma1
0020-003f : pic1
0040-005f : timer
0060-006f : keyboard
0070-007f : rtc
0080-008f : dma page reg
00a0-00bf : pic2
00c0-00df : dma2
00f0-00ff : fpu
0170-0177 : ide1
01f0-01f7 : ide0
0376-0376 : ide1
03c0-03df : vga+

[...]
```


Memory-mapped I/O

Il controller è connesso al bus della memoria

Ciascun dispositivo (di memoria o di I/O) confronta gli indirizzi che appaiono sul bus con i propri



Esempio: il file /proc/iomem

Mostra gli intervalli di RAM riservati dai device driver

```
00000000-0009f7ff : System RAM
0009f800-0009ffff : reserved
000a0000-000bffff : Video RAM area
000c0000-000c7fff : Video ROM
000f0000-000fffff : System ROM
00100000-13feffff : System RAM
  00100000-0028031c : Kernel code
  0028031d-002eade3 : Kernel data
13ff0000-13fffbff : ACPI Tables
13fffc00-13ffffff : ACPI Non-volatile Storage
14000000-14000fff : Texas Instruments PCI1410 PC card Cardbus Controller

[...]
```

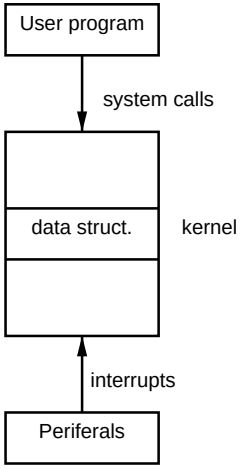
Memory-mapped I/O: vantaggi e svantaggi

- Non occorrono istruzioni speciali: i device driver possono essere scritti in C senza assembler
- La protezione dei device è fornita dal meccanismo di memoria virtuale
- posso usare direttamente tutte le istruzioni che accedono alla memoria (quindi è più veloce che usare IN, OUT)

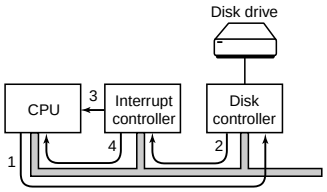
Ma:

- il caching della memoria può essere un problema
- il *probing* per trovare i dispositivi collegati diventa più difficile
- occorre programmare opportunamente il PCI bridge

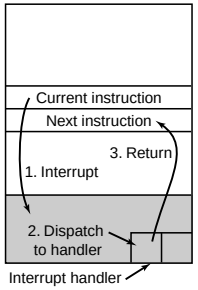
Il modello del kernel



Uso degli interrupt



(a)



(b)

1. Il SO manda una richiesta al controller
2. Quando i dati sono disponibili il controller manda un interrupt all'*interrupt controller*
3. L'IC manda un interrupt alla CPU
4. Il SO legge il numero del dispositivo sul bus

Lo scopo è *evitare il polling*

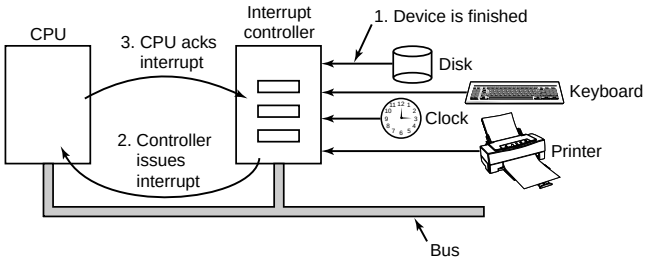
Interrupt Controller

Il numero del dispositivo è usato come indice in una tabella detta *interrupt vector*

Viene selezionato un interrupt handler

Lo handler restituisce un ACK all'Interrupt Controller

L'IC non manda un secondo interrupt fino a che non riceve l'ACK
$\Rightarrow$ si evitano race conditions



Le linee di interrupt sono incorporate nel backplane bus

Nel caso PCI abbiamo 16 IRQ connessi a due Programmable Interrupt Controller chip (PIC)

Esempio: il file /proc/pci

```
PCI devices found:
[...]
  Bus  0, device   7, function  2:
    USB Controller: Intel Corp. 82371AB PIIX4 USB (rev 1).
      IRQ 11.
      Master Capable.  Latency=32.
      I/O at 0x1480 [0x149f].
[...]
  Bus  0, device  18, function  0:
    Ethernet controller: Intel Corp. 82557 [Ethernet Pro 100] (rev 8).
      IRQ 11.
      Master Capable.  Latency=66.  Min Gnt=8.Max Lat=56.
      Non-prefetchable 32 bit memory at 0xf4100000 [0xf4100fff].
      I/O at 0x1440 [0x147f].
      Non-prefetchable 32 bit memory at 0xf4000000 [0xf40fffff].
[...]
```


Principi della gestione I/O (i)

Device indipendence

Il SW applicativo deve poter leggere dati da un floppy, da un disco IDE, un CD-ROM in maniera *trasparente*

Esempio: la shell di Unix

```
sort < pippo > pluto
```

Il programma "sort" vede due "file", uno di input e uno di output. Non sa a quali dispositivi siano connessi

Principio di Unix

Everything is a file

Principi della gestione I/O (ii)

Uniform naming

In Unix, il FS del floppy e del CD-ROM fanno parte di un singolo, unico file system

Blocking vs. non-blocking I/O

Dal punto di vista applicativo, l'I/O bloccante è più semplice

Dal punto di vista del SO, il polling è uno spreco di tempo

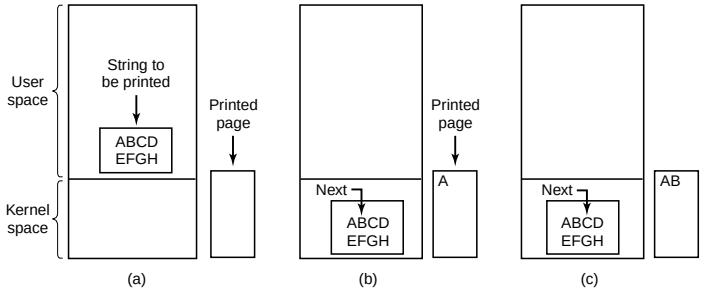
Compito del SO: rendere bloccanti le operazioni di I/O per i processi utente senza sprecare tempo

Buffering

Il SO deve leggere i dati che arrivano in tempo reale da un dispositivo veloce e salvarli in un buffer

Es. telecamere, schede di rete

Programmed I/O (i)



Passi necessari per stampare una stringa

Programmed I/O (ii)

```
copy_from_user(buffer, p, count);            /* copia dalla memoria
                                                utente in un buffer
                                                del kernel ‘‘p’’ */
for (i=0; i<count; i++) {
  while (*printer_status_register != READY)  /* aspetta che la
                                                stampante sia pronta */
    ;
  *printer_data_register = p[i];             /* stampa un carattere */
}
return_to_user();
```


Interrupt-driven I/O

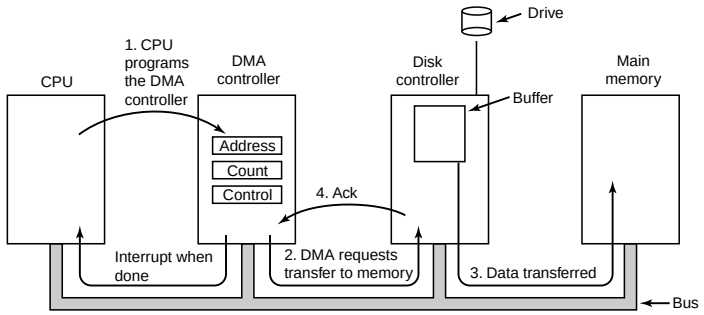
syscall

```
copy_from_user(buffer, p, count);
while (*printer_status_register
       != READY)
  /* wait */ ;
*printer_data_register = p[0];
current->status = BLOCKED;
schedule();
return_from_syscall();
```

interrupt handler

```
if (i == count) {
  unblock_user();
} else {
  *printer_data_register = p[i];
  i++;
}
acknowledge_interrupt();
return_from_interrupt();
```


Direct Memory Access (DMA)



I/O con DMA

syscall

```
copy_from_user(buffer, p, count);
setup_DMA();
current->status = BLOCKED;
schedule();
```

interrupt handler

```
acknowledge_interrupt();
unblock_user();
return_from_interrupt();
```


Strati di software nella gestione dell'I/O

0. User-level I/O software (ex. "stdio")
1. Device-independent OS software
2. Device drivers (ex. driver SCSI)
3. Interrupt handler (chiama una procedura all'interno del driver opportuno)
4. Hardware

Device drivers

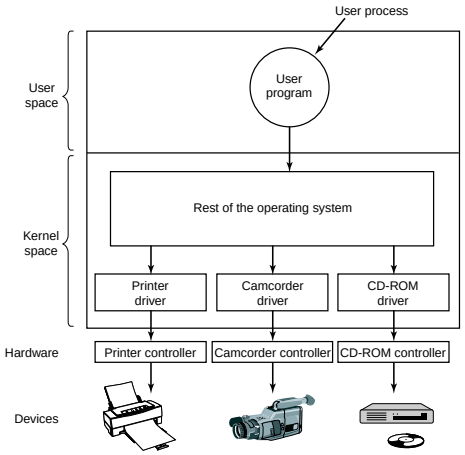
Dispositivi specializzati per la gestione di
- classi di dispositivi (es. SCSI)
- specifici dispositivi (es. ncr53c8xx)

Spesso sono realizzati da terze parti

Eseguono in modo kernel

Si interfacciano al kernel per mezzo di *interfacce standard*

In Unix, abbiamo due interfacce:
- block drivers
- character drivers



Installazione dei driver

In Unix tradizionale: sono linkati staticamente al kernel

In Linux: i *moduli* possono essere installati dinamicamente

quindi posso evitare il reboot!

lista dei moduli caricati: comando `lsmod`, oppure `cat /proc/modules`

```
$ cat /proc/modules
ds                      6624   1
i82365                 22416   1
pcmcia_core            40896   0 [ds i82365]
eepro100               17264   1
esssolo1               25504   1
gameport                1308   0 [esssolo1]
soundcore               3236   4 [esssolo1]
usbserial              17888   0 (unused)
usb-uhci               20708   0 (unused)
usbcore                48000   0 [usbserial usb-uhci]
apm                     9148   3
```


In Unix

I driver sono divisi in due categorie: *block* o *character*

Ciascun driver è identificato dal *tipo* (c o b) e un *major number* 0-255

Ciascun dispositivo gestito da un certo driver è identificato da un *minor number* 0-255

La mappa dei major e minor number di Linux si trova in Documentation/devices.txt

Esempio da Documentation/devices.txt

```
4 char        TTY devices
                0 = /dev/tty0         Current virtual console

                1 = /dev/tty1         First virtual console
                ...
               63 = /dev/tty63        63rd virtual console
               64 = /dev/ttyS0        First UART serial port
                ...
              255 = /dev/ttyS191      192nd UART serial port
```


Special files in Unix

Ciascun dispositivo può essere associato a un file detto *special file*

Es. /dev/fd0 è associato al primo floppy disk

Quindi posso comunicare "direttamente" col dispositivo

(in realtà comunico con il driver)

```
$ ls -l /dev/tty1
crwx-w----    1 matteo   tty        4,   1 Apr 28 10:53 /dev/tty1
```

Il comando mknod(1)

`mknod [options] name {bc} major minor`

make block or character special files

A special file is a triple (boolean, integer, integer) stored in the filesystem. The boolean chooses between character special file and block special file. The two integers are the major and minor device number. — manuale di mknod(1)

I file speciali non si possono creare con `open(2)`

Il comando mknod(1) usa la syscall mknod(2)

Alcuni file speciali "buffi"

```
crw-rw-rw-    1 root     sys        1,   3 Jul 18  1994 /dev/null
crw-rw-rw-    1 root     sys        1,   5 Jul 18  1994 /dev/zero
```

Il driver per il dispositivo "memoria" (da Documentation/devices.txt)

```
1 char   Memory devices
           1 = /dev/mem          Physical memory access
           2 = /dev/kmem         Kernel virtual memory access
           3 = /dev/null         Null device
           4 = /dev/port         I/O port access
           5 = /dev/zero         Null byte source
           6 = /dev/core         OBSOLETE - replaced by /proc/kcore
           7 = /dev/full         Returns ENOSPC on write
           8 = /dev/random       Nondeterministic random number gen.
           9 = /dev/urandom      Faster, less secure random number gen.
          10 = /dev/aio          Asyncronous I/O notification interface
```


In che cosa consiste un device driver

Un device driver è *un insieme di procedure*

(Se vogliamo, è l'implementazione di un "interfaccia" nel senso di Java)

Per ogni operazione che posso fare su un file, c'è una corrispondente procedura nel driver

Device	Open	Close	Read	Write	Ioctl	Other
Null	null	null	null	null	null	...
Memory	null	null	mem_read	mem_write	null	...
Keyboard	k_open	k_close	k_read	error	k_ioctl	...
Tty	tty_open	tty_close	tty_read	tty_write	tty_ioctl	...
Printer	lp_open	lp_close	error	lp_write	lp_ioctl	...