INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

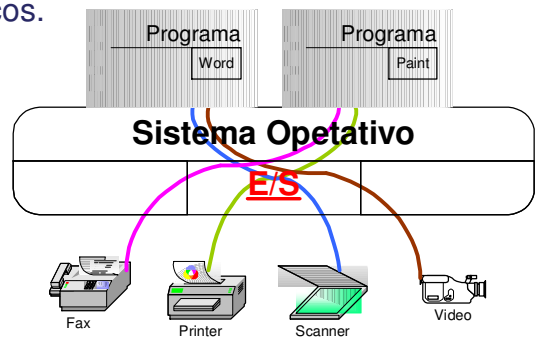
Entradas/Saídas

Modelo Conceptual
Gestor de Periféricos
Unix E/S
Windows 2000 E/S

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Introdução

- Parte do SO que permite a um programa interagir com o ambiente que o rodeia.
- Cria canais virtuais entre os programas e os periféricos.



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Periféricos

- O número de periféricos tem vindo a aumentar significativamente
  - Teclado, rato, microfone, joystick, leitor de cartões, mesa gráfica, scanner, câmera de video, altifalantes, impressora, display, DVD, disco, disquete, etc.
  - Redes de computadores com diferentes meios físicos: ethernet, wi-fi, gprs, umts, wimax
- Diferentes características dos periféricos
  - operações aceites: só leitura, só escrita, ambas
  - unidade de transferência de informação: carácter, cadeias de caracteres, blocos de dimensão fixa, etc.
  - velocidade de transferência: de alguns bytes por segundo até aos milhões de bytes por segundo
  - representação de dados: ASCII, EBCDIC, UNICODE, *Little Endian*, *Big Endian*, etc.
  - acção em caso de erro: parar e dar erro, alertar operador, insistir, etc.

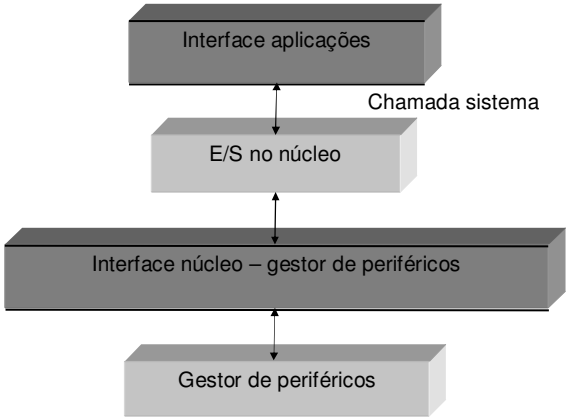
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Objectivos das Entradas/Saídas

- Estender o núcleo do sistema operativo permitindo a inclusão de periféricos
- Modelo de programação das Entradas/saídas uniforme, evitando que os programadores de aplicações tenham de lidar como detalhe dos diferentes periféricos
- Modelos de programação dos gestores de periféricos que simplifique a programação, a torne mais robusta e promova a reutilização

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Arquitectura das E/S



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Objectivos da arquitectura das E/S

Objectivos	Soluções
• Uniformização da designação. • Uniformização do acesso.	• Conceito de periférico virtual
• Independência do periférico do SO – não deve ser necessário redesenhar o núcleo para cada novo tipo de periférico.	• Decomposição da interação com os periféricos.
• Redirecção das E/S.	• Uniformização entre os mecanismos de comunicação e E/S
• Adaptação automática a novos periféricos	• Carregamento dinâmico de módulos no núcleo.

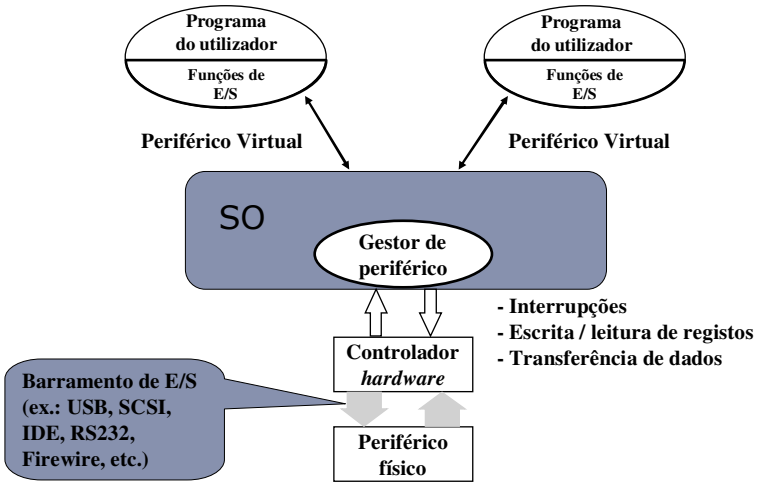
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Entidades do Modelo de E/S

- Periféricos virtuais:
  - entidades abstractas sobre as quais se realizam todas as operações de E/S - *files* (Multics, UNIX, Windows), *data sets* (IBM)
- Funções de E/S:
  - conjunto reduzido e uniforme de funções necessárias à interacção com qualquer periférico.
- Gestores de periféricos (GP) (*device drivers* ou *device handlers*):
  - componente do modelo (processo autónomo ou parte do programa do sistema operativo) que efectua a interacção real com o periférico

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Diagrama do Modelo de E/S



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Modelo de Programação das E/S

- O periférico virtual é idêntico a um canal de comunicação :
  - explicitamente estabelecido
  - sobre o qual são trocadas informações entre o processo utilizador e o gestor de periférico
- Associação ao periférico virtual:
  - estabelecimento de um canal de comunicação entre o processo e o gestor de periférico:
    - IdCanal = AbrirCanal (Nome)
    - FecharCanal (IdCanal)
- Designação dos periféricos:
  - varia consoante os sistemas
  - em Windows (NT/2000/XP) os nomes são mantidos por um gestor de nomes autónomo
  - em UNIX são identificados como ficheiros (especiais, tipo caracter ou bloco)

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Modelo Computacional(cont.)

- função de E/S:
  - suporte de vários tipos de sincronização associados à operação
  - suporte de dois tipos de interface para a transferência de dados:
    - sequências de caracteres de dimensão variável (*byte stream*)
    - blocos de dados de tamanho fixo

```
EfectuaES (IdCanal, Operação, EndereçoDados,
  Dimensão, Semáforo)
```

- sincronização:
  - escrita: o processo cliente fica bloqueado até que os dados tenham sido transferidos para o periférico ou para estruturas de dados internas ao sistema operativo (cache)
  - leitura: o processo cliente fica normalmente bloqueado até que os dados pedidos lhe tenham sido transferidos; no entanto, há sistemas que permitem evitar tal bloqueio e efectuar leituras assíncronas à posteriori

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Funções típicas de E/S

Nome	Parâmetros	Descrição
`Ler`	`(Fd, Tampão, bytes)`	Lê do dispositivo para um tampão de memória.
`Escrever`	`(Fd, Tampão, bytes)`	Escreve um tampão para o dispositivo.
`Posicionar`	`(Fd, Posição)`	Posiciona o cursor de leitura ou escrita.
`LerAtributos`	`(Fd, Tampão)`	Lê atributos do dispositivo.
`EscreverAtributos`	`(Fd, Atributos)`	Modifica os atributos.
`LerDirectório`	`(Fd, Tampão)`	Lê um directório para um tampão de memória.
`InfoPendente`	`(Fd)`	Verifica se existe algo para fazer.
`HouveMudança`	`(dispositivo)`	Verifica se o dispositivo mudou (por exemplo, mudança de disquete).
`Despeja`	`(Fd)`	Assegura que todos os tampões internos são escritos.
`Cancela`	`(Fd)`	Cancela a última operação pedida.

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Exemplo

```
canalOrigem = Abrir("FicheiroOrigem")
canalDestino = Abrir("PortaParalela")
EscreverAtributos(CanalDestino, "Reservar")
EscreverAtributos(CanalDestino, "IEEE1284")
While(true) {
        while(!InfoPendente(CanalOrigem)) Espera()
        Ler(CanalOrigem, Tampão)
        Escreve(CanalDestino, Tampão)
}
```

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Sincronização na utilização dos periféricos

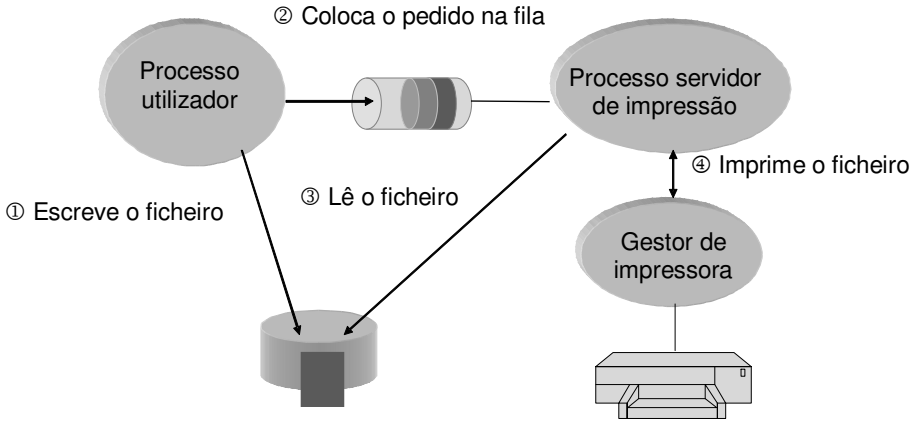
- As aplicações podem, se tiverem privilégios para tal, usar directamente os periféricos, abrindo o respectivo canal e efectuando as leituras e escritas necessárias
- Contudo, muitos periféricos são partilhados (ex.: discos, redes) razão pela qual não são utilizados directamente pelas aplicações mas acedidos através de outros módulos do sistema operativo

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Partilha de Periféricos

- Se o processo necessitar de utilização exclusiva de um periférico tal implica a abri-lo em exclusão mútua reservando a sua utilização:
  - bandas magnéticas
- Os processos usam os periférico de memória de massa para guardar informação mas a sua utilização não obriga a abri-los porque são partilhados através do sistema de ficheiros, é uma componente do sistema operativo que se encarrega da sincronização
  - Discos, memory pen
- Alguns periféricos são usados em exclusividade durante um certo período de tempo por um processo, mas a optimização da gestão do periférico faz com que sejam controlados por um servidor como qual os restantes processos interactuam
  - impressoras

Partilha Indirecta de Periféricos de Utilização Exclusiva (*spooling*)



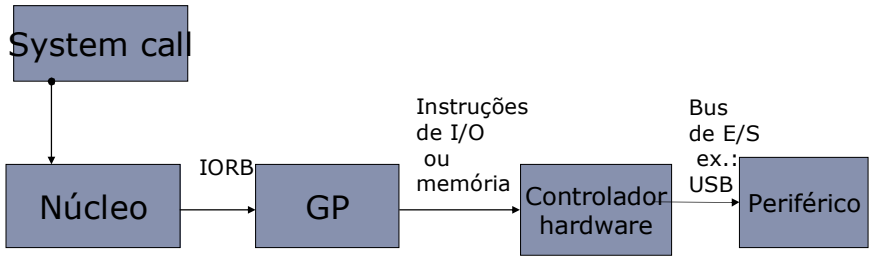
Programação de GPs

Unix E/S

Windows 2000 E/S

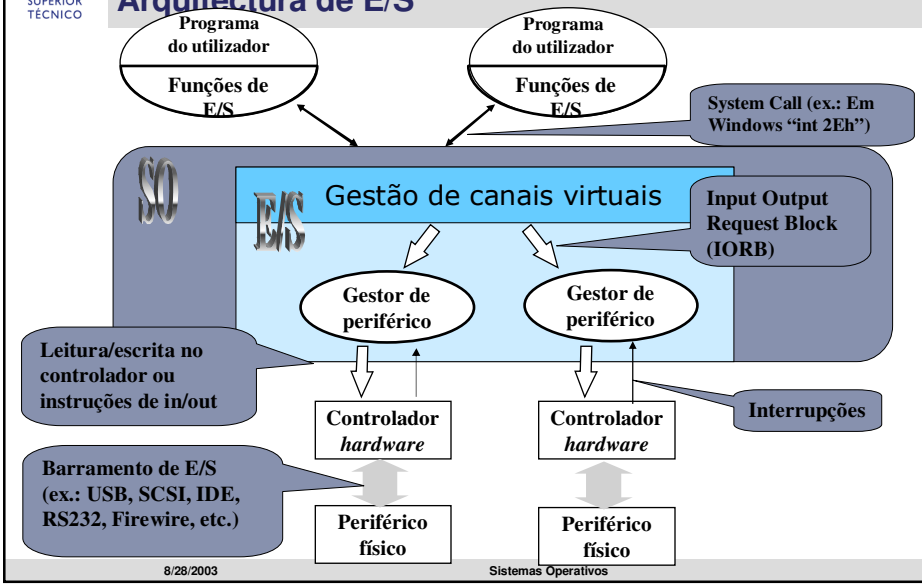
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Arquitectura de comunicação no GP



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Arquitectura de E/S



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Input/Output Request Block (IORB)

- os IORB são gerados pelas funções de E/S após a validação possível da coerência dos parâmetros:
  - validade do modo de operação pedido (leitura, escrita, etc.)
  - validade do modo de transmissão (cadeias de caracteres, blocos, etc.)
- um IORB é uma mensagem normalizada que transmite informação para um gestor de periférico:
  - o gestor está normalmente à espera dos IORB e, quando os recebe, desencadeia a operação pedida introduzindo a sequência de controlo adequada no controlador do periférico
  - a partilha de um periférico por vários utilizadores (externos ou módulos do núcleo) pode-se realizar através de uma fila de mensagens onde o gestor recebe os diversos IORB

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Funções do GP

- esperar por um IORB
- validar os parâmetros dependentes do periférico
- programar o controlador do periférico de acordo com o pedido expresso no IORB
- esperar pela conclusão da operação e analisar ou processar o resultado da mesma:
  - normalmente a conclusão é assinalada por uma interrupção
  - no entanto, as rotinas de interrupção devem executar um conjunto reduzido de instruções durante o mais curto espaço de tempo possível
- tratamento das condições de erro
- se necessário transferir dados entre tampões próprios e o espaço de endereçamento do processo do utilizador
- avisar o processo utilizador da conclusão da operação

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Programação de um GP

- Armazenamento temporário de dados:
  - conjunto fixo ou variável de tampões tendo em conta um fluxo médio expectável ou a optimização de transferências
  - regulação de fluxo
- Interacção com a gestão de memória:
  - fixação de páginas dos processos utilizadores na memória principal
  - utilização de endereços reais em vez de endereços virtuais
- Rotina de interrupção:
  - determinar a causa da interrupção
  - executar as operações necessárias
  - assinalar ao gestor o respectivo acontecimento (normalmente usando mecanismos especiais e não semáforos)

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Acesso do processador ao controlador – Instruções de I/O

- Instruções específicas de entradas saídas
  - Alguns processadores possuem instruções específicas para acesso ao espaço de endereçamento de E/S
    - ex.: “in R1,300h” lê para R1 o valor no endereço 300h do espaço de endereçamento de E/S
  - Este acesso é ortogonal ao acesso a memória pelo que não interfere com os mecanismos de memória virtual.
  - Estas instruções não são normalmente geradas pelos compiladores de linguagens de alto nível pelo que é necessário programá-las em assembly.
  - Não são utilizáveis por programas em modo utilizador

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Acesso do processador ao controlador – I/O Memory Mapped

- E/S mapeadas em memória
  - Memória do controlador mapeada no espaço de endereçamento físico do processador.
  - Nos sistemas operativos com memória virtual são necessárias funções que asseguram que determinados endereços virtuais correspondes a endereços físicos.
  - É necessário possuir mecanismos que indiquem que a memória mapeada nestes endereços não é passível de ser colocada em cache.
  - Mesmo em processadores com instruções específicas de entradas saídas este é o método mais utilizado para comunicação com os controladores.

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Acesso aos controladores dos periféricos

- Portabilidade do sistema operativo
  - Virtualização do hardware
  - Acesso ao Hardware (ex.: registos, portos, controladores, etc.) através de uma camada reduzida usualmente escrita em assembly.
- Em Windows chama-se HAL (Hardware Abstraction Layer)
- Em Linux, não tem nome mas existem um conjunto de funções que são de utilização recomendável e que efectuam essa abstracção.
- Estas camadas dificultam a utilização de potencialidades específicas dos processadores.

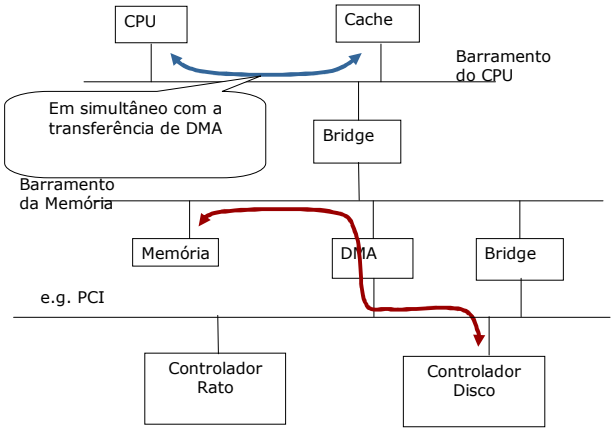
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Modos de transferência de dados

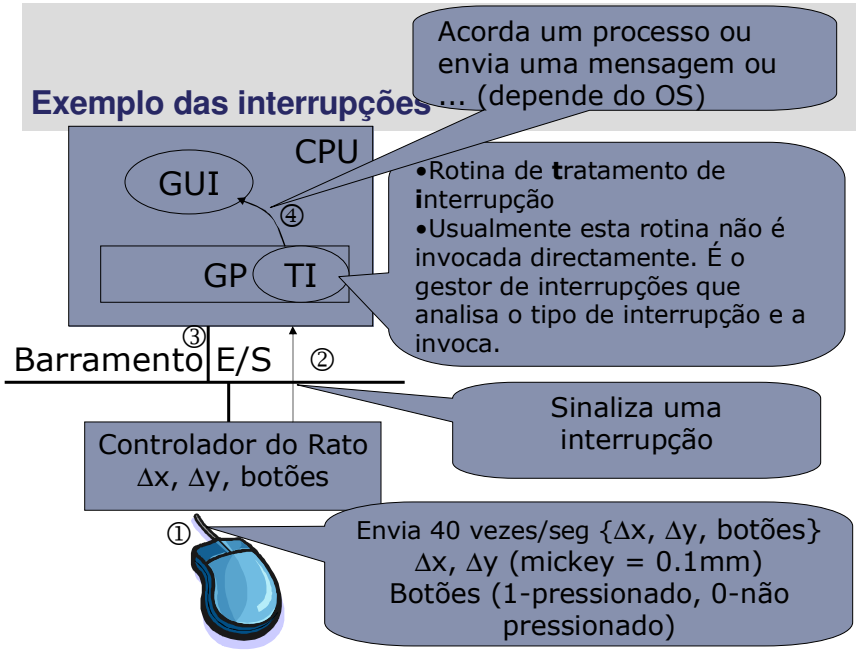
- E/S programáticas
  - O processador executa um conjunto de instruções do gestor de periféricos que escrevem/lêem para/do o periférico.
- Direct Memory Access (DMA)
  - Unidade de hardware especializada que transfere blocos de dados da memória para a memória do periférico.
  - Presente na maioria do computadores.
  - Permite libertar o processador para computação interna e com acesso à cache, mas usualmente não permite o acesso à memória.
- Processador de periféricos
  - Processador especializado que partilha a memória com o processador principal e gere o acesso aos controladores.
  - Muito pouco comum (ex.: CDC6600)

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Arquitectura do Computador com DMA



Exemplo das interrupções …



Sincronização

- Os GPs têm de sincronizar o acesso aos dados globais.
  - A execução de um GP pode ser interrompida para dar lugar a uma tarefa de maior prioridade (preempção)
  - O código pode ser executado por mais do que um processador em simultâneo
- Soluções
  - Aumentar o nível da interrupção
  - Spinlocks

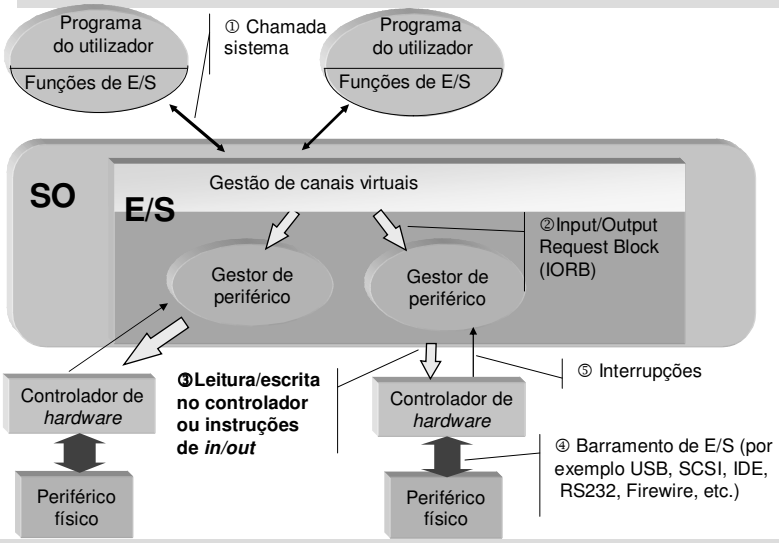
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

GPs no núcleo ou fora do núcleo

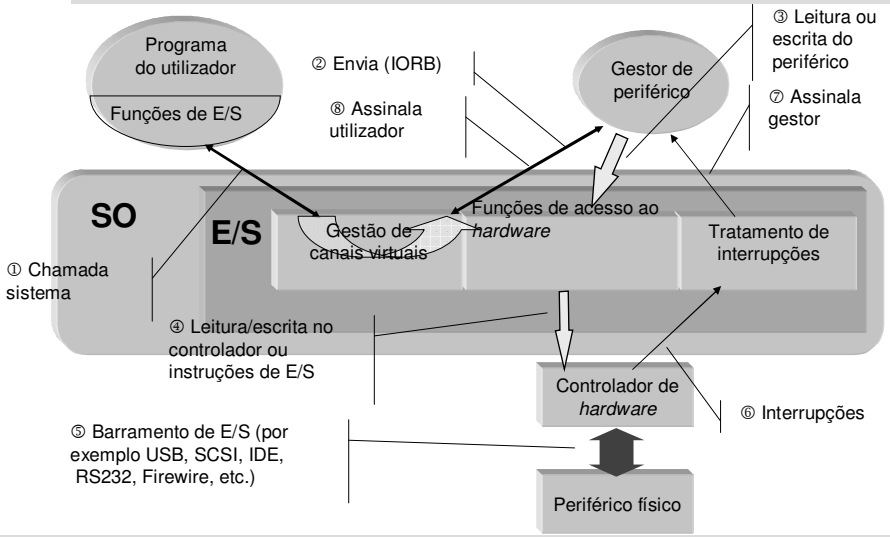
- Processo independente:
  - maior flexibilidade (teoricamente).
  - necessidade de privilégios especiais que permitam ultrapassar as protecções habituais (alta prioridade, controlo de interrupções, gestão de memória, etc.).
  - isolamento de espaços de endereçamento entre os gestores e o núcleo do sistema operativo.
  - Ex.: servidor X na maioria dos sistemas Unix.
- Integrado no núcleo :
  - poupa o tempo gasto na comutação entre processos.
  - maior simplicidade e redução das operações do núcleo do sistema operativo.
  - Caso mais comum.

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

GP no Núcleo



GP num processo



Unix E/S

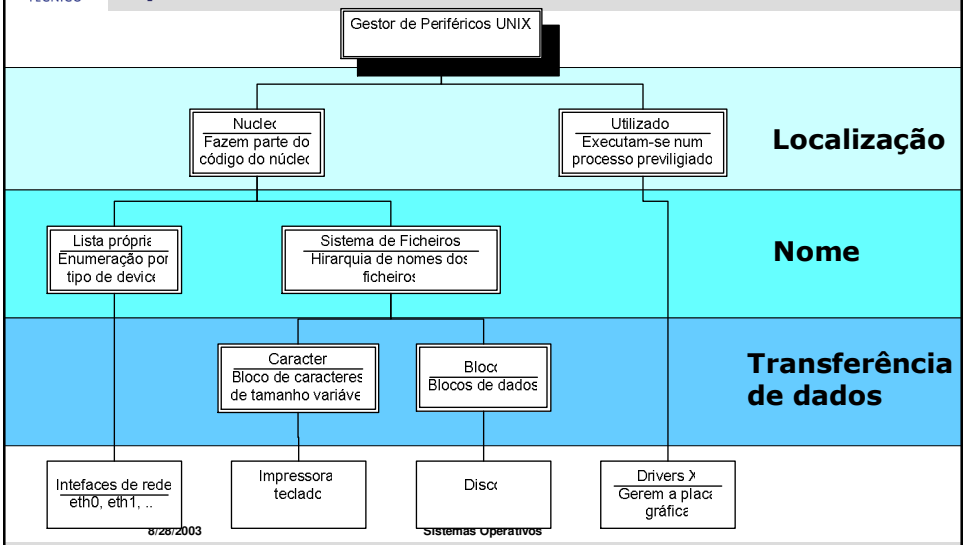
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Classificação - Localização

- A maioria dos GPs em Unix são módulos que fazem parte do núcleo.
  - São excepção os gestores de periférico da interface gráfica X
- Os gestores integrados no núcleo
  - Podem seguir o modelo computacional dos ficheiros, onde se designam como ficheiros e são manipulados essencialmente pelas mesmas funções
  - Podem ter um modelo próprio, estão neste caso os periféricos de controlo das redes

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Tipos de GPs em Unix



Classificação – Espaço de Nomes

- A maioria dos periféricos geridos por gestores no núcleo têm o seu nome no directório /dev
- As placas de rede têm um espaço de nomes pró
  - Acedido através do comando ifconfig.

```
# ifconfig
eth0
          in
          U
          co
          Ir

lo        L
          in
          U
          co
```

```
#ls –l /dev

crw-rw-rw-   1 root    root     5,   0 Aug 30  2001 tty
crw--w----   1 root    root     4,   0 Mar 15  2002 tty0
crw-------   1 root    root     4,   1 Oct  6 14:42 tty1
crw--w----   1 root    tty      4,  10 Aug 30  2001 tty10
crw--w----   1 root    tty      4,  11 Aug 30  2001 tty11
...
brw-rw----   1 root    floppy   2,   0 Aug 30  2001 fd0
brw-rw----   1 root    floppy   2,   4 Aug 30  2001 fd0CompaQ
brw-rw----   1 root    floppy   2,   4 Aug 30  2001 fd0d360
brw-rw----   1 root    floppy   2,  12 Aug 30  2001 fd0D360
...
```


Periféricos no "/dev" (I)

- A comunicação faz-se através das mesmas primitivas utilizadas nos sistemas de ficheiros.
- Tal permite a redirecção fácil das E/S de um periférico para um ficheiro, e vice versa.

```
fd = open("/dev/tty0", O_RDWR);
write(fd,&buffer,size);
read(fd,&buffer,size);
```

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Periféricos no /dev (II)

- Cada gestor de periféricos pode gerir mais do que um periférico.
  - O gestor de periféricos para um terminal é igual para todos.
- Cada periférico é identificado por dois números
  - *Major number* – Identifica o gestor do periférico
  - *Minor number* – Identifica o periférico no domínio dos periféricos geridos pelo mesmo gestor.
- O nome do periférico só é importante para as aplicações não para o núcleo

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Periféricos no /dev (III)

```
#ls -l /dev

crw-rw-rw-    1 root     root       5,   0 Aug 30  2001 tty
crw--w----    1 root     root       4,   0 Mar 15  2002 tty0
crw-------    1 root     root       4,   1 Oct  6 14:42 tty1
crw--w----    1 root     tty        4,  10 Aug 30  2001 tty10
crw--w----    1 root     tty        4,  11 Aug 30  2001 tty11
...
brw-rw----    1 root     floppy     2,   0 Aug 30  2001 fd0
brw-rw----    1 root     floppy     2,   4 Aug 30  2001 fd0CompaQ
brw-rw----    1 root     floppy     2,   4 Aug 30  2001 fd0d360
brw-rw----    1 root     floppy    12 Au  30  2001 fd0D360
…
```

Major Numbers
- Majors diferentes = gestores diferentes.
- Majors iguais = mesmo gestor

Minor Numbers
- Minors diferentes = periféricos diferentes
- Minors iguais e majors diferentes = periféricos diferentes
- Majors e Minors iguais = mesmo periférico

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Periféricos no /dev (IV)

- Os periféricos podem ser divididos em
  - Tipo bloco.
  - Tipo caracter.
- Os periféricos de tipo bloco permitem a transferência de blocos de dados entre a memória e o periférico.
  - Discos, disquetes, etc.
- Os periféricos de tipo caracter transferem caracter a caracter.
  - Teclado, Écran, Impressora, rato, etc.

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Instalação de um GP

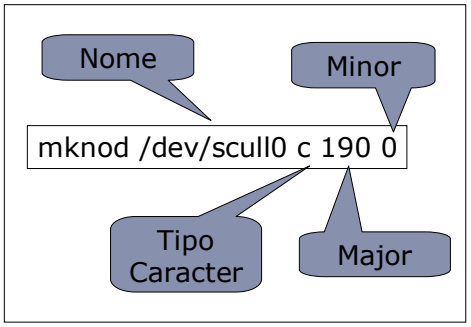
1. Inserir o GP na tabelas do Kernel

```
root# insmod ./new-driver.o
```

2. Obter o major em que ficou

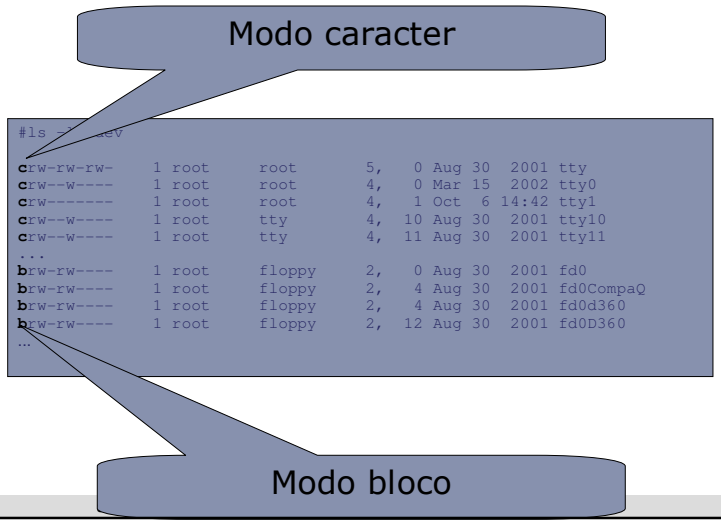
```
#root ls /proc/devices
Character devices:
  1 mem
  2 pty
  3 ttyp
  4 ttyS
  5 cua
190 new-driver

Block devices:
  2 fd
  3 ide0
 22 ide1
```

3. Criação de i-node
   - Associa um nome ao major number



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Periféricos no /dev (V)



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

GPs de rede

- Não são acedidos directamente pelo utilizador.
- O utilizador acede a uma camada do protocolo (ex. Sockets INET) que passa a outra (ex.: TCP) e a outra (ex.: IP) e por fim ao GP.
- Todas as camadas estão no núcleo pelo que as funções do GP são acedidas directamente.
- A informação recebida da rede é colocada num tampão denominado sk_buf e colocado no fila backlog. Sendo posteriormente removida por um processo que se executa periodicamente e encaminha o tampão para o protocolo respectivo

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Instalação de um GP de rede

- A instalação é semelhante
- Também pode ser um módulo
  - A função init_module é chamada para iniciar o módulo
- Quatro diferenças:
  - As funções open/read/write/close foram substituídas por outras mais apropriadas;
  - As tarefas dessas funções são muito diferentes;
  - No registo da tabela de funções não se obtém um número (major);
  - Não é necessário criar um i-node para associar um nome a um número, os nomes são dados implicitamente no código do GP ou em sequência começando em eth0, eth1 ...

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Gestores de Periféricos fora do Núcleo

- O único caso notável que se executa num processo autónomo é a classe de gestores de placas gráficas utilizados pelo sistema X.
  - Estes gestores executam-se no mesmo processo que o servidor X.
  - O servidor X é um processo com privilégios de super-utilizador
  - A interface destes gestores é definida pelo servidor X, não pelo sistema operativo.

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Unix E/S

Estruturas do núcleo

- /dev
- Rede

Sincronização

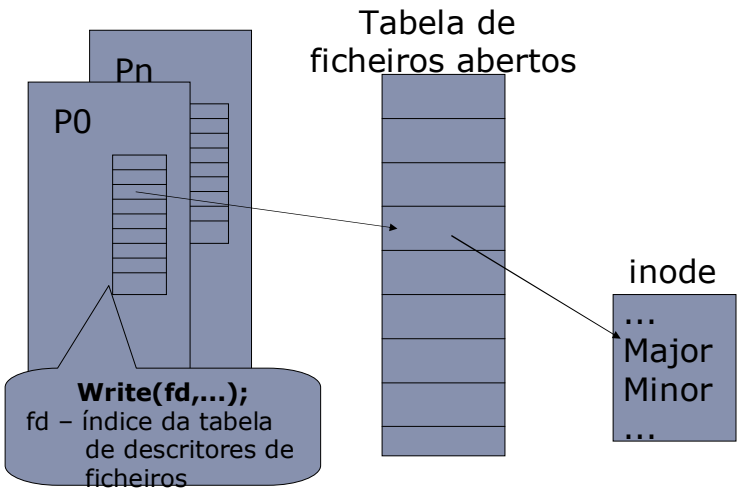
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Periféricos no /dev

- Realização de uma operação num periférico
  - Localização do periférico
  - Agulhagem da operação/interrupção
- Criação de um periférico

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Localização do Major/Minor a partir do descritor de ficheiros



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Localização do Major/Minor a partir do descritor de ficheiros

- A abertura de um periférico é feita com o comando open tal como para um ficheiro
  - Facilita o redirecionamento
- O método de abertura é semelhante
  - Depois de aberto a tabela de ficheiros abertos fica com uma nova entrada que aponta para um i-node.
- O i-node contém o major e o minor do periférico (veremos à frente como criar esse i-node especial).

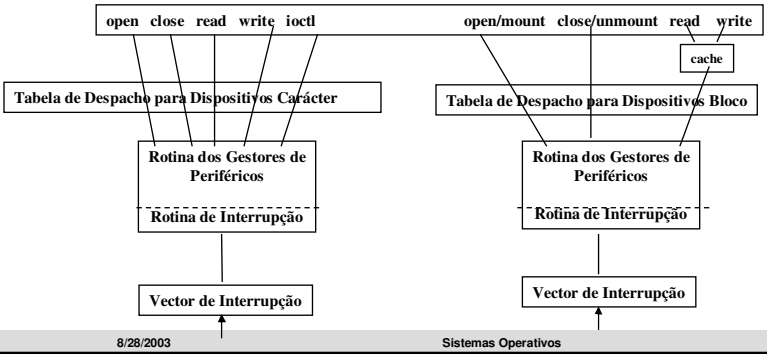
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Agulhagem das funções

Tabela de Despacho

Major N	open	close	read	write	ioctl
0	conopen	conclose	conread	conwrite	conioctl
1	syopen	nulldev	syread	sywrite	syioctl

Arquitectura Interna das Entradas/Saídas



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Agulhagem das funções

- Existe uma tabela com todos os gestores de periféricos.
- Cada GP tem as suas funções específicas.
- Essas funções são apontadas pela tabela e indexadas pelo major.
- Com o major obtido no passo anterior é possível chamar a função respectiva e passar-lhe o minor.

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Criação de um GP

- Carregamento do módulo com o GP

- Registo das funções
- Registo da interrupção
- Reserva de memória

Operações realizadas pelo código do GP

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Carregamento de um módulo

- O linux suporta carregamento de módulos:

```
#define MODULE
#include <linux/module.h>
int init_module(void) { printk("<1>Hello, world\n"); return 0; }
void cleanup_module(void) { printk("<1>Goodbye cruel world\n"); }
```

- Para carregar um módulo

```
root# gcc -c hello.c
root# insmod ./hello.o
Hello, world
root# rmmod hello
Goodbye cruel world
root#
```

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Insmod

- Obtém a tabela de símbolos do Kernel para resolver as chamadas do módulo ao kernel (ex.. `printk`)
- Chama a função `sys_init_module` que:
  - Reserva memória para o módulo
  - Copia o código para a memória reservada
  - Resolve as chamadas ao kernel
  - Chama a rotina de inicialização do módulo (`int init_module(void)`)

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Registo das funções

```
struct file_operations scull_fops = {
    llseek:     scull_llseek,
    read:       scull_read,
    write:      scull_write,
    ioctl:      scull_ioctl,
    open:       scull_open,
    release:    scull_release,
};

int init_module(void) {
    ...
    /* Register your major, and accept a dynamic number. */
    result = register_chrdev(scull_major, "scull", &scull_fops);
    if (result < 0) {
        printk(KERN_WARNING "scull: can't get major %d\n",scull_major);
        return result;
    }
    if (scull_major == 0) scull_major = result; /* dynamic */
```

Funções definidas anteriormente

Chamada pelo cmd insmod

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Registro de interrupções

```
if (short_irq >= 0) {
   result = request_irq(short_irq, short_interrupt,
                        SA_INTERRUPT, "short", NULL);
   if (result) {
     printk(KERN_INFO "short: can't get assigned irq %i\n", short_irq);
     short_irq = -1;
    } else { /* actually enable it -- assume this *is* a parallel port
   */
     outb(0x10,short_base+2);
    }
}
```

ls /proc/interrupts