(Cap. 5 Modern Operating Systems)

Input/Output

1 Princípios de hw de I/O
2 Princípios de sw de I/O
3 Camadas de sw de I/O
4 Discos
5 Relógio
6 Terminais orientados a caracteres
7 Interfaces gráficas
8 Terminais de rede
9 Gestão de consumo de energia

Princípios de hw de I/O

Device	Data rate
Keyboard	10 bytes/sec
Mouse	100 bytes/sec
56K modem	7 KB/sec
Telephone channel	8 KB/sec
Dual ISDN lines	16 KB/sec
Laser printer	100 KB/sec
Scanner	400 KB/sec
Classic Ethernet	1.25 MB/sec
USB (Universal Serial Bus)	1.5 MB/sec
Digital camcorder	4 MB/sec
IDE disk	5 MB/sec
40x CD-ROM	6 MB/sec
Fast Ethernet	12.5 MB/sec
ISA bus	16.7 MB/sec
EIDE (ATA-2) disk	16.7 MB/sec
FireWire (IEEE 1394)	50 MB/sec
XGA Monitor	60 MB/sec
SONET OC-12 network	78 MB/sec
SCSI Ultra 2 disk	80 MB/sec
Gigabit Ethernet	125 MB/sec
Ultrium tape	320 MB/sec
PCI bus	528 MB/sec
Sun Gigaplane XB backplane	20 GB/sec

Taxa de acesso de alguns dispositivos típicos

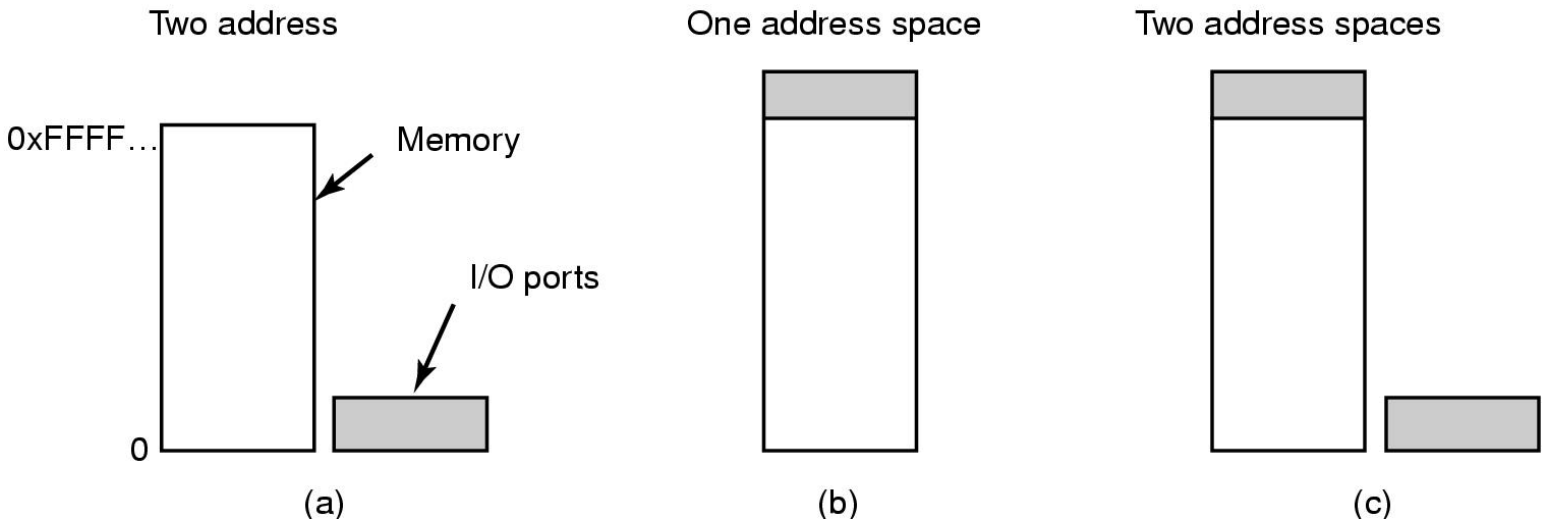
Controladores de dispositivos (device controllers)

- Componentes de um dispositivo de I/O
  - mecânico
  - eletrônico
- O componente eletrônico é o controlador do dispositivo
  - Pode gerir múltiplos dispositivos
- Tarefas do controlador
  - Converter sequencia de bits para blocos de bytes
  - Executar correção de erro, se necessário
  - Disponibilizar os dados em memória principal

Controladores de dispositivos (device controllers)

- Um dispositivo (device) comunica-se com um computador através de um ponto de conexão: **portas (I/O ports)**
- Uma porta de I/O pode ser serial ou paralela e, normalmente, consiste de 4 registradores:
  - Data-in: lido pelo controlador
  - Data-out: escrito pelo controlador
  - Status
  - Control: enviar comandos ou mudar o estado ou modo de um dispositivo (por exemplo, verificação de paridade, tamanho da palavra etc)

Memory-Mapped I/O (1)

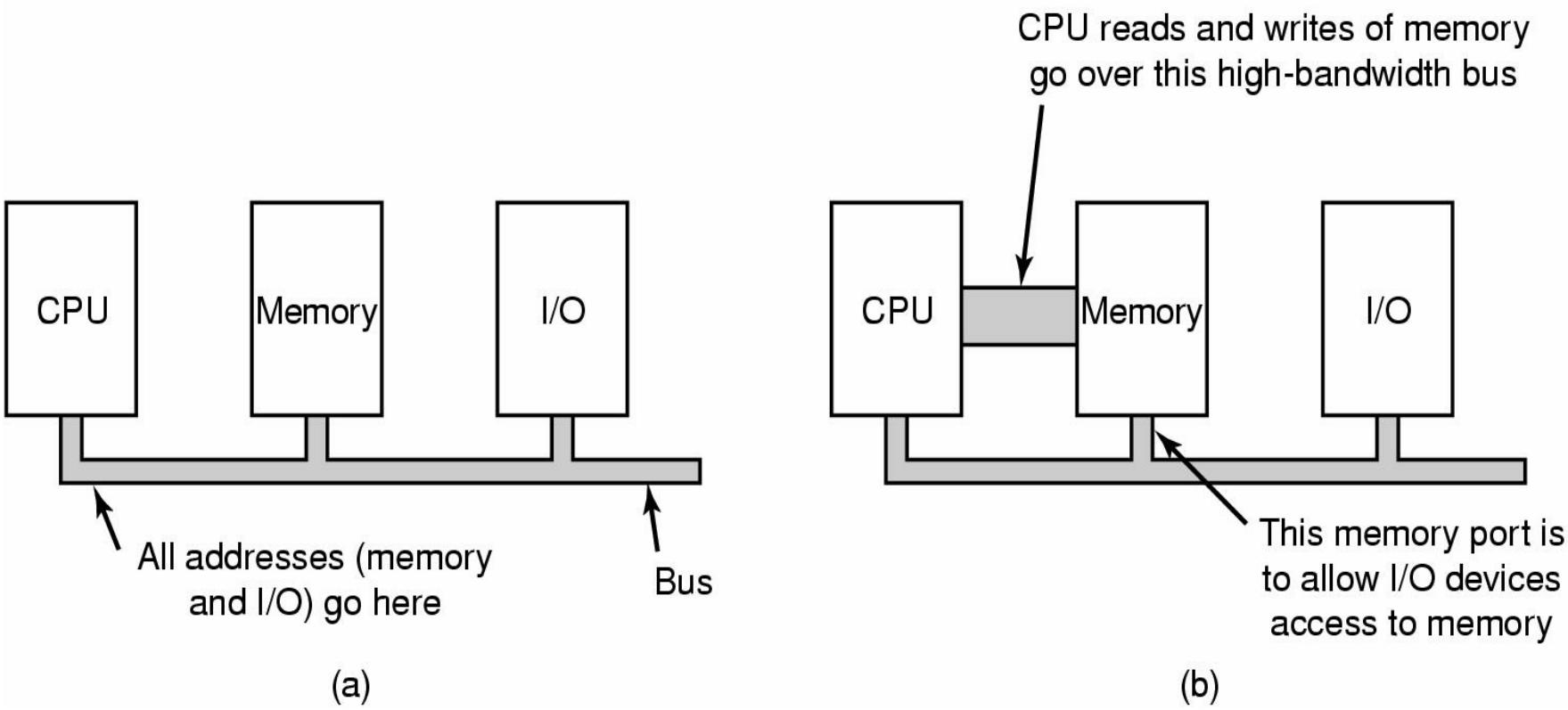


- (a) Espaço de I/O e memória separados
- (b) Memory-mapped I/O
- (c) Híbrido (pe: controlador de placas gráficas)

Memory-Mapped I/O (2)

- Espaço de I/O e memória separados requer instruções especiais para I/O: IN and OUT, que não acedem a memória e, sim, o espaço de I/O.
- Portanto, código para device drivers precisa ser escrito em "assembly"
- `MOV R0,4` ≠ `IN R0,4`

Memory-Mapped I/O (3)



(a) Arquitetura com barramento único

(b) Arquitetura com barramento duplo

Memory-Mapped I/O (4)

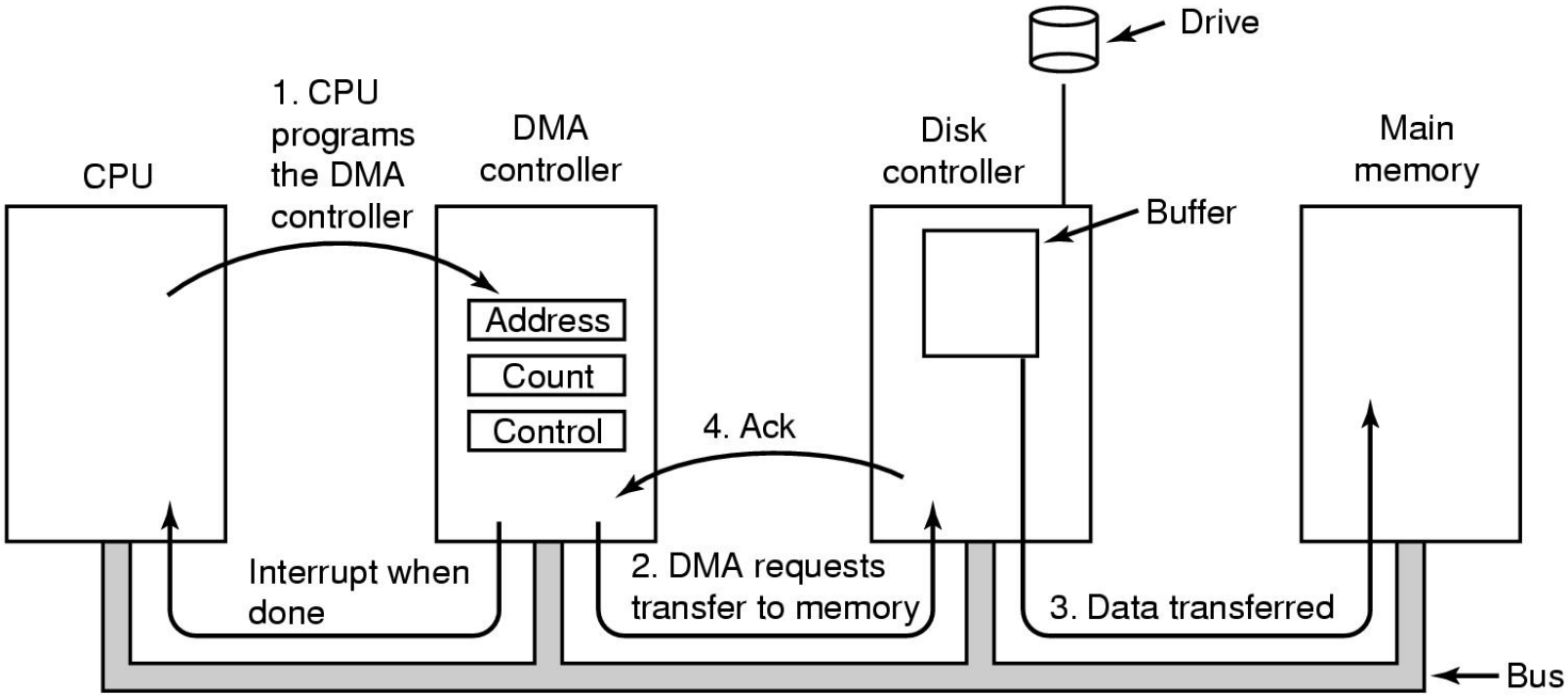
- Vantagens:
  - Registradores de controle são apenas variáveis em memória
  - Device driver pode ser escrito normalmente em C e não precisa de código "assembly"
- Desvantagens:
  - Execução errônea na presença de "caching"

```
Loop:   TEST PORT_4  // check if port 4 is 0
        BEQ Ready    // if it is 0, goto Ready
        BRANCH Loop // otherwise, cont testing
Ready: .....
```

Memory-Mapped I/O (5)

- Solução:
  - Desabilitar caching...
  - Mas adiciona complexidade extra no hw e sw
- Outra Desvantagem:
  - Em sistemas que utilizam arquitetura com memória com duplo barramento (que é comum nos procs hoje em dia), dispositivos não vêem os endereços colocados no barramento extra.
- Solução: ordenar acessos enviando primeiro todos os endereços para a memória. Se a memória não responder, enviar para outros barramentos.

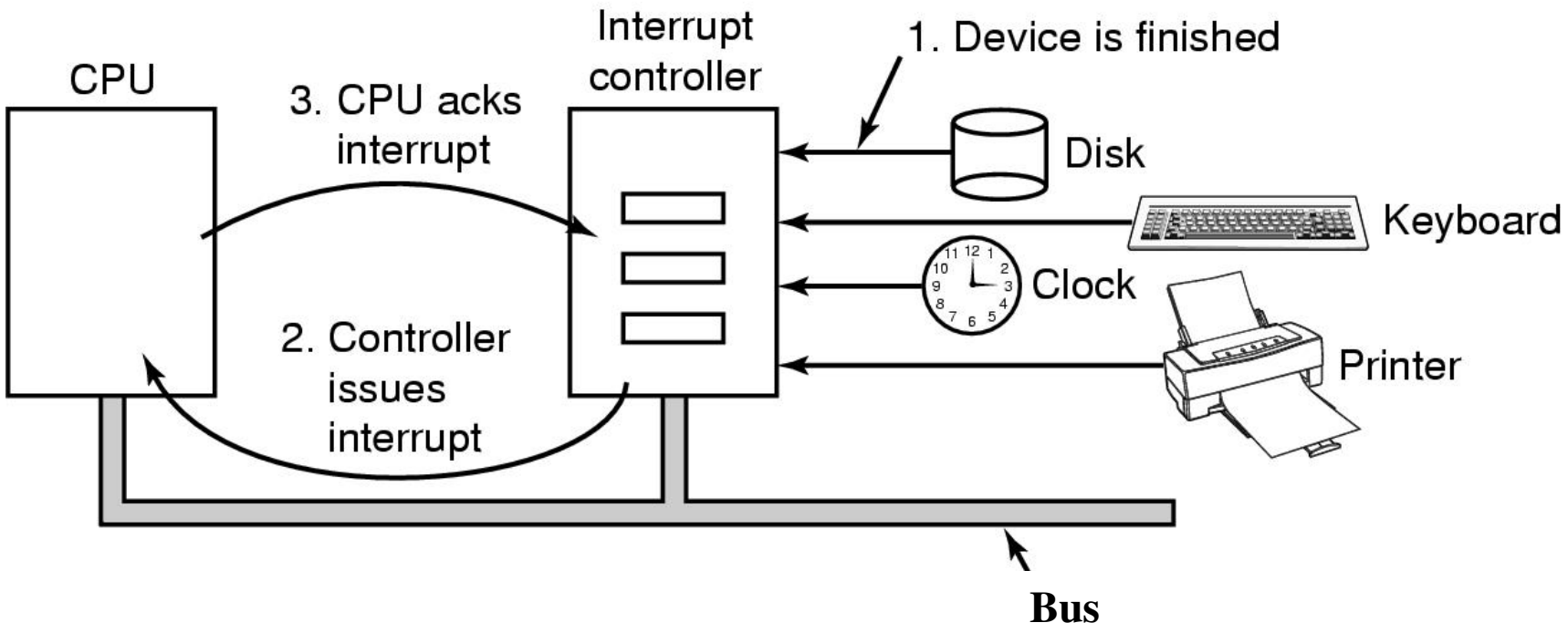
Direct Memory Access (DMA)



Cpu uses read or write control lines, data lines to communicate address of the I/O device and the starting location in memory to read from or write to, number of words to be read or written via the data lines and stored in the Count register

Transferência via controlador DMA

Revisão de Interrupções



Como ocorre uma inerrupção? Conexões entre os dispositivos e o controlador de interrupções utilizam linhas de interrupção no barramento invés de linhas dedicadas.

Princípios de sw de I/O
Objetivos (1)

- Independência do dispositivo
  - programas deveriam poder aceder qualquer dispositivo de I/O
  - Sem precisar especificar o dispositivo
    - (floppy, hard drive, or CD-ROM)
  - Pe: sort < input > output
- Uniform naming
  - nome de ficheiro ou dispositivo: string ou inteiro
  - Nao dependente de máquina
- Manipulação de erros
  - Tão próximo do hw quanto possível

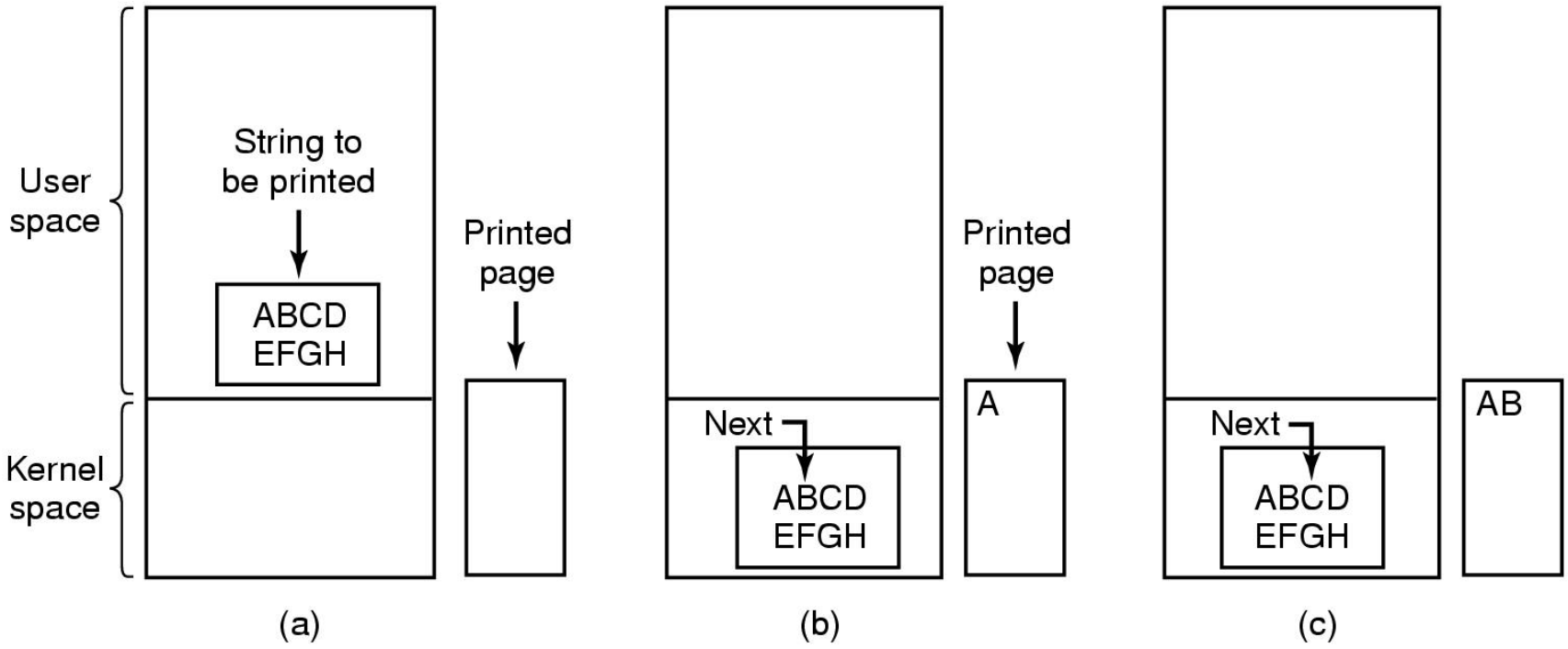
Princípios de sw de I/O
Objetivos (2)

- Transf síncronas vs. assíncronas
  - blocking vs. interrupt-driven
- Buffering
  - Dados que vêm do dispositivo não podem ser armazenados no destino final sem uma inspeção prévia
- Dispositivos compartilháveis vs. dedicados
  - Discos são compartilháveis
  - Fitas não são compartilháveis

Princípios de sw de I/O (3)

- 3 formas de executar I/O
  - I/O programado (programmed I/O)
  - Interrupt-driven
  - Utilização de DMA

Programmed I/O (1)



Passos para imprimir uma string: CPU faz todo o trabalho

Programmed I/O (2)

```
copy_from_user(buffer, p, count);                /* p is the kernel bufer */
for (i = 0; i < count; i++) {                    /* loop on every character */
      while (*printer_status_reg != READY) ;     /* loop until ready */
      *printer_data_register = p[i];             /* output one character */
}
return_to_user( );
```

Imprimindo uma string usando programmed I/O

Interrupt-Driven I/O

```
copy_from_user(buffer, p, count);
enable_interrupts( );
while (*printer_status_reg != READY) ;
*printer_data_register = p[0];
scheduler( );
```

(a)

```
if (count == 0) {
    unblock_user( );
} else {
    *printer_data_register = p[i];
    count = count – 1;
     i = i + 1;
}
acknowledge_interrupt( );
return_from_interrupt( );
```

(b)

- Imprimindo uma string usando interrupt-driven I/O
  - (a) Código executado quando a chamada de sistema para imprimir é feita
  - (b) Procedimento de serviço de interrupção

I/O Using DMA

```
copy_from_user(buffer, p, count);
set_up_DMA_controller( );
scheduler( );
```

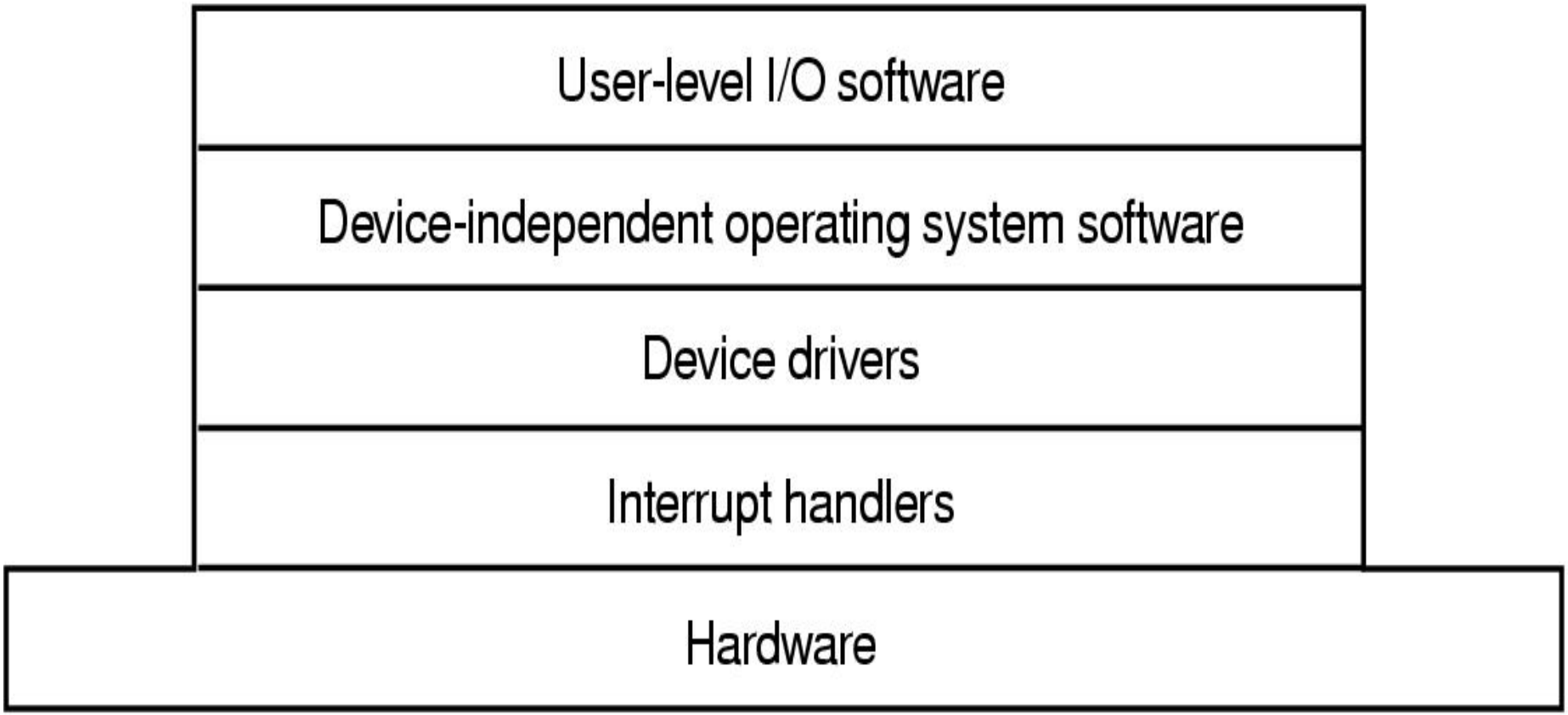
(a)

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

(b)

- Programmed I/O, onde DMA faz todo o trabalho
- Imprimindo usando DMA
  - (a) código executado quando a chamada de sistema é feita
  - Procedimento de serviço de interrupçoes

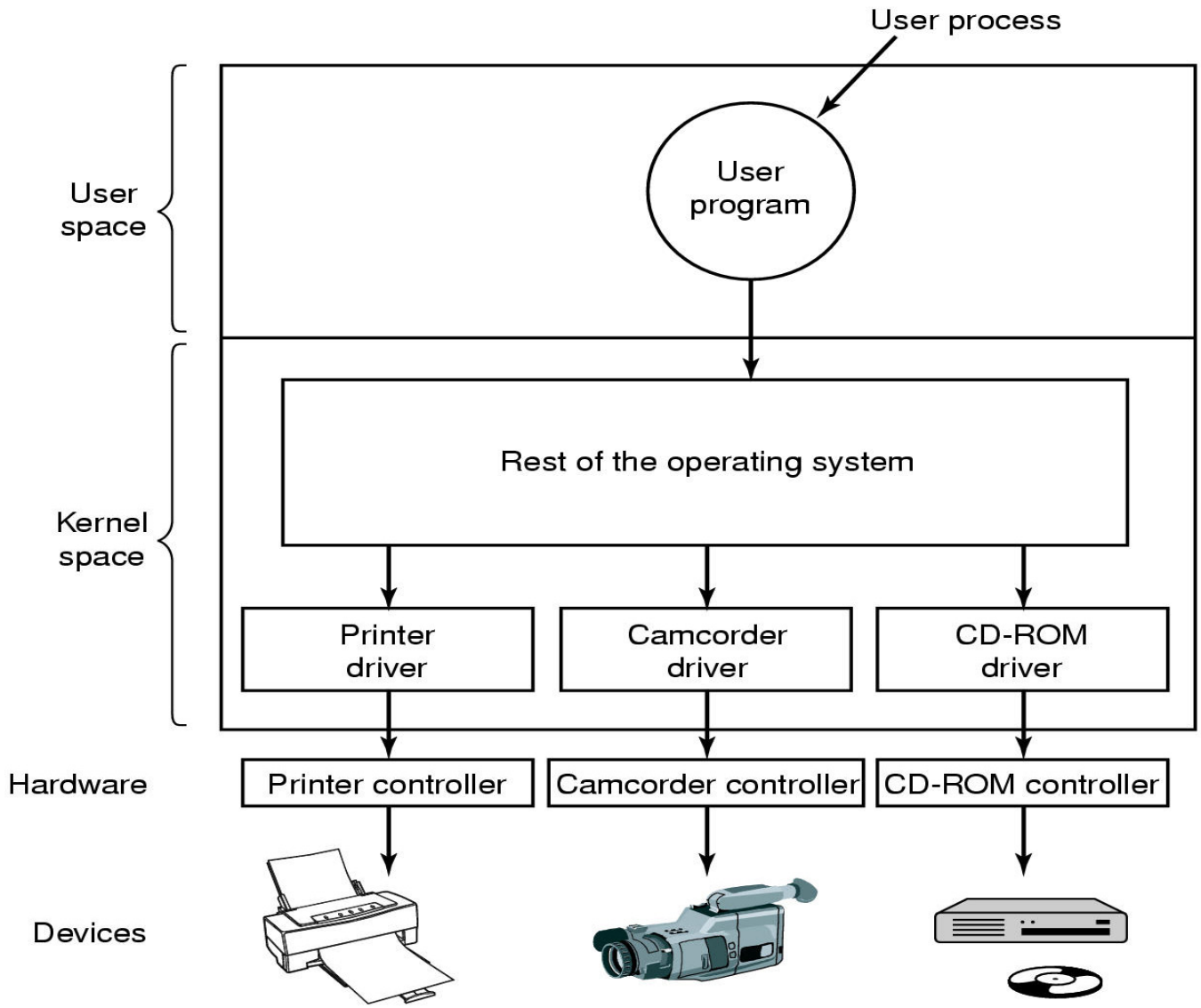
Camadas de sw de I/O



Interrupt Handlers (1)

- Passos que devem ser executados em sw após a interrupção
  1. Guardar regs ainda não guardados pelo hw de interrupção
  2. Preparar contexto para o serviço de interrupção
  3. Preparar pilha para o serviço de interrupção
  4. Ack controlador de interrupções, re-habilitar interrupções
  5. Copiar registos de onde foram salvos para a tabela do processo
  6. Executar o serviço de interrupção
  7. Preparar o contexto da MMU para o próximo processo
  8. Carregar registos do novo processo
  9. Iniciar novo processo

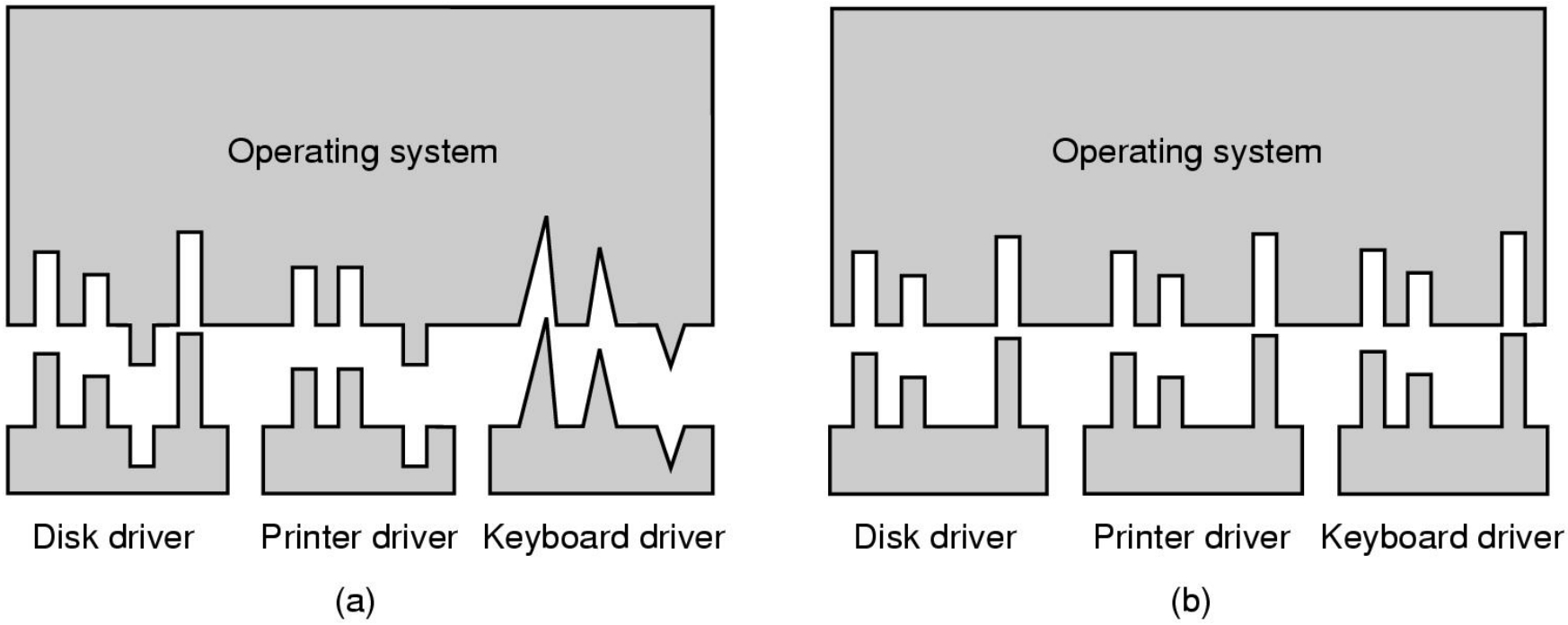
Device Drivers



Funções do sw de I/O (1)

Uniform interfacing for device drivers
Buffering
Error reporting
Allocating and releasing dedicated devices
Providing a device-independent block size

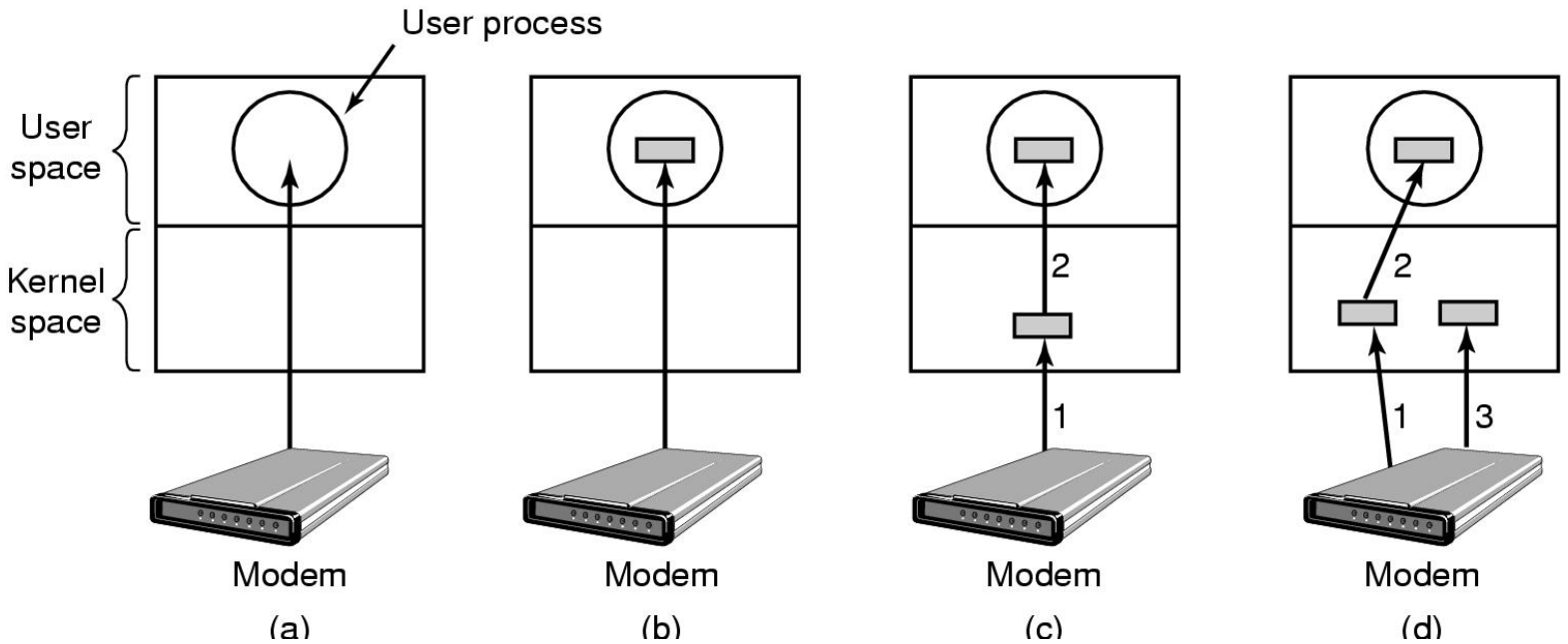
Sw de I/O independente do dispositivo (2)



(a) Driver sem uma interface padrão

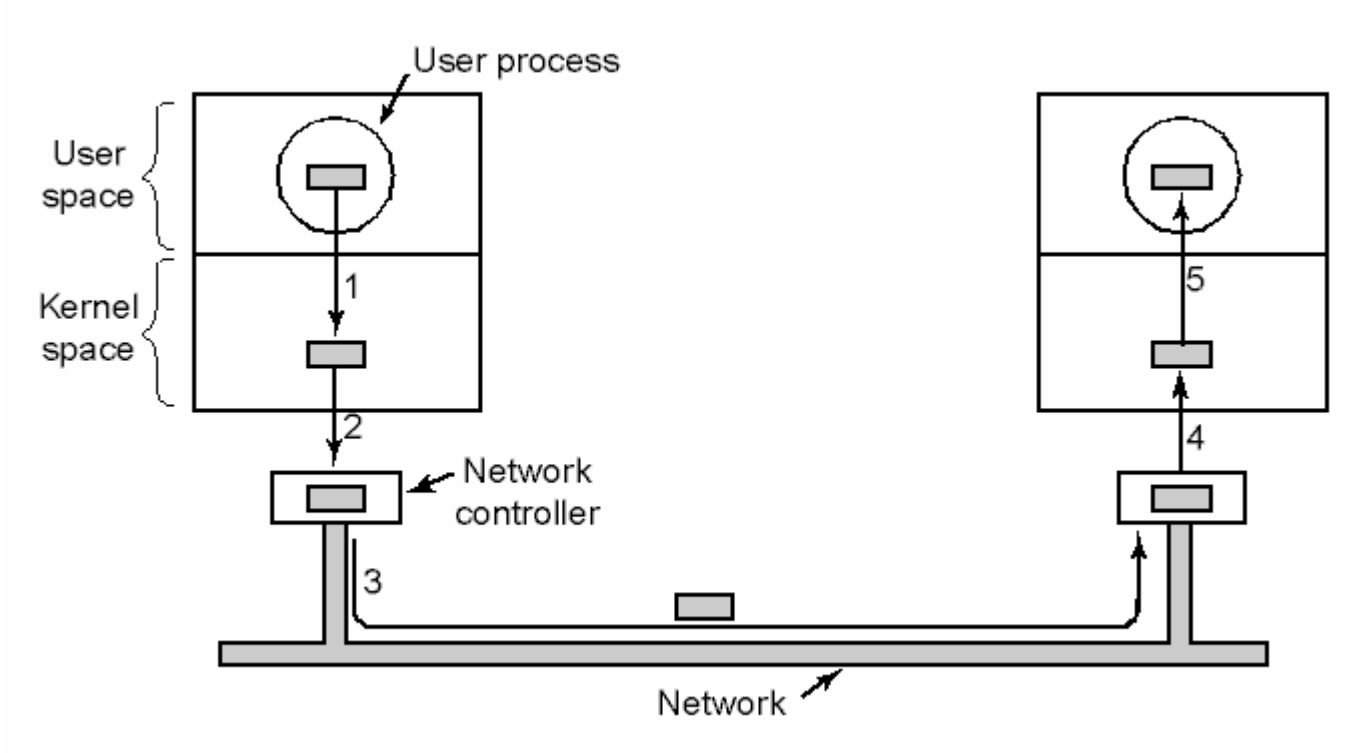
(b) Driver com uma interface padrão

Eficiência com a utilização de buffers (1)



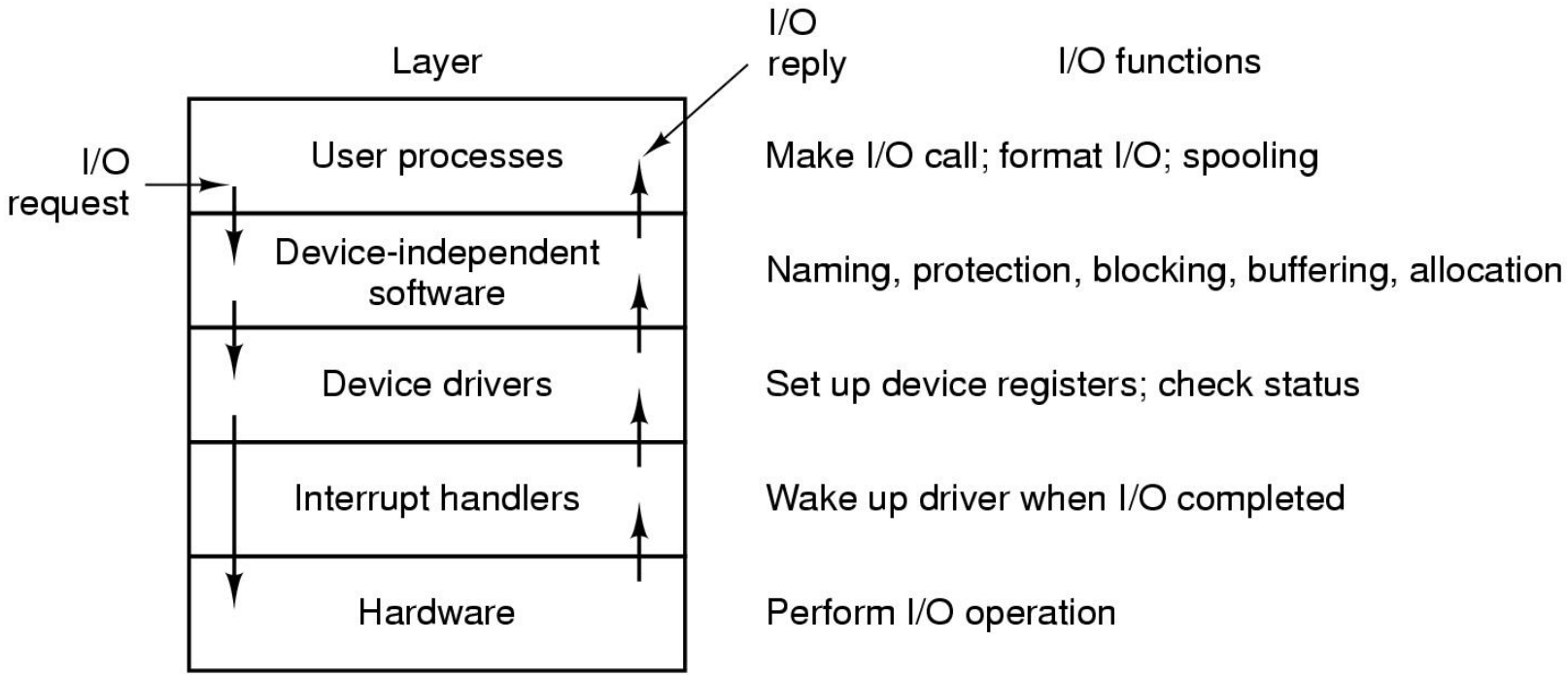
(a) Unbuffered input
(b) Buffering in user space
(c) Buffering in the kernel followed by copying to user space
(d) Double buffering in the kernel

Eficiência com a utilização de buffers (2)



Operações em rede podem envolver muitas cópias

Sw de I/O em espaço do utilizador



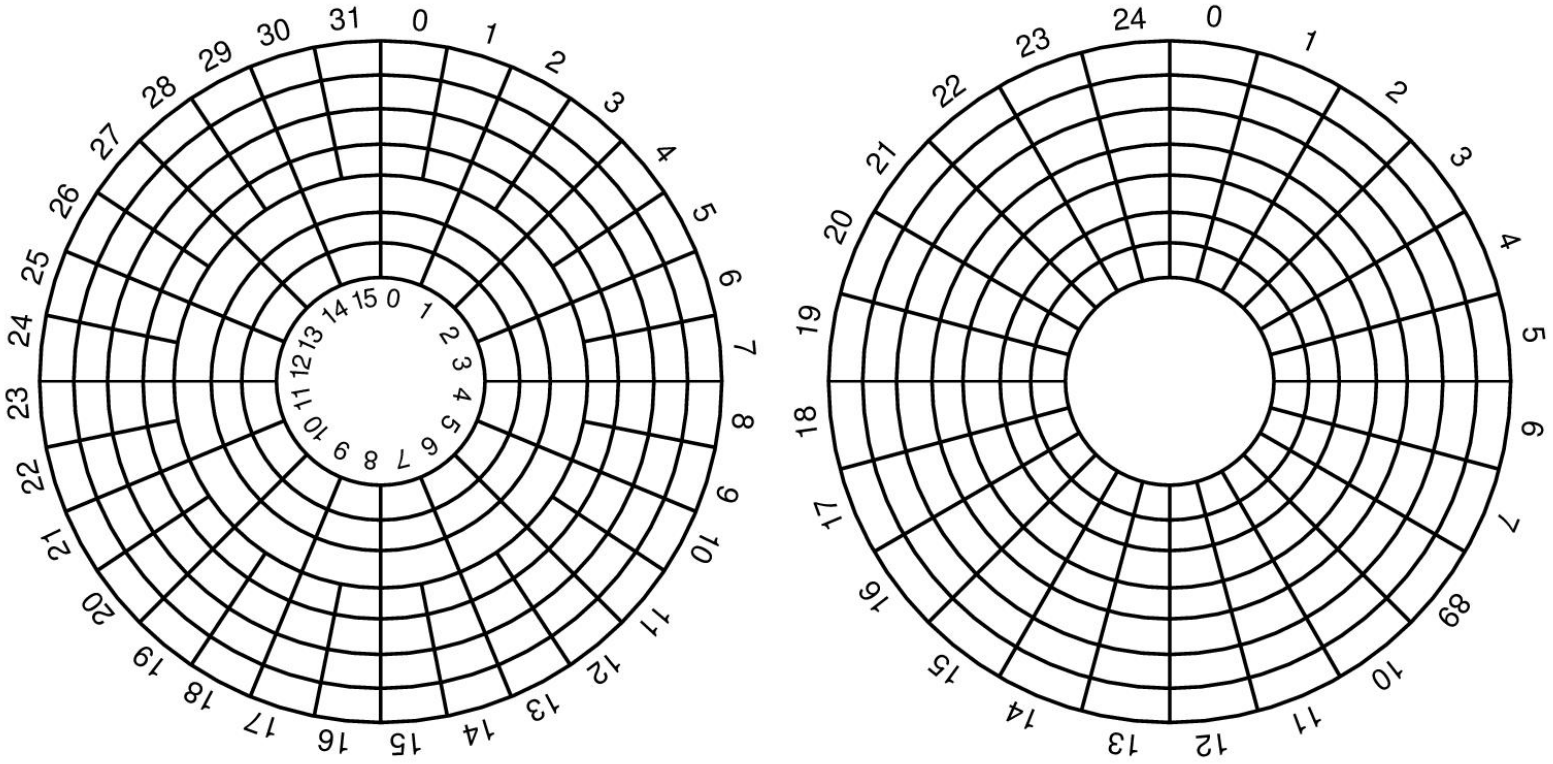
Camadas de sw e suas funções (pe: printf)

Discos

Parameter	IBM 360-KB floppy disk	WD 18300 hard disk
Number of cylinders	40	10601
Tracks per cylinder	2	12
Sectors per track	9	281 (avg)
Sectors per disk	720	35742000
Bytes per sector	512	512
Disk capacity	360 KB	18.3 GB
Seek time (adjacent cylinders)	6 msec	0.8 msec
Seek time (average case)	77 msec	6.9 msec
Rotation time	200 msec	8.33 msec
Motor stop/start time	250 msec	20 sec
Time to transfer 1 sector	22 msec	17 µsec

Evolução de parms de disco (original IBM PC floppy disk e um Western Digital WD 18300)

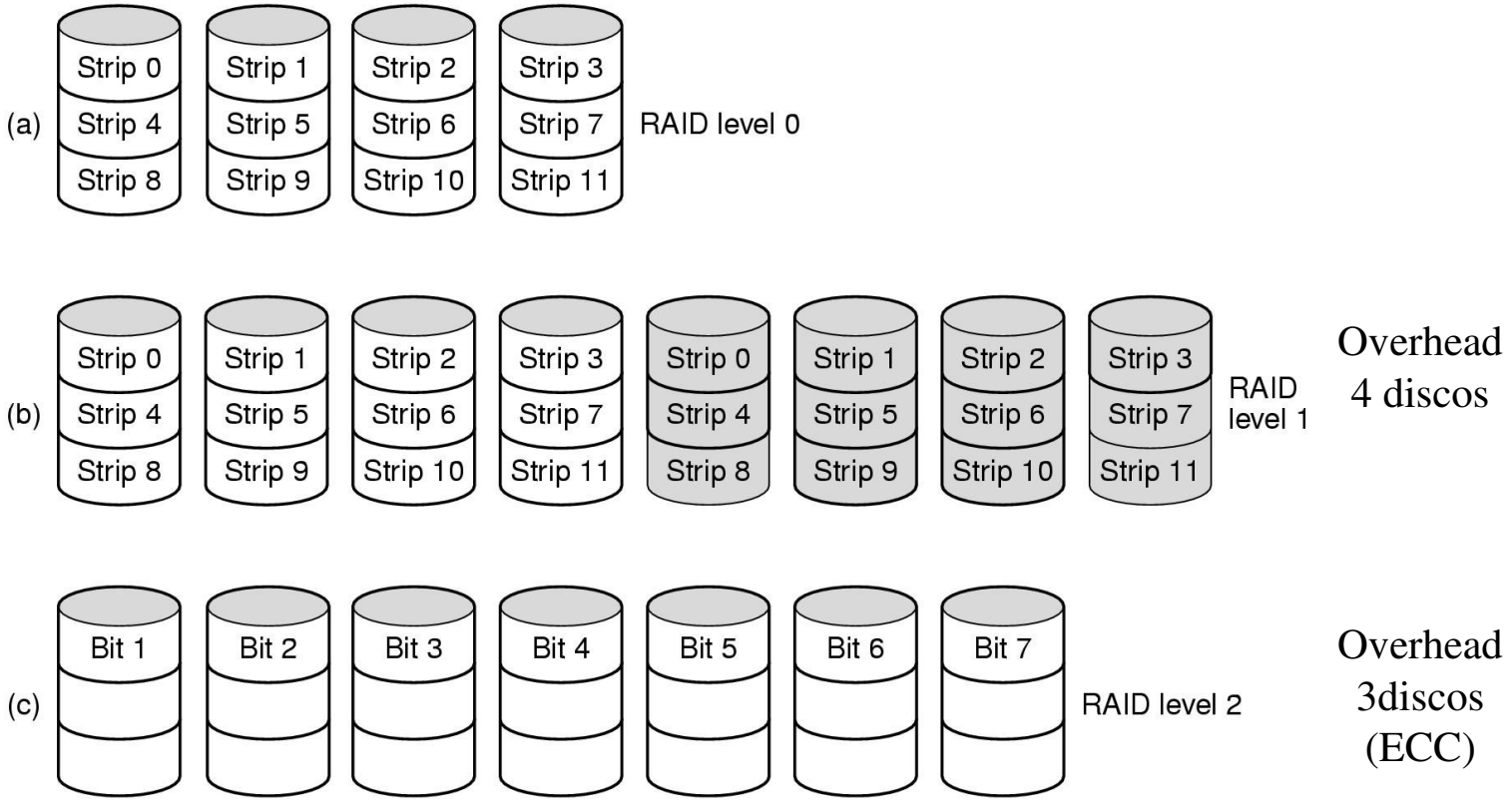
Hw de discos



- Geometria física de um disco com 2 zonas
- Possível geometria virtual apresentada ao SO

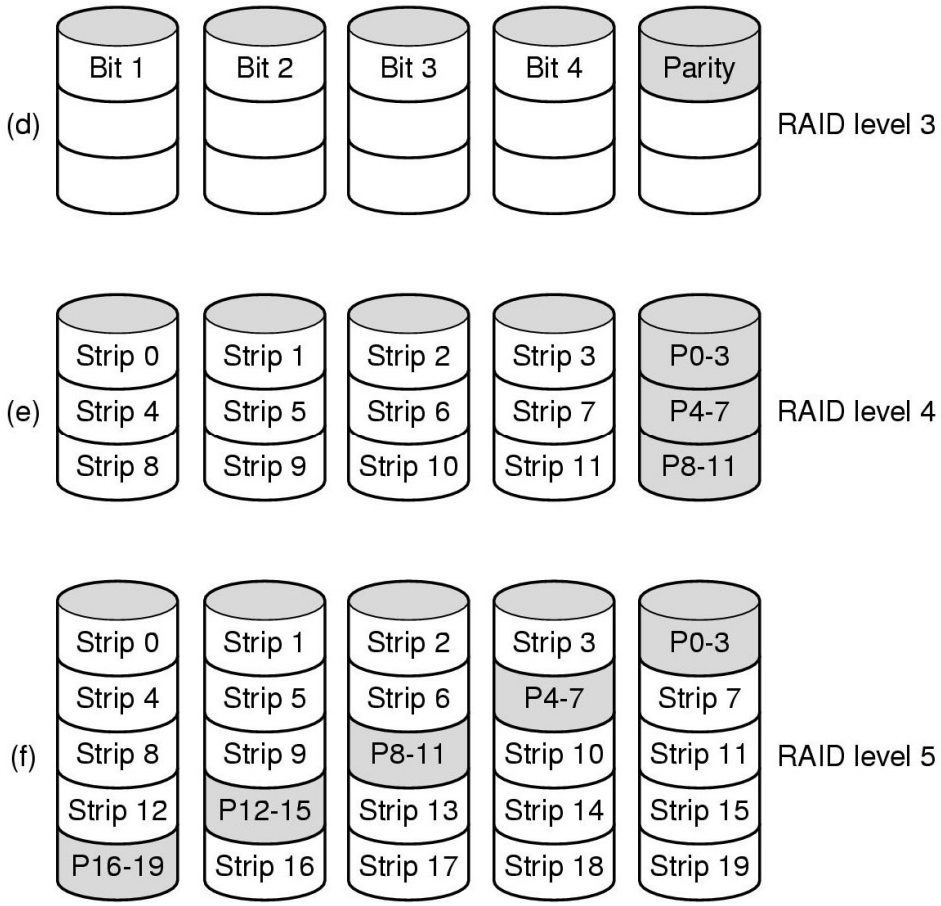
Hw de discos

Redundant Array of Independent/Inexpensive Disks (RAID)



- Raid níveis 0 a 2
- Backup e drives de paridade em cinzento

Hw de discos

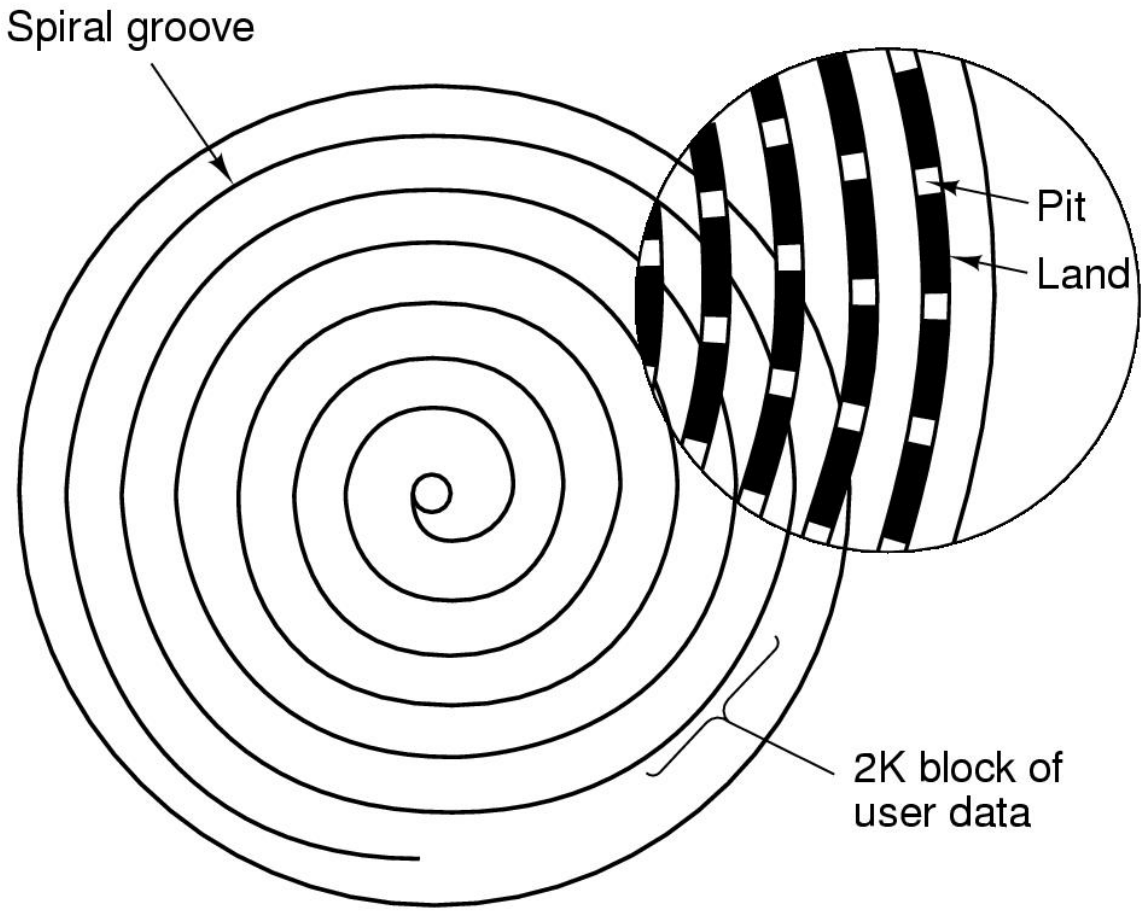


- Raid levels 3 through 5
- Backup and parity drives are shaded

RAID

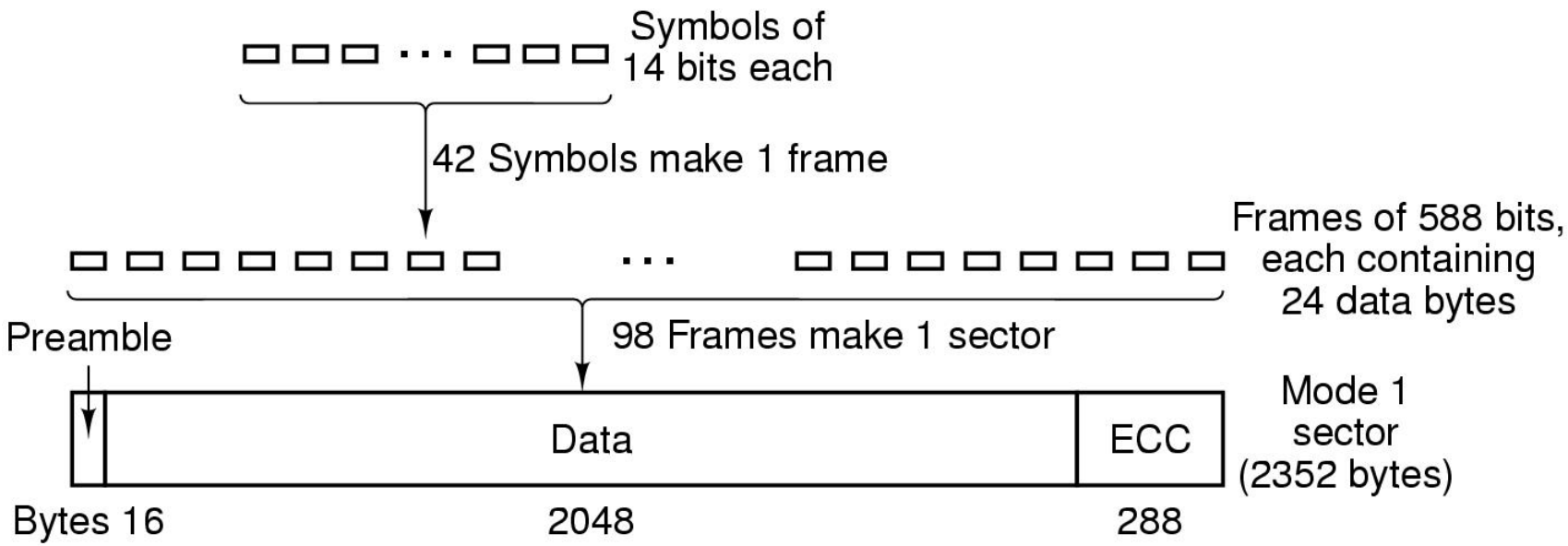
- Ganho de desempenho no acesso.
- Redundância em caso de falha em um dos discos.
- Uso múltiplo de várias unidades de discos.
- Facilidade em recuperação de conteúdo "perdido".

Hw de discos



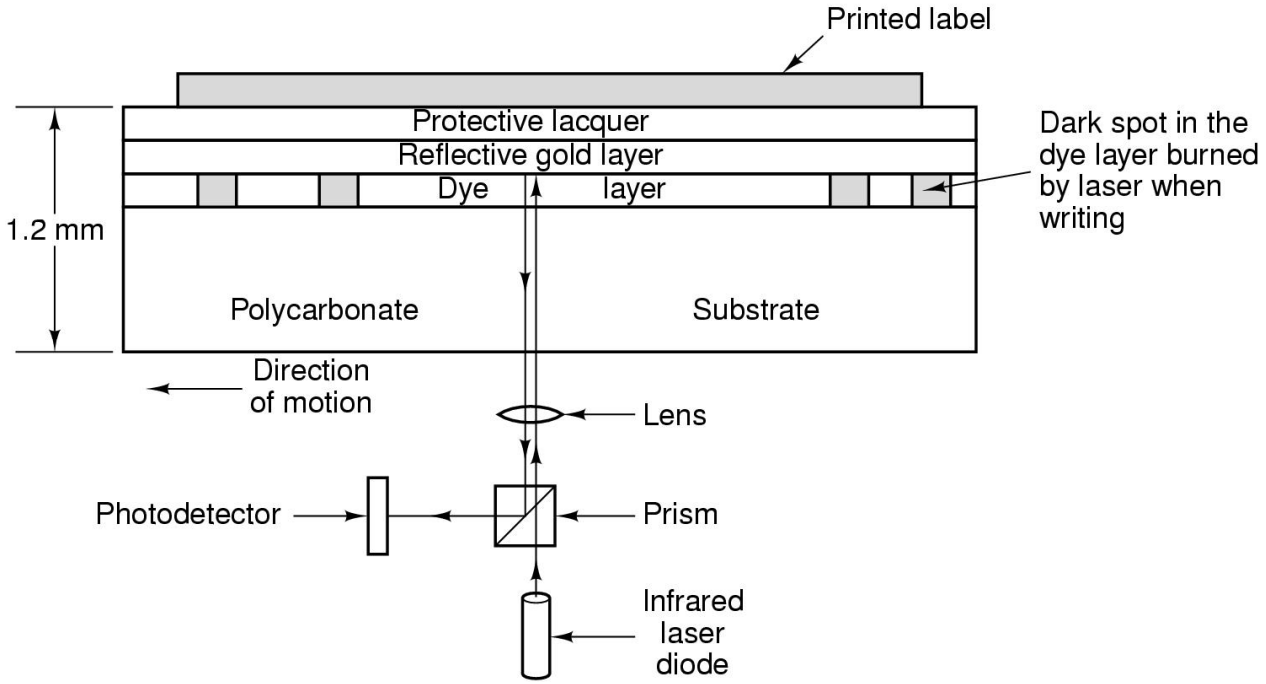
Superfície de gravação de um CD ou CD-ROM

Hw de discos



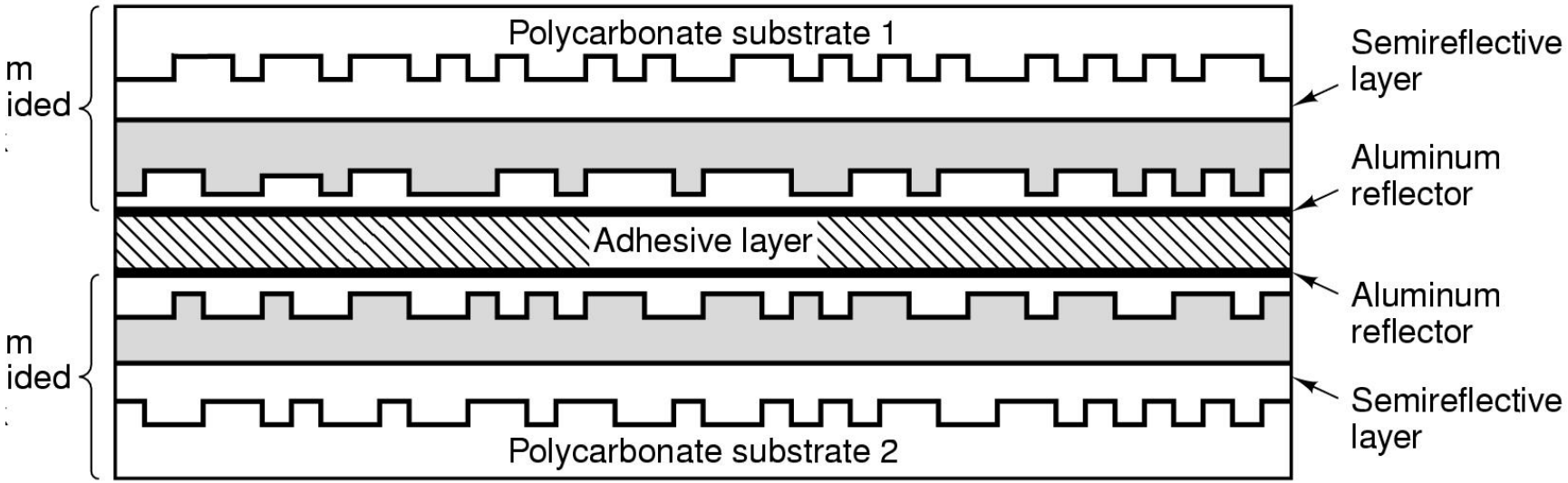
Layout lógico de dados em um CD-ROM

Hw de discos



- Cross section of a CD-R disk and laser
  - Não está em escala real
- Silver CD-ROM has similar structure
  - without dye layer
  - with pitted aluminum layer instead of gold

Hw de discos

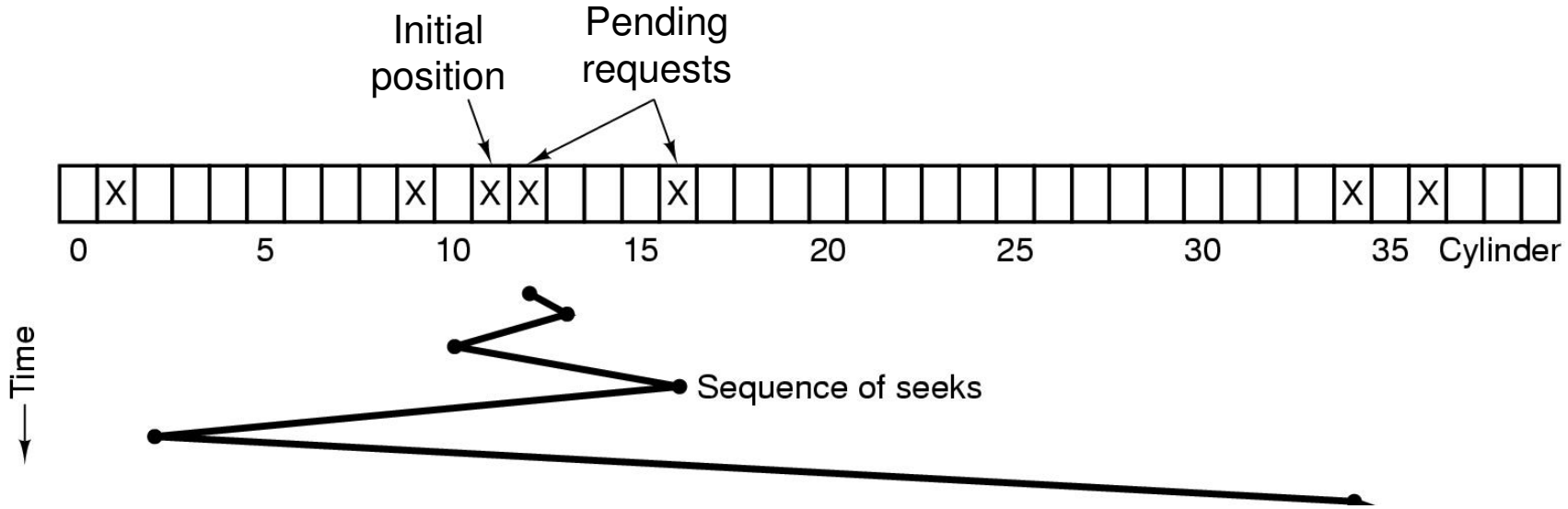


Um DVD de dupla face e camada dupla

Algoritmos de escalonamento (1)

- Tempo para leitura ou escrita de um bloco de disco é determinado por 3 fatores:
  1. Seek time
  2. Rotational delay
  3. Actual transfer time
- Seek time é dominante
- Verfificação de erros é feita pelo controlador

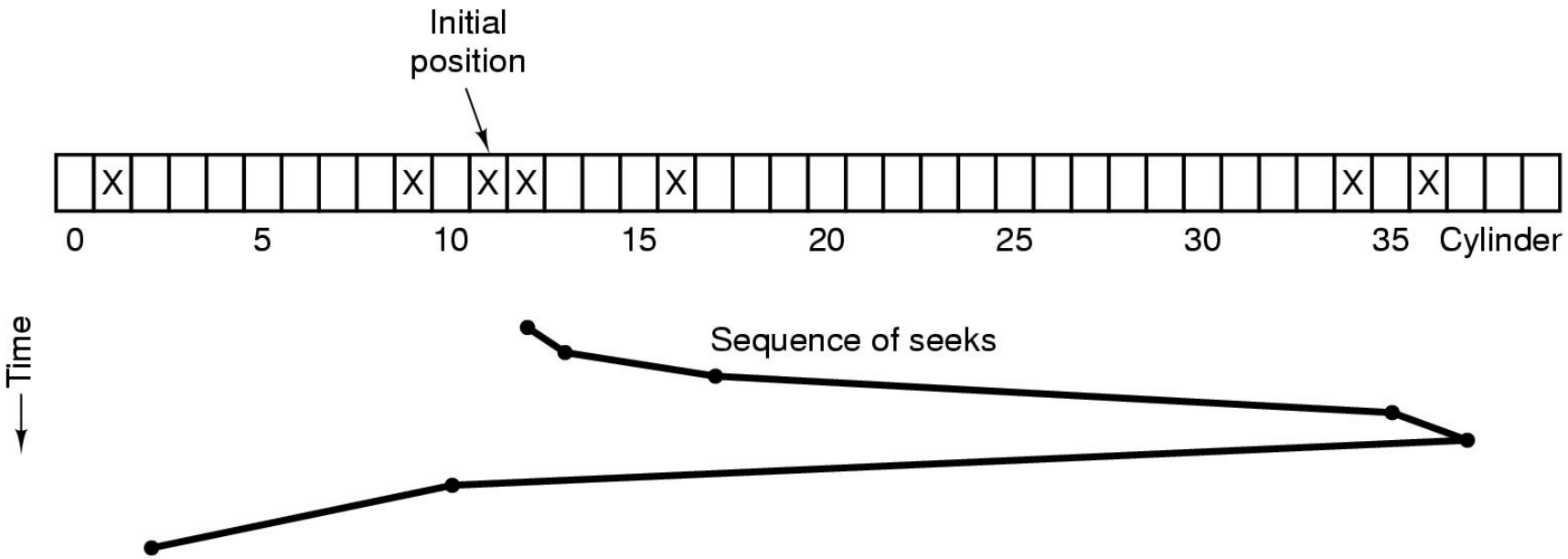
Algoritmos de escalonamento (2)



Shortest Seek First (SSF)

Eqto no cilindro 11, chegam requisições para os cilindros:
1, 36, 16, 34, 9, 12

Algoritmos de escalonamento (3)

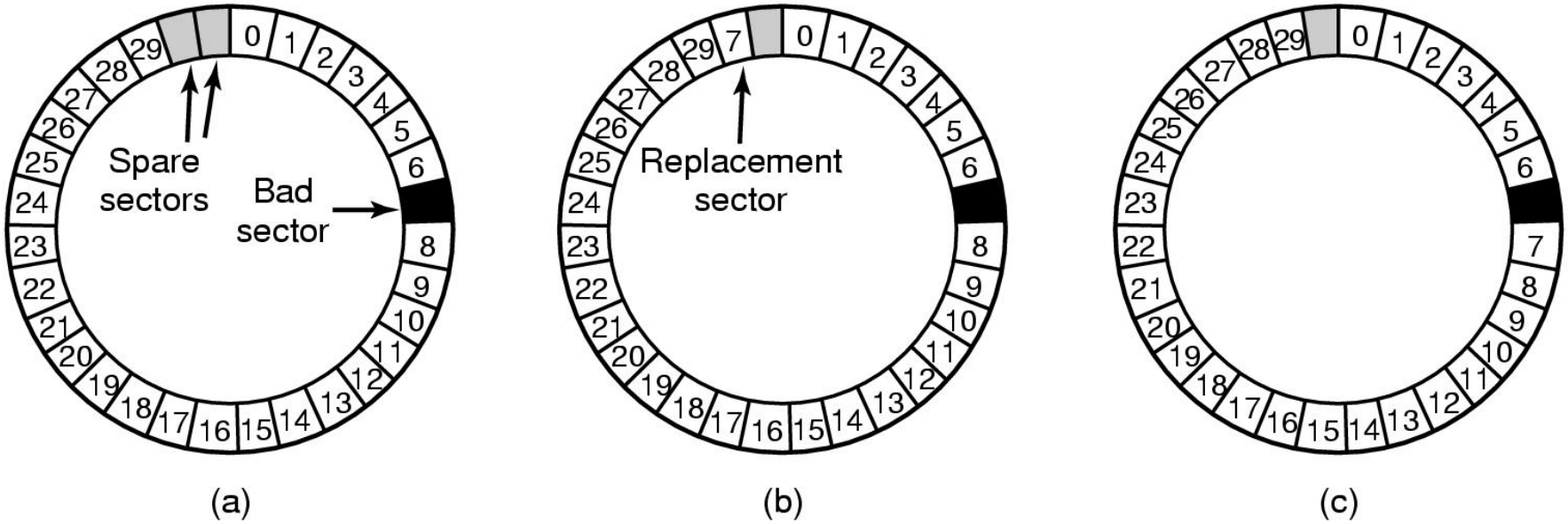


Algoritmo do “elevador”

Algoritmos de escalonamento (4)

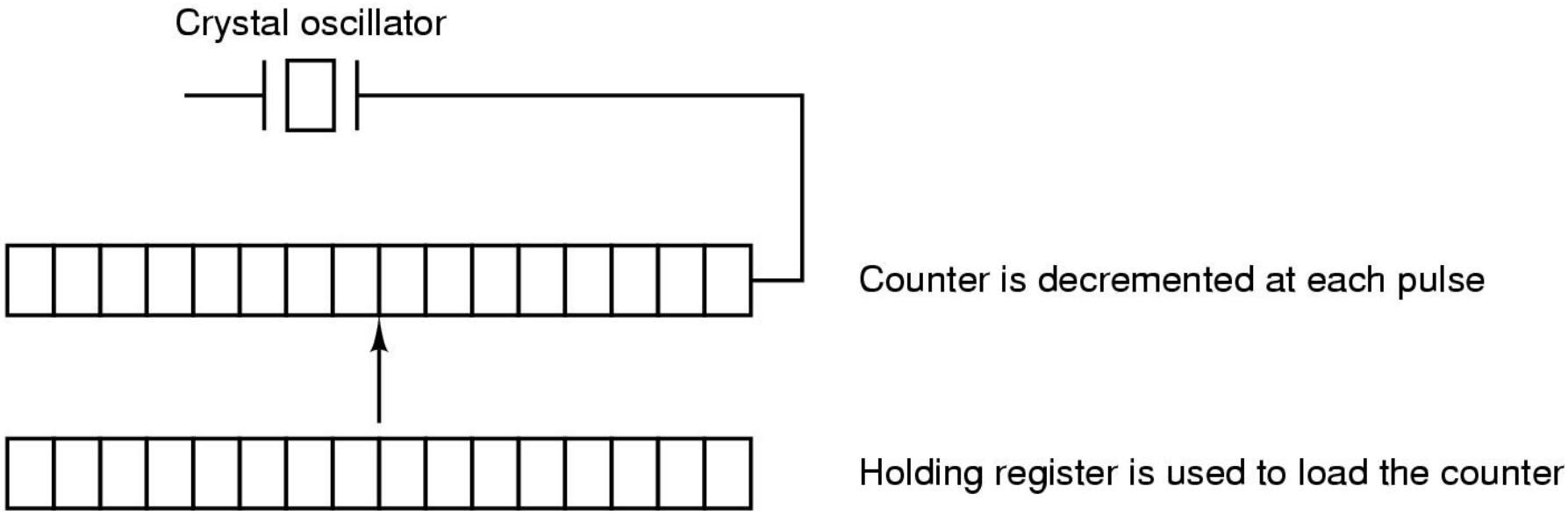
- Desempenho (nº de movimentos):
  - FCFS: 111 cilindros
  - SSF: 61 cilindros
  - Elevador: 60 cilindros
- Elevador normalmente pior, mas tem a propriedade de estabelecer um "upper-bound" para número máximo de movimentos (2 x total de cilindros)

Manipulação de erros



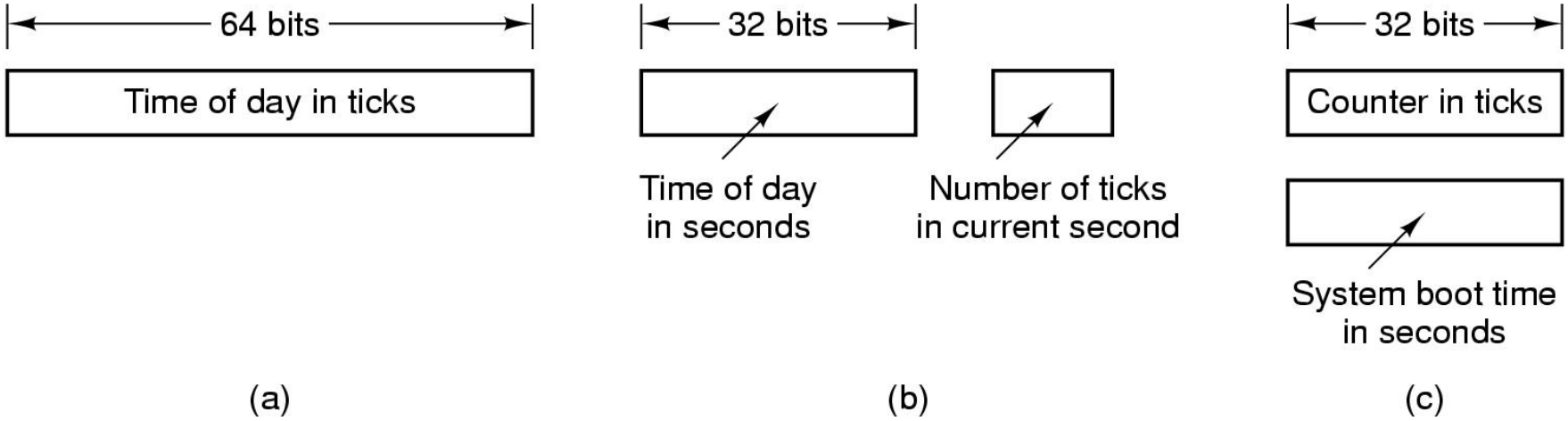
- Uma trilha do disco com um "bad sector" e dois setores "reserva" (a)
- Métodos de correção:
  - Substituição de um setor reserva pelo "bad sector" (b)
  - Reordenação de setores (c)

Relógio
(Clock Hardware)



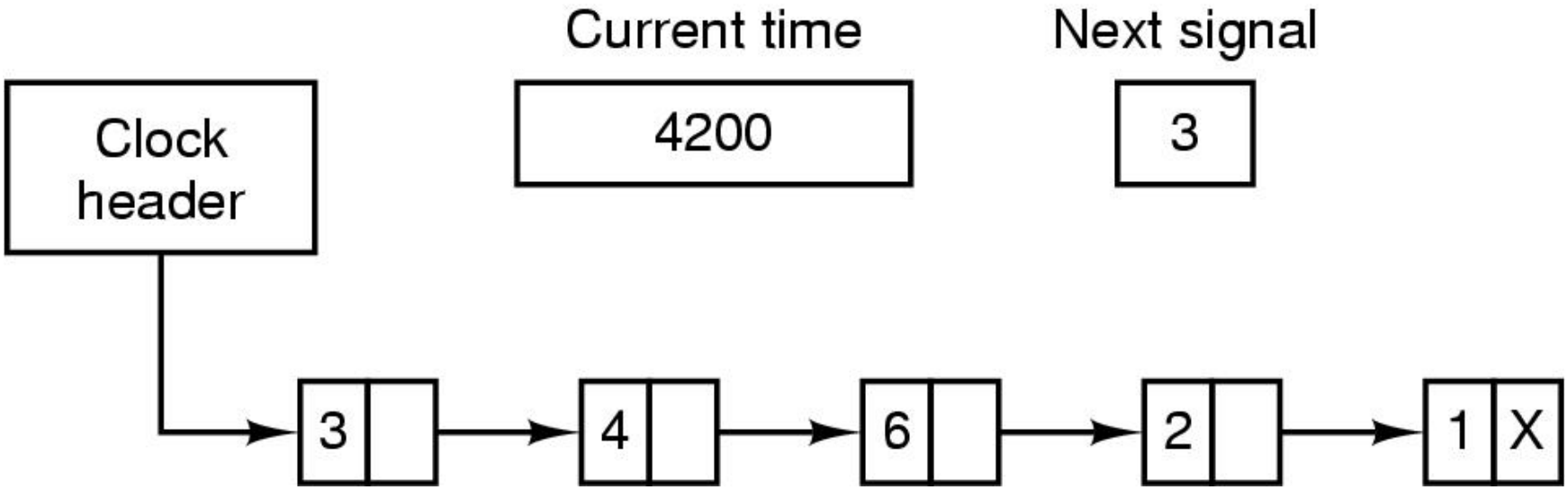
Um relógio programável

Relógio em Software (1)



3 formas de manter a hora

Relógio em Software (2)

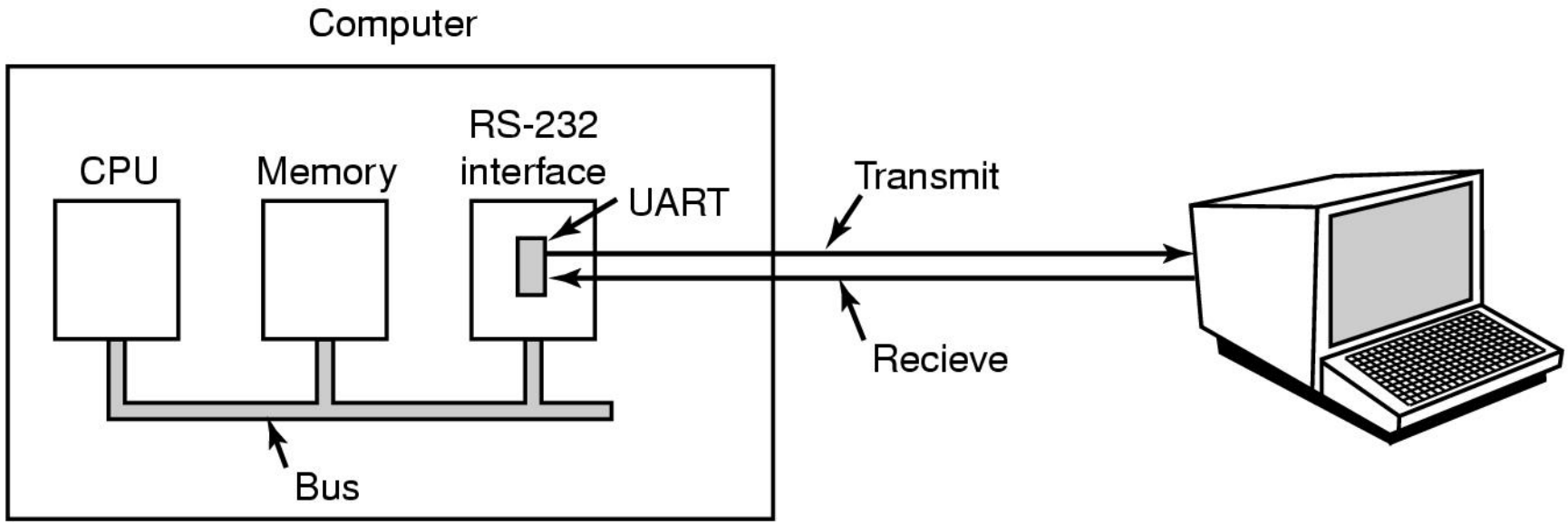


Simulando múltiplos relógios com um único relógio

Relógios "Soft"

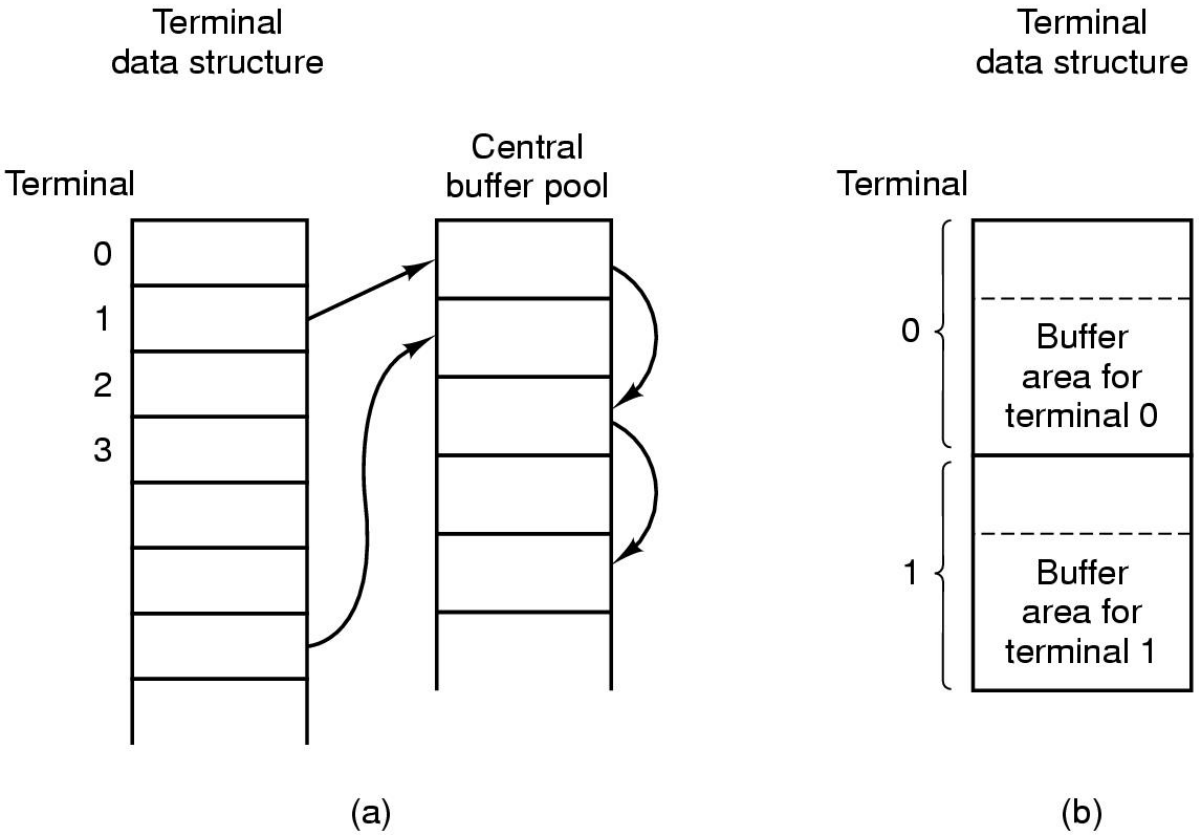
- A second clock available for timer interrupts
  - specified by applications
  - no problems if interrupt frequency is low
- Soft timers avoid interrupts
  - kernel checks for soft timer expiration before it exits to user mode
  - how well this works depends on rate of kernel entries

Character Oriented Terminals
RS-232 Terminal Hardware



- An RS-232 terminal communicates with computer 1 bit at a time
- Called a serial line – bits go out in series, 1 bit at a time
- Windows uses COM1 and COM2 ports, first to serial lines
- Computer and terminal are completely independent

Input Software (1)



- Central buffer pool
- Dedicated buffer for each terminal

Input Software (2)

Character	POSIX name	Comment
CTRL-H	ERASE	Backspace one character
CTRL-U	KILL	Erase entire line being typed
CTRL-V	LNEXT	Interpret next character literally
CTRL-S	STOP	Stop output
CTRL-Q	START	Start output
DEL	INTR	Interrupt process (SIGINT)
CTRL-\	QUIT	Force core dump (SIGQUIT)
CTRL-D	EOF	End of file
CTRL-M	CR	Carriage return (unchangeable)
CTRL-J	NL	Linefeed (unchangeable)

Characters handled specially in canonical mode

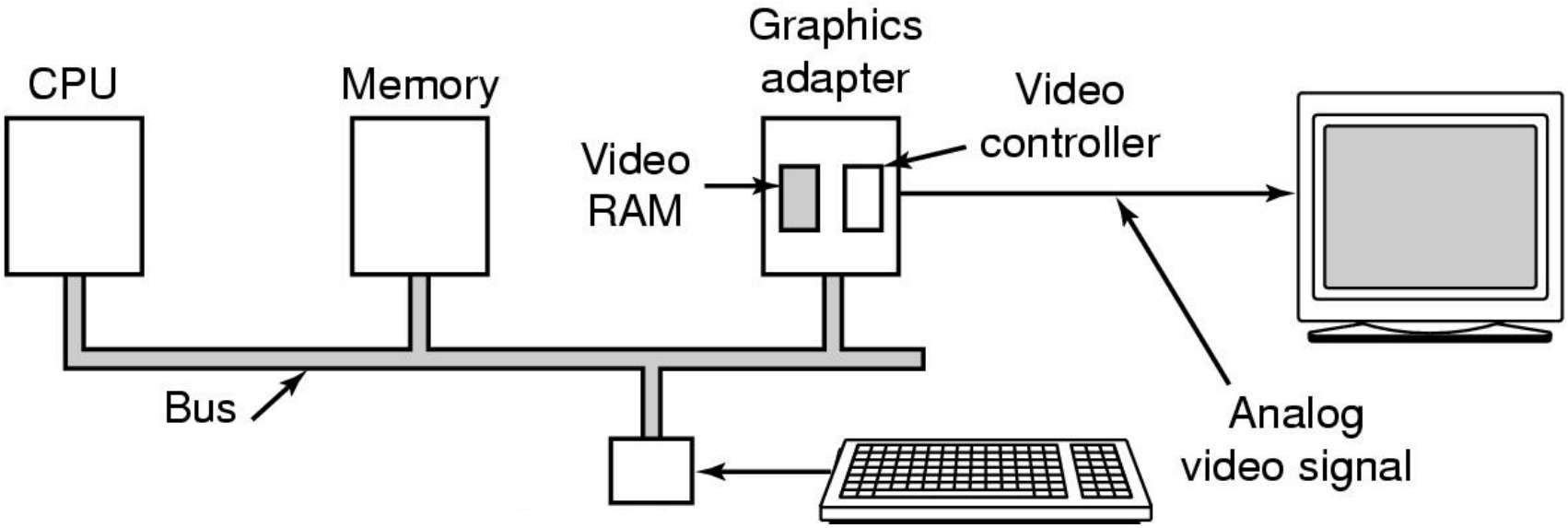
Output Software

Escape sequence	Meaning
ESC [*n* A	Move up *n* lines
ESC [*n* B	Move down *n* lines
ESC [*n* C	Move right *n* spaces
ESC [*n* D	Move left *n* spaces
ESC [*m* ; *n* H	Move cursor to (*m*,*n*)
ESC [*s* J	Clear screen from cursor (0 to end, 1 from start, 2 all)
ESC [*s* K	Clear line from cursor (0 to end, 1 from start, 2 all)
ESC [*n* L	Insert *n* lines at cursor
ESC [*n* M	Delete *n* lines at cursor
ESC [*n* P	Delete *n* chars at cursor
ESC [*n* @	Insert *n* chars at cursor
ESC [*n* m	Enable rendition *n* (0=normal, 4=bold, 5=blinking, 7=reverse)
ESC M	Scroll the screen backward if the cursor is on the top line

The ANSI escape sequences

- accepted by terminal driver on output
- ESC is ASCII character (0x1B)
- n,m, and s are optional numeric parameters

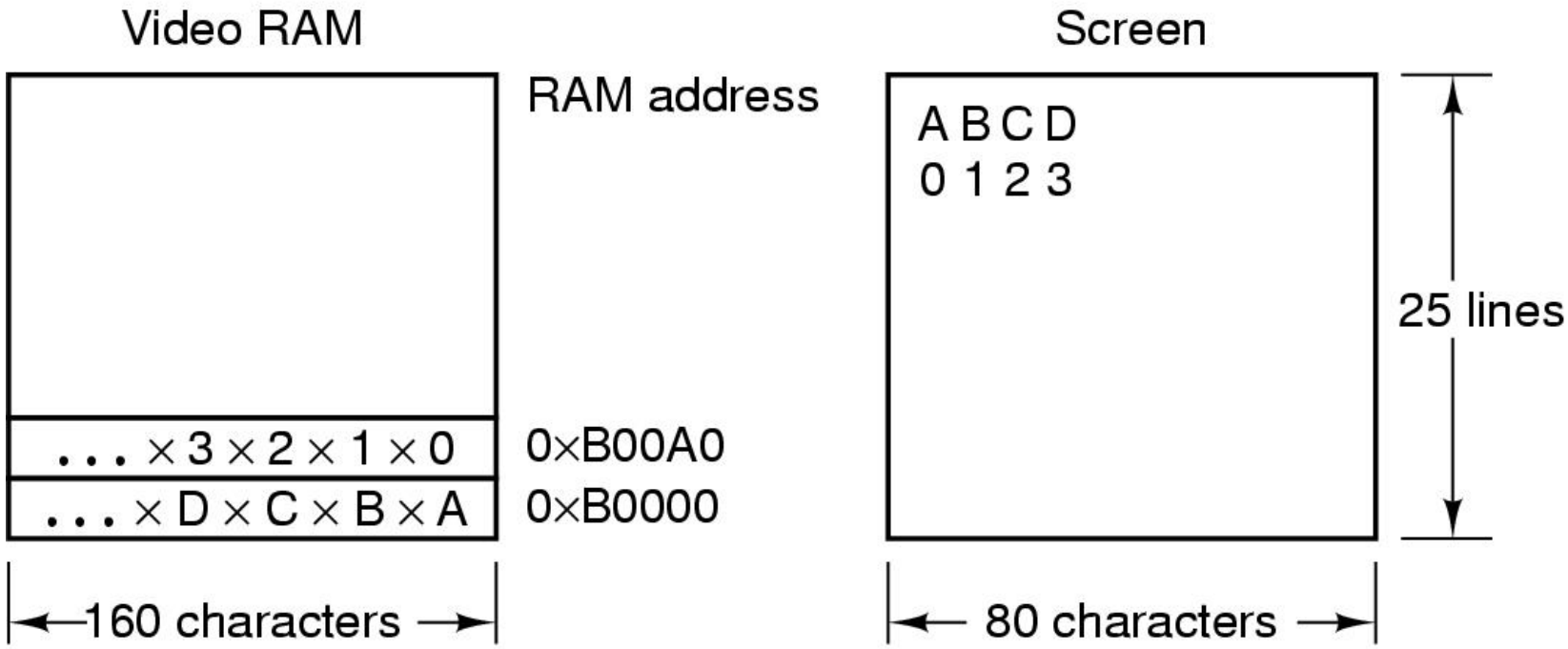
Display Hardware (1)



Memory-mapped displays

- driver writes directly into display's video RAM

Display Hardware (2)



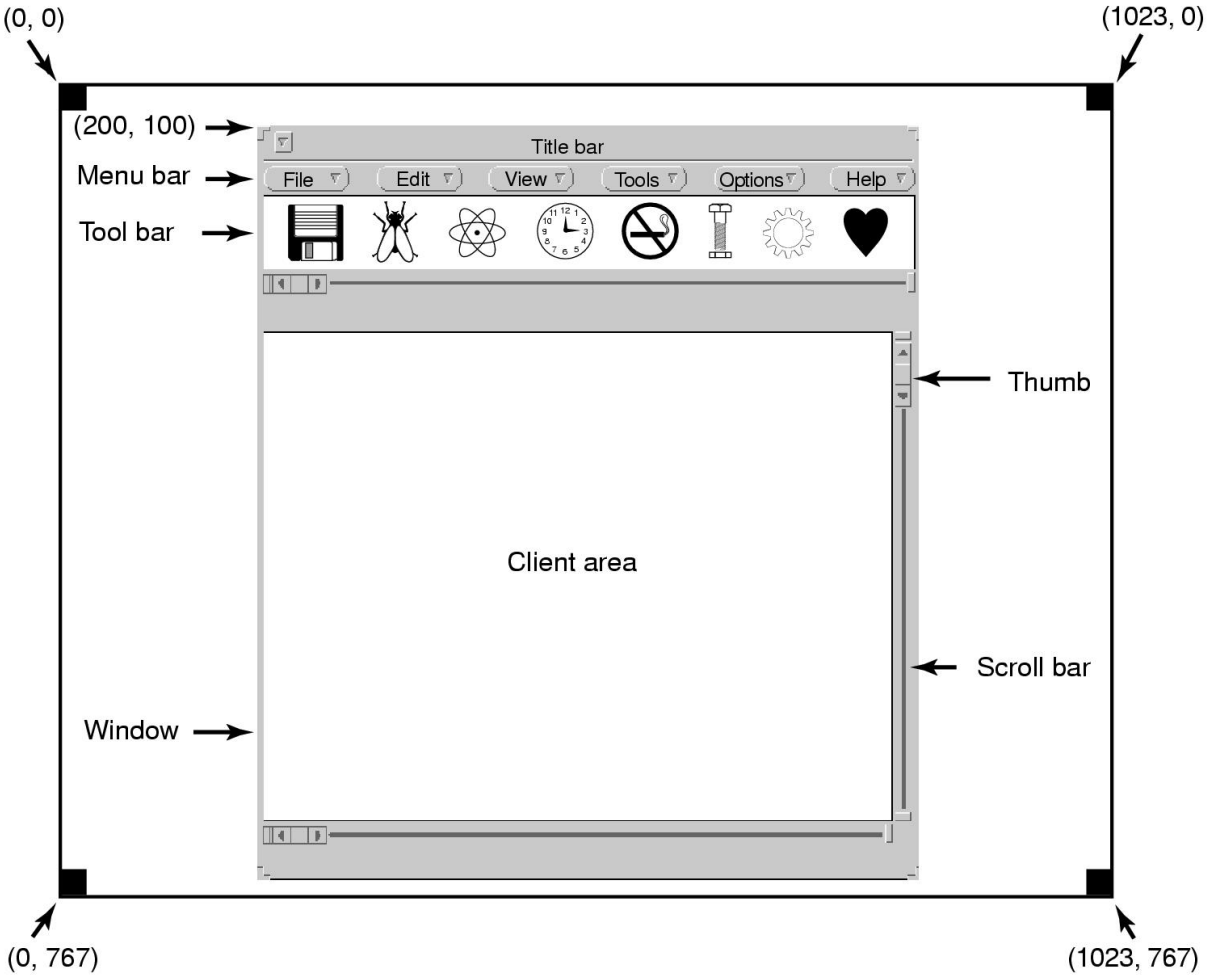
- simple monochrome display
- character mode

- Corresponding screen
  - the **X**s are attribute bytes

Input Software

- Keyboard driver delivers a number
  - driver converts to characters
  - uses a ASCII table
- Exceptions, adaptations needed for other languages
  - many OS provide for loadable keymaps or code pages

Output Software for Windows (1)



Sample window located at (200,100) on XGA display

Output Software for Windows (2)

```
#include <windows.h>

int WINAPI WinMain(HINSTANCE h, HINSTANCE, hprev, char *szCmd, int iCmdShow)
{
      WNDCLASS wndclass;              /* class object for this window */
      MSG msg;                        /* incoming messages are stored here */
      HWND hwnd;                      /* handle (pointer) to the window object */

      /* Initialize wndclass */
      wndclass.lpfnWndProc = WndProc;          /* tells which procedure to call */
      wndclass.lpszClassName = "Program name";    /* Text for title bar */
      wndclass.hIcon = LoadIcon(NULL, IDI_APPLICATION);   /* load program icon */
      wndclass.hCursor = LoadCursor(NULL, IDC_ARROW);   /* load mouse cursor */

      RegisterClass(&wndclass);       /* tell Windows about wndclass */
      hwnd = CreateWindow ( ... )     /* allocate storage for the window */
      ShowWindow(hwnd, iCmdShow); /* display the window on the screen */
      UpdateWindow(hwnd);             /* tell the window to paint itself */
```

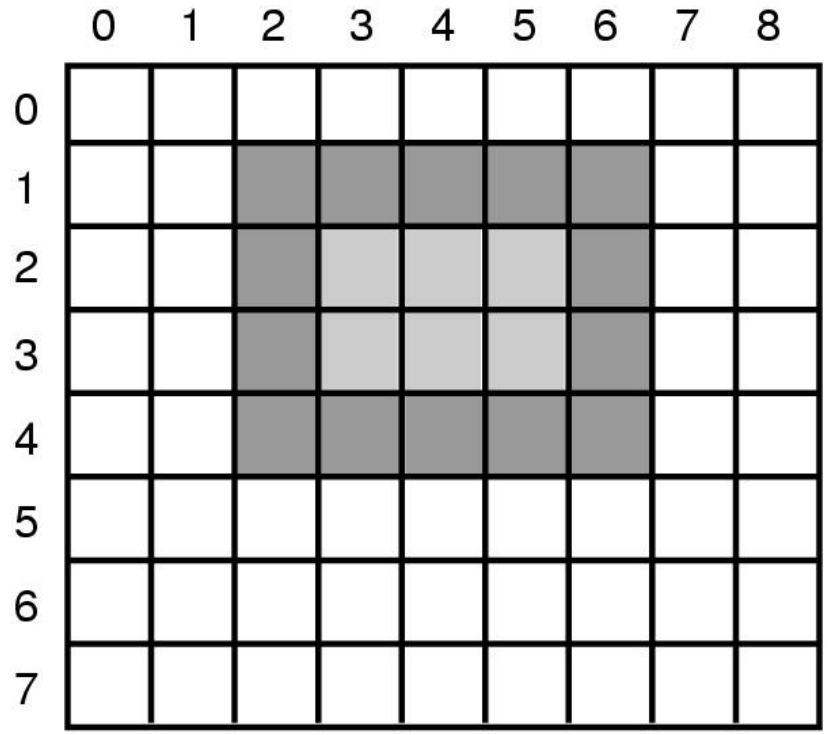
Skeleton of a Windows main program (part 1)

Output Software for Windows (3)

```
    while (GetMessage(&msg, NULL, 0, 0)) {    /* get message from queue */
        TranslateMessage(&msg);    /* translate the message */
        DispatchMessage(&msg);     /* send msg to the appropriate procedure */
    }
    return(msg.wParam);
}

long CALLBACK WndProc(HWND hwnd, UINT message, UINT wParam, long lParam)
{
    /* Declarations go here. */

    switch (message) {
        case WM_CREATE:     ... ;   return ... ;    /* create window */
        case WM_PAINT:      ... ;   return ... ;    /* repaint contents of window */
        case WM_DESTROY:    ... ;   return ... ;    /* destroy window */
    }
    return(DefWindowProc(hwnd, message, wParam, lParam));/* default */
}
```

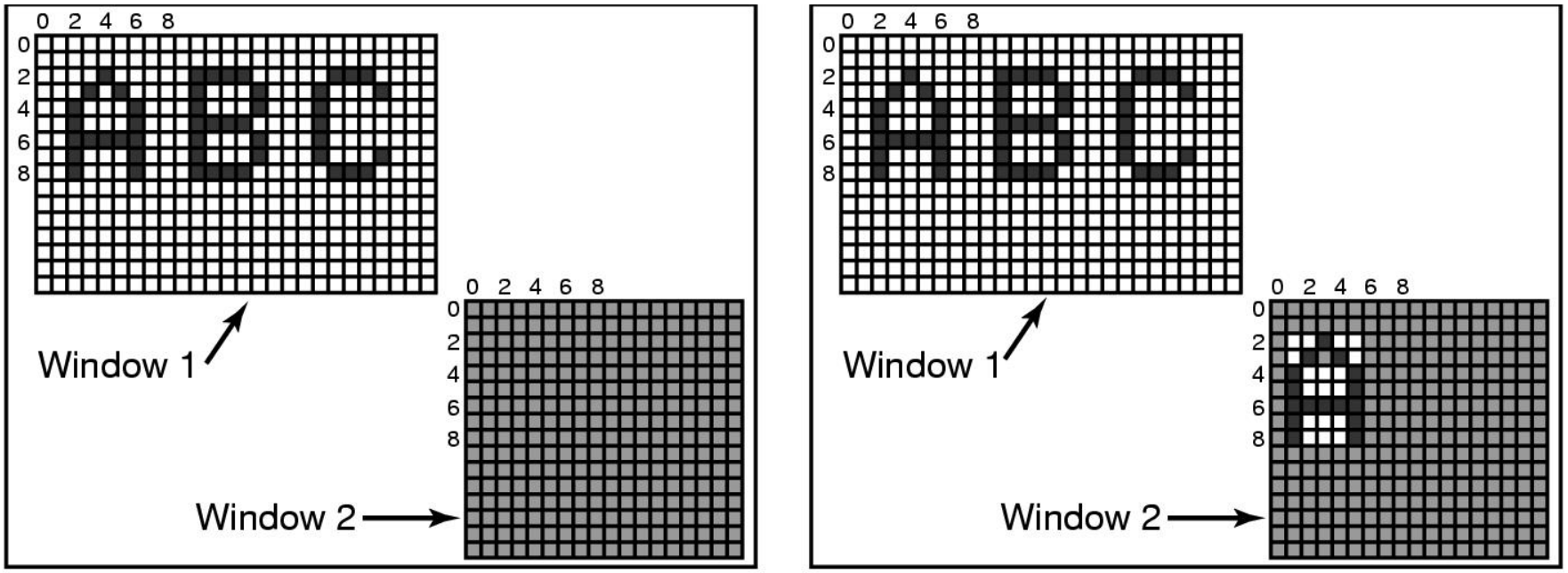
Skeleton of a Windows main program (part 2)

Output Software for Windows (4)



An example rectangle drawn using *Rectangle*

Output Software for Windows (5)



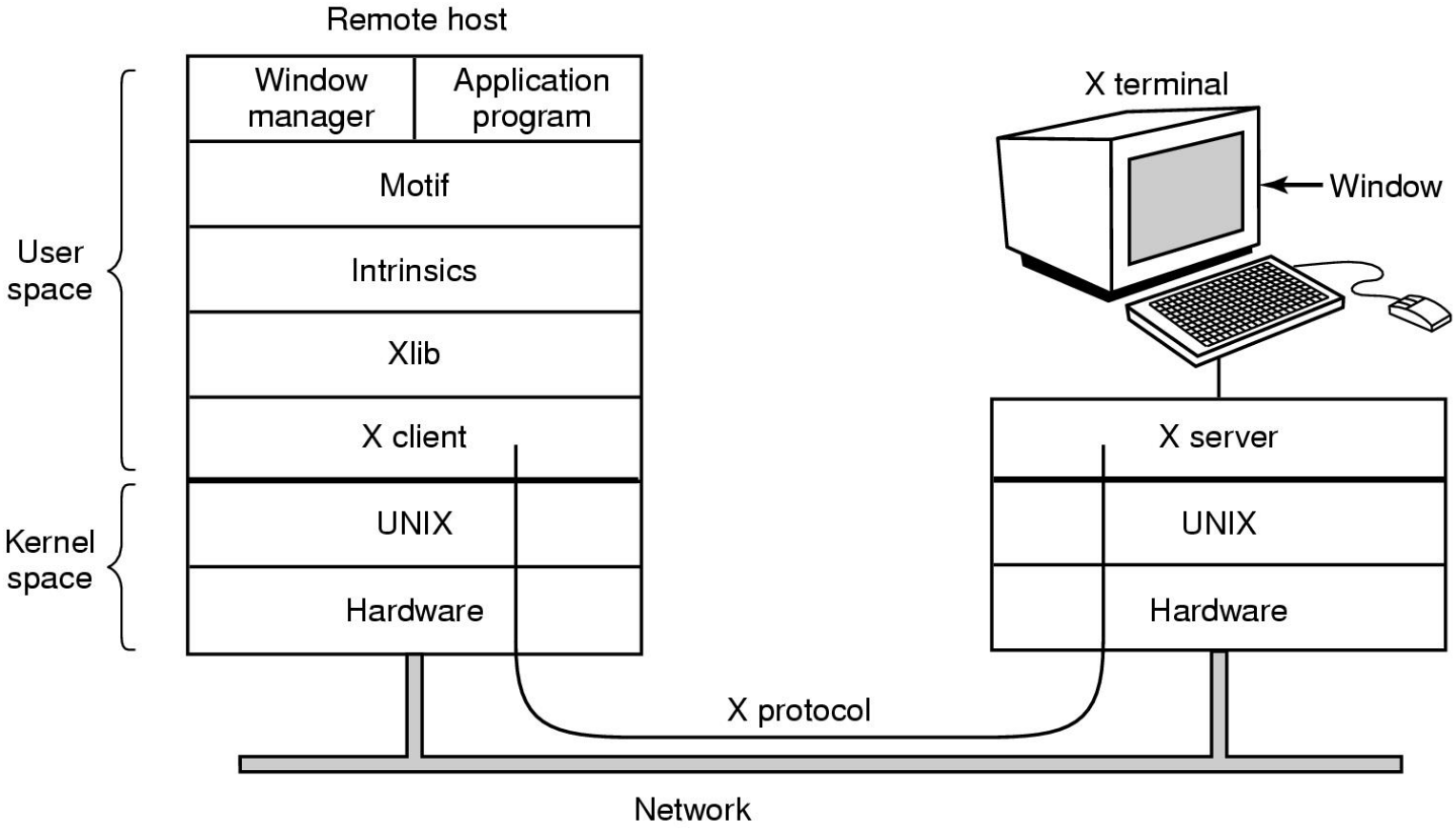
- Copying bitmaps using *BitBlt*.
  - before
  - after

Output Software for Windows (6)

Examples of character outlines at different point sizes

Network Terminals

X Windows (1)



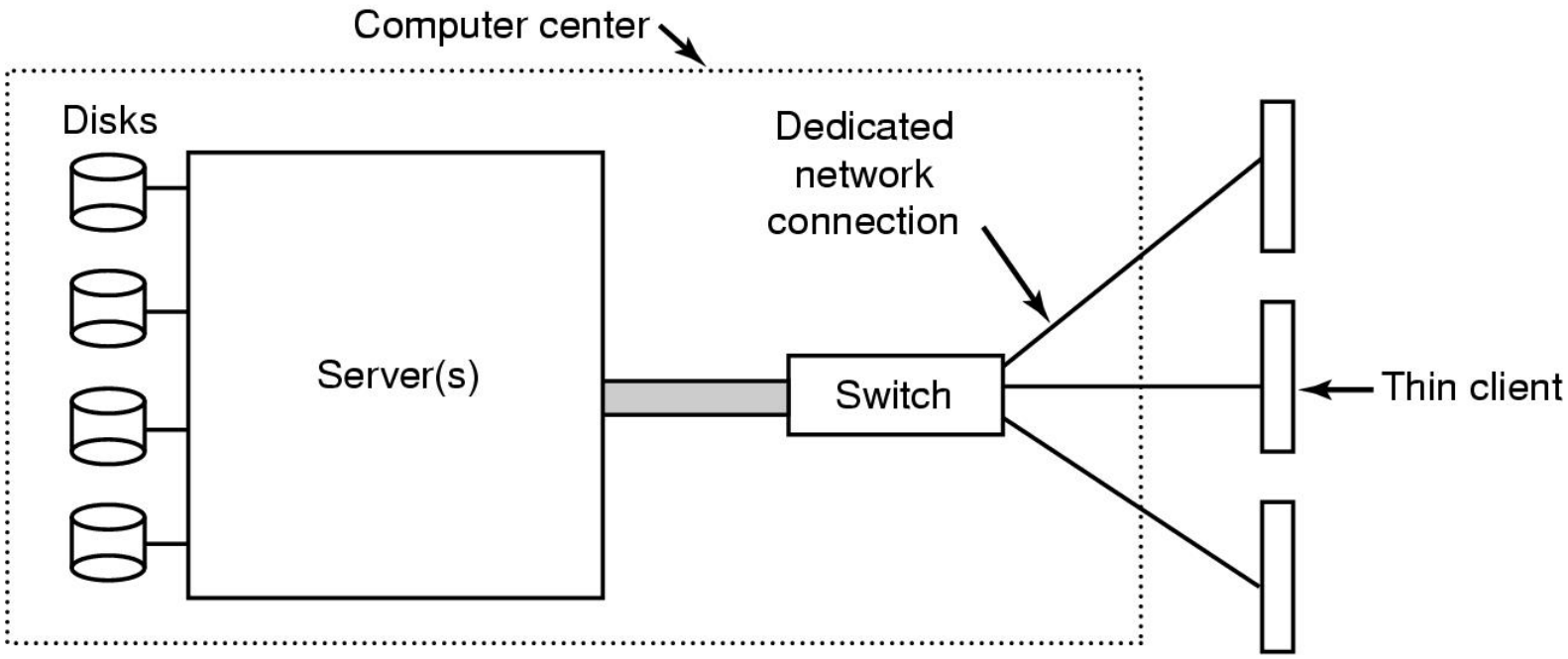
Clients and servers in the M.I.T. X Window System

X Windows (2)

```
#include <X11/Xlib.h>
#include <X11/Xutil.h>

main(int argc, char *argv[])
{
      Display disp;                                  /* server identifier */
      Window win;                                    /* window identifier */
      GC gc;                                         /* graphic context identifier */
      XEvent event;                                  /* storage for one event */
      int running = 1;

      disp = XOpenDisplay("display_name");           /* connect to the X server */
      win = XCreateSimpleWindow(disp,  ... );        /* allocate memory for new window */
      XSetStandardProperties(disp, ...);             /* announces window to window mgr */
      gc = XCreateGC(disp, win, 0, 0);               /* create graphic context */
      XSelectInput(disp, win, ButtonPressMask | KeyPressMask | ExposureMask);
      XMapRaised(disp, win);                 /* display window; send Expose event */

      while (running) {
            XNextEvent(disp, &event);        /* get next event */
            switch (event.type) {
                  case Expose:         ...;  break;    /* repaint window */
                  case ButtonPress:    ...;  break;    /* process mouse click */
                  case Keypress:       ...;  break;    /* process keyboard input */
            }
      }

      XFreeGC(disp, gc);                     /* release graphic context */
      XDestroyWindow(disp, win);             /* deallocate window's memory space */
      XCloseDisplay(disp);                   /* tear down network connection */
}
```

Skeleton of an X Windows application program

The SLIM Network Terminal (1)



The architecture of the SLIM terminal system

The SLIM Network Terminal (2)

Message	Meaning
SET	Update a rectangle with new pixels
FILL	Fill a rectangle with one pixel value
BITMAP	Expand a bitmap to fill a rectangle
COPY	Copy a rectangle from one part of the frame buffer to another
CSCS	Convert a rectangle from television color (YUV) to RGB

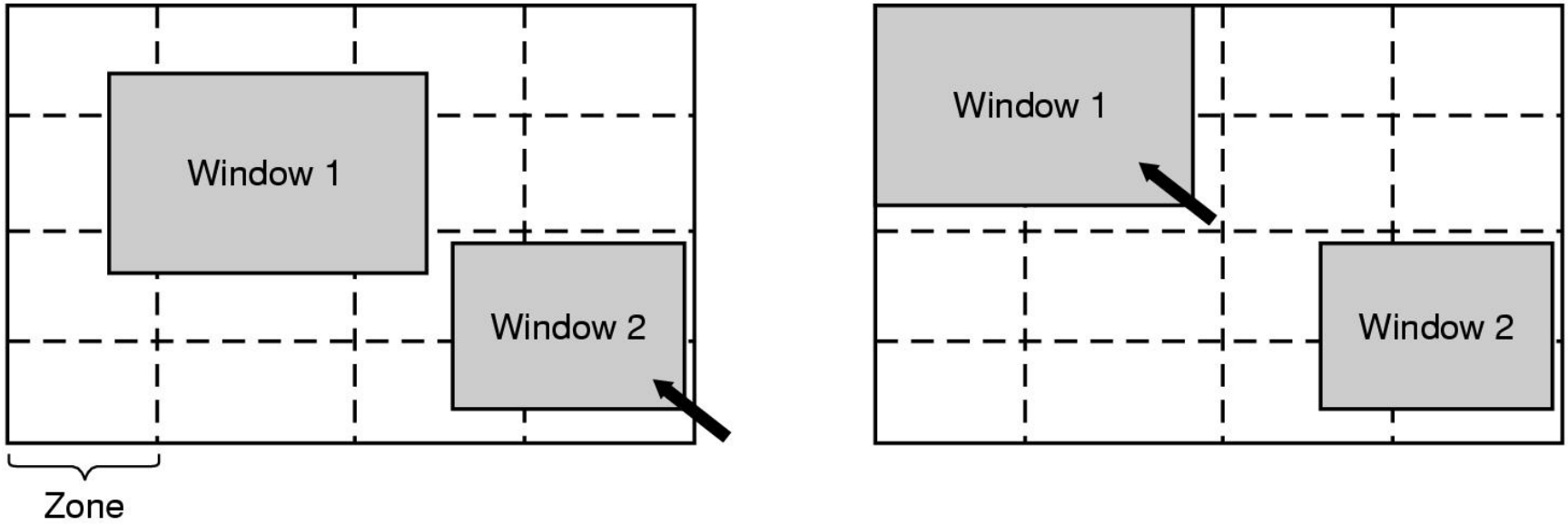
Messages used in the SLIM protocol from the server to the terminals

Power Management (1)

Device	Li et al. (1994)	Lorch and Smith (1998)
Display	68%	39%
CPU	12%	18%
Hard disk	20%	12%
Modem		6%
Sound		2%
Memory	0.5%	1%
Other		22%

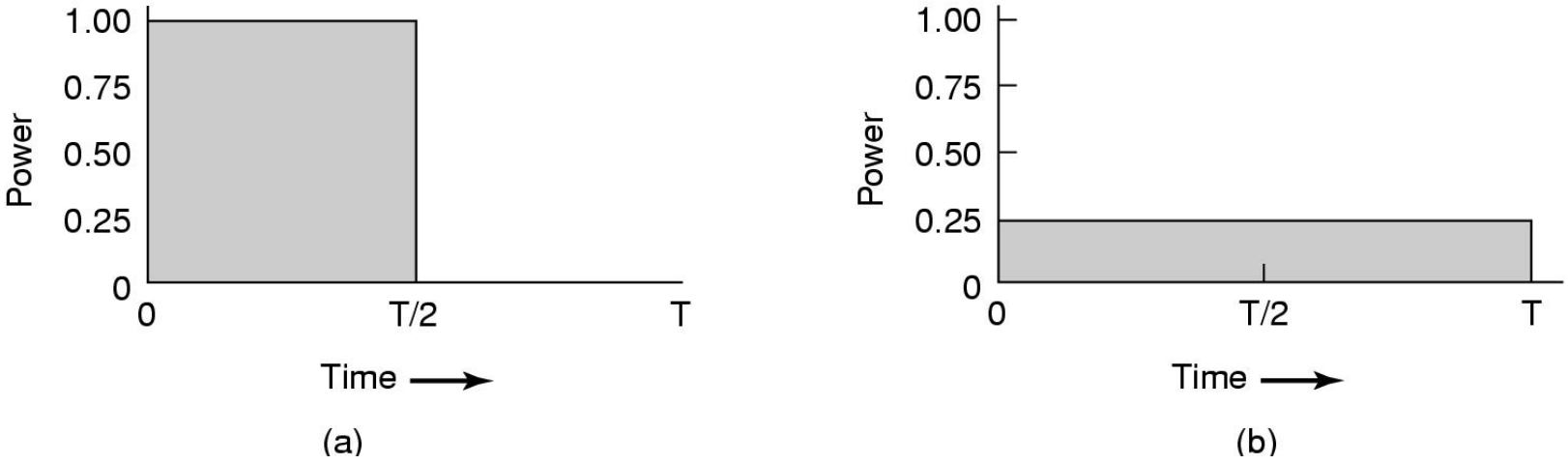
Power consumption of various parts of a laptop computer

Power management (2)



The use of zones for backlighting the display

Power Management (3)



- Running at full clock speed
- Cutting voltage by two
  - cuts clock speed by two,
  - cuts power by four

Power Management (4)

- Telling the programs to use less energy
  - may mean poorer user experience
- Examples
  - change from color output to black and white
  - speech recognition reduces vocabulary
  - less resolution or detail in an image