Sistemas Operativos

Universidad Complutense de Madrid

2020-2021

Módulo 4: Gestión de Entrada/Salida

Juan Carlos Sáez

Contenido

Contenido

Introducción

- El corazón de una computadora lo constituye la CPU, pero no serviría de nada sin:
  - Dispositivos de almacenamiento no volátil
    - Secundario: discos
    - Terciario: cintas
  - Dispositivos periféricos que le permitan interactuar con el usuario (los teclados, ratones, micrófonos, cámaras, etc.)
  - Dispositivos de comunicaciones: permiten conectar a la computadora con otras a través de una red

Dispositivos de salida: Impresora, monitor, ...

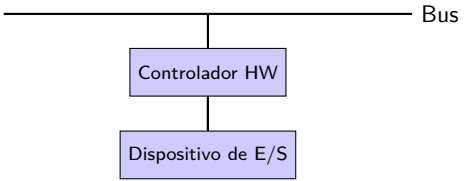
Unidad principal (UCP, registros, memoria RAM, Entrada/Salida (discos internos, red,...))

Dispositivos de entrada (teclado, ratón)

Dispositivos de E/S (discos, cintas, modem, ...)

Conexión de dispositivos de E/S

- En el sistema de E/S de un computador se distinguen dos elementos:
  1. **Periféricos o dispositivos de E/S:** elementos que se conectan a la unidad central de proceso (CPU) a través de controladores hardware.
     - Son el componente mecánico que se conecta al computador.
  2. **Controladores HW de dispositivos o unidades de E/S:** Se encargan de hacer la transferencia de información entre la memoria principal y los periféricos.
     - Son el componente electrónico a través del cual se conecta el dispositivo de E/S.
     - Tienen una conexión al bus de la computadora y otra para el dispositivo
     - Advertencia: Controlador HW $\neq$ Controlador SW o *Driver*



Objetivos del software de E/S del SO

- **Facilitar el manejo de los dispositivos periféricos.**
  - Ofrecer una interfaz entre los dispositivos y el resto del sistema que sea sencilla y fácil de utilizar
- **Permitir la conexión de nuevos dispositivos** sin que sea necesario remodelar por completo el software de E/S del SO
  - Clases de dispositivos
- **Optimizar la E/S del sistema**, proporcionando mecanismos de incremento de prestaciones donde sea necesario
- **Automatizar la instalación de nuevos dispositivos de E/S**, usando mecanismos del tipo *plug & play*

Drivers (I)

- Driver: componente software del SO destinado a gestionar un tipo específico de dispositivo de E/S
  - También llamado controlador SW o manejador de dispositivo
- Cada driver se divide en dos partes:
  1. **Código independiente del dispositivo**: para dotar al nivel superior del SO de una interfaz
     - Interfaz similar para acceso a dispositivos muy diferentes
     - Simplifica la labor de portar SSOOs y aplicaciones a nuevas plataformas hardware
  2. **Código dependiente del dispositivo**: necesario para interactuar con dispositivo de E/S a bajo nivel
     - Interacción directa con el controlador HW
     - Gestión de interrupciones
     - ...

Drivers (II)

Otras características de los disp. E/S

- Necesario considerar características inherentes de los disp. de E/S
  - Algunos dispositivos soportan acceso a nivel de byte pero otros no...
  - Ejemplo: No podemos acceder a nivel de byte a un disco (*acceso a nivel de bloque*)

En general, los dispositivos se dividen en dos clases:

1. Dispositivos de bloque
   - disco, red, pantalla, ...
2. Dispositivos de carácter
   - teclado, ratón, puerto serie, ...

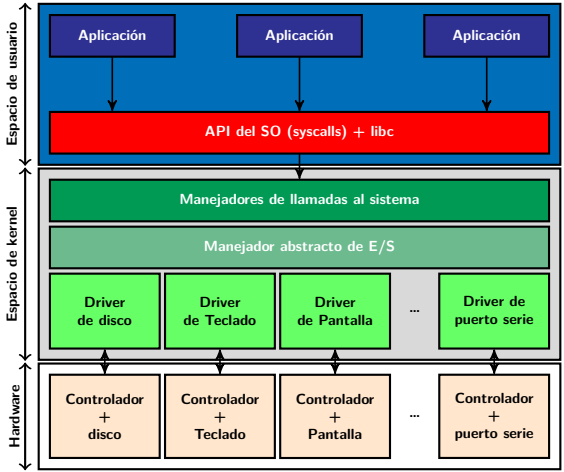
Contenido

Gestión de E/S en Linux

- Casi todos los dispositivos de E/S se representan como ficheros especiales (que pueden ser de bloque o carácter)
  - `/dev/sda1` para la primera partición del primer disco SATA o USB
  - `/dev/ttyS0` para el primer puerto serie
  - `/dev/tty0` para el primer terminal/consola de texto
  - `/dev/lp0` para la impresora
- El acceso a estos ficheros especiales se realiza mediante las llamadas al sistema `open()`, `read()`, `write()` y `close()`
  - Un programa de usuario puede acceder al dispositivo de E/S, siempre y cuando usuario tenga permisos de acceso al fichero especial
  - Excepcionalmente puede requerirse `ioctl()` para realizar operaciones de control
    - `man 2 ioctl`

Visión general

- Cada fichero de dispositivo tiene un driver asociado



Cuando un programa de usuario invoca una llamada al sistema sobre un fichero especial (p.ej., `read()`), se ejecuta una función del driver que hace el trabajo correspondiente

Major and minor number

- Cada fichero de dispositivo tiene asociado un par (*major*, *minor*) que lo identifica de forma unívoca
  - *major*: ID de la clase de dispositivo
  - *minor*: ID local para que driver pueda distinguir al dispositivo en caso de gestionar varios
- En Linux, los disp. de E/S se agrupan en *clases*:
  - Cada clase de dispositivo tiene un major number (ID) asociado
  - `https://www.kernel.org/doc/Documentation/admin-guide/devices.txt`
- Ejemplo: Driver que gestiona 2 discos duros
  - Discos representados mediante ficheros de dispositivo `/dev/sda` y `/dev/sdb`
  - Ambos ficheros especiales tendrán el mismo *major number* pero distinto *minor number*
- Dos drivers podrían tener el mismo *major* asignado, pero trabajan con distintos rangos de *minor* numbers
  - Esto permite al kernel saber qué driver debe encargarse de gestionar cada dispositivo

Major and minor number

- El comando `stat` permite consultar el tipo de dispositivo (fichero especial) así como el major y minor number asociado al mismo

terminal

```
osuser@debian:~$ stat /dev/tty1
  File: «/dev/tty1»
  Size: 0       Blocks: 0    IO Block: 4096   character special file
Device: 5h/5d   Inode: 1259        Links: 1     Device type: 4,1
Access: (0600/crw-------)  Uid: (    0/    root)   Gid: (    0/    root)
Access: 2016-02-24 08:18:59.663968939 +0100
Modify: 2016-02-24 08:18:59.523954207 +0100
Change: 2016-02-24 08:18:59.523954207 +0100
Birth: -
osuser@debian:~$ stat /dev/sda1
  File: «/dev/sda1»
  Size: 0           Blocks: 0          IO Block: 4096   block special file
Device: 5h/5d   Inode: 1708        Links: 1     Device type: 8,1
Access: (0660/brw-rw----)  Uid: (    0/    root)   Gid: (    6/    disk)
Access: 2016-02-24 08:18:59.663968939 +0100
Modify: 2016-02-24 08:18:59.523954207 +0100
Change: 2016-02-24 08:18:59.523954207 +0100
Birth: -
```

Drivers y módulos del kernel Linux

terminal

```
osuser@debian:~$ cat /proc/devices
Character devices:
  1 mem
  4 /dev/vc/0
  4 tty
  4 ttyS
  5 /dev/tty
  5 /dev/console
  5 /dev/ptmx
  7 vcs
 10 misc
 13 input
 21 sg
 29 fb
108 ppp
128 ptm
136 pts
180 usb
189 usb_device
226 drm
...

Block devices:
259 blkext
  8 sd
 11 sr
 65 sd
 66 sd
 67 sd
 68 sd
 69 sd
...
```

- La asociación entre el *driver* del dispositivo y el número de versión mayor asignado puede consultarse en `/proc/devices`
- La mayor parte de los *drivers* en Linux se implementan como módulos cargables del kernel
  - Implementan una interfaz especial
  - Se registran a sí mismos como *driver* de caracteres o bloques

Contenido

Módulos cargables del kernel Linux (I)

¿Qué es un módulo cargable?

- Un "fragmento de código" que puede cargarse/descargarse en el mapa de memoria del SO (kernel) bajo demanda
- Sus funciones se ejecutan en modo kernel (privilegiado)
  - Cualquier error fatal en el código "cuelga" el SO
  - Herramientas de depuración menos elaboradas
    - `printk()`: Imprimir mensajes en fichero de log del kernel
    - `dmesg` : Muestra contenido del fichero de log del kernel

También existe soporte para módulos cargables en otros sistemas tipo UNIX (BSD, Solaris) y en MS Windows

Módulos cargables del kernel Linux (II)

Ventajas de los módulos del kernel

1. Reducen el *footprint* del kernel del SO
   - Cargamos únicamente los componentes SW (módulos) necesarios
2. Permiten extender la funcionalidad del kernel en caliente (sin tener que reiniciar el sistema)
   - Mecanismo para implementar/desplegar *drivers*
3. Permiten un diseño más *modular* del sistema

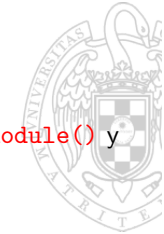
Módulos cargables del kernel Linux (III)

- Los módulos disponibles para nuestro kernel se encuentran en el directorio `/lib/modules/${KE`
  - `KERNEL_VERSION=$(uname -r)`
- Podemos saber qué módulos están cargados con `lsmod`
  - `/proc/modules`

Terminal

```
osuser@debian:~$ lsmod
Module                  Size  Used by
mperf                    935  0
cpufreq_stats           2139  0
bluetooth              55448  2
cpufreq_powersave        650  0
cpufreq_userspace       1464  0
cpufreq_conservative     3791  0
binfmt_misc             4994  1
uinput                  5172  1
fuse                   49890  3
acpiphp                12757  0
loop                   10809  0
tpm_tis                 5725  0
...
```

Anatomía de un módulo cargable



- En lugar de una función `main()`, el código de un módulo tiene funciones `init_module()` y `cleanup_module()`
  - `init_module()` se invoca cuando se carga el módulo del kernel
  - `cleanup_module()` se invoca al eliminar/descargar el módulo del kernel
- Al compilar el módulo se genera un fichero `.ko` que es un fichero objeto ELF (*Executable and Linkable Format*) especial

Carga y descarga de módulos

- Para cargar el módulo se usa el comando `insmod`

```
$ insmod my_module.ko
```

- Un módulo puede descargarse con `rmmod`

```
$ rmmod my_module
```

- Solo el administrador (*root*) puede ejecutar ambos comandos
  - En la máquina virtual, usar `sudo <comando>` (+ password de `usuarioso`)

Módulo del kernel ("Hello World")

hello.c

```c
#include <linux/module.h> /* Needed by all modules */
#include <linux/kernel.h> /* Needed for KERN_INFO */

int init_module(void)
{
    printk(KERN_INFO "Hello world.\n");

    /*
     * A non 0 return means init_module failed; module can't be loaded.
     */
    return 0;
}

void cleanup_module(void)
{
    printk(KERN_INFO "Goodbye world.\n");
}
```

Compilación de Módulos

- **Compilación gestionada mediante un fichero *Makefile***
  - Es necesario tener instalados los ficheros de cabecera (_headers_) del kernel en ejecución (ya instalados en la máquina virtual)
  - El *Makefile* debe estar **ubicado en el mismo directorio que las fuentes** del módulo
    - Para compilar, teclear `make`
    - "`make clean`": borrar ficheros resultantes de la compilación
    - La ruta donde se almacena el Makefile/fuentes NO puede contener espacios

Makefile (módulo de un solo fichero .c)

```
obj-m =  hello.o

all:
    make -C /lib/modules/$(shell uname -r)/build M=$(PWD) modules

clean:
    make -C /lib/modules/$(shell uname -r)/build M=$(PWD) clean
```

Ejemplo: compilación, carga y descarga (I)

Terminal

```
osuser@debian:~/A4Files/Hello$ ls
Makefile  hello.c
osuser@debian:~/A4Files/Hello$ make
make -C /lib/modules/4.9.111-lin/build M=/home/osuser/A4Files/Hello modules
make[1]: Entering directory `/usr/src/linux-headers-4.9.111-lin'
  CC [M]  /home/osuser/A4Files/Hello/hello.o
  Building modules, stage 2.
  MODPOST 1 modules
  CC      /home/osuser/A4Files/Hello/hello.mod.o
  LD [M]  /home/osuser/A4Files/Hello/hello.ko
make[1]: Leaving directory `/usr/src/linux-headers-4.9.111-lin'
osuser@debian:~/A4Files/Hello$ sudo insmod hello.ko
[sudo] password for osuser:
osuser@debian:~/A4Files/Hello$ lsmod | head
Module                  Size  Used by
hello                    836  0
binfmt_misc             6160  1
uinput                  6879  1
nfsd                  198017  2
auth_rpcgss            37914  1 nfsd
oid_registry            2051  1 auth_rpcgss
exportfs                3400  1 nfsd
nfs_acl                 2175  1 nfsd
nfs                   152253  0
```

Ejemplo: compilación, carga y descarga (II)

Terminal

```
osuser@debian:~/A4Files/Hello$ sudo dmesg | tail
[ 4229.560018] usb 1-2.1: Product: Virtual Bluetooth Adapter
[ 4229.560022] usb 1-2.1: Manufacturer: VMware
[ 4229.560026] usb 1-2.1: SerialNumber: 000650268328
[ 4645.867113] hello: module license 'unspecified' taints kernel.
[ 4645.867117] Disabling lock debugging due to kernel taint
[ 4645.867748] Hello world.
osuser@debian:~/A4Files/Hello$ sudo rmmod hello
osuser@debian:~/A4Files/Hello$ sudo dmesg | tail
[ 4229.396166] IPv6: ADDRCONF(NETDEV_CHANGE): eth0: link becomes ready
[ 4229.560005] usb 1-2.1: New USB device found, idVendor=0e0f, idProduct=0008
[ 4229.560013] usb 1-2.1: New USB device strings: Mfr=1, Product=2, SerialNumber=3
[ 4229.560018] usb 1-2.1: Product: Virtual Bluetooth Adapter
[ 4229.560022] usb 1-2.1: Manufacturer: VMware
[ 4229.560026] usb 1-2.1: SerialNumber: 000650268328
[ 4645.867113] hello: module license 'unspecified' taints kernel.
[ 4645.867117] Disabling lock debugging due to kernel taint
[ 4645.867748] Hello world.
[ 4741.556845] Goodbye world.
osuser@debian:~/A4Files/Hello$ lsmod | head
Module                  Size  Used by
binfmt_misc             6160  1
uinput                  6879  1
nfsd                  198017  2
```

API del kernel para módulos

- En el kernel no hay libc
  - Solo se implementan algunas funciones de la libc
- Los módulos del kernel pueden invocar funciones del kernel para asignar memoria, administrar temporizadores, etc
  - Uso avanzado del API para módulos: **Optativa "Arquitectura Interna de Linux y Android"**

Manejo de Cadenas

```
strlen, sprintf, strcmp, strncmp, sscanf, strcat, memset, memcpy, strtok, ...
```

Reservar y liberar memoria dinámica <linux/vmalloc.h>

```
void *vmalloc( unsigned long size );
void vfree( void *addr );
```

Otras funciones útiles

Incrementar/decrementar contador de referencia del módulo

- `try_module_get(THIS_MODULE);`
- `module_put(THIS_MODULE);`

Copia espacio usuario $\Longleftrightarrow$ kernel `<linux/uaccess.h>`

- `copy_from_user(), copy_to_user(), get_user(), put_user()`

Contenido

Drivers de dispositivos de caracteres

Interfaz para drivers de dispositivos de caracteres

```
struct file_operations {
    struct module *owner;
    loff_t (*llseek) (struct file *, loff_t, int);
    ssize_t (*read) (struct file *, char __user *, size_t, loff_t *);
    ssize_t (*aio_read) (struct kiocb *, char __user *, size_t, loff_t);
    ssize_t (*write) (struct file *, const char __user *, size_t, loff_t *);
    ssize_t (*aio_write) (struct kiocb *, const char __user *, size_t, loff_t);
    int (*readdir) (struct file *, void *, filldir_t);
    unsigned int (*poll) (struct file *, struct poll_table_struct *);
    int (*ioctl) (struct inode *, struct file *, unsigned int, unsigned long);
    int (*mmap) (struct file *, struct vm_area_struct *);
    int (*open) (struct inode *, struct file *);
    int (*flush) (struct file *);
    int (*release) (struct inode *, struct file *);
    int (*fsync) (struct file *, struct dentry *, int datasync);
    int (*aio_fsync) (struct kiocb *, int datasync);
    int (*fasync) (int, struct file *, int);
    int (*lock) (struct file *, int, struct file_lock *);
....
};
```

Implementación de un driver

1. Crear un módulo del kernel con funciones `init_module()` y `cleanup_module()`
2. Implementar las operaciones de la interfaz del disp. caracteres
   - `struct file_operations`
3. En la función de inicialización:
   - Reservar major number y rango de minor numbers para el driver
     - `alloc_chrdev_region()`
   - Crear una estructura `cdev` y asociarle las operaciones y el rango de major/minor
     - Usar `cdev_alloc()`, `cdev_init()` y `cdev_add()`
4. En la función de descarga:
   - Destruir estructura `cdev_t`
     - `cdev_del()`
   - Liberar el rango de (major, minor) reservado
     - `unregister_chrdev_region()`

Representación de (major,minor) en el kernel

- En el kernel Linux el par *(major,minor)* está representado mediante el tipo `dev_t`
  - `dev_t`: número de 32 bits (12 bits major, 20 bits minor)
- Por motivos históricos el empaquetamiento es complejo, se utilizan macros:
  - Acceso a números: `MAJOR(dev_t dev)`, `MINOR(dev_t dev)`
  - Construcción de par: `MKDEV(int major, int minor)`
    - Ejemplo: `dev_t pair=MKDEV(4,1);`

Descripción de la API (I)

alloc_chrdev_region()

```
#include <linux/fs.h>
int alloc_chrdev_region(dev_t *first, unsigned int firstminor,
                        unsigned int count, char *name);
```

- **Descripcion:**
  - Reserva rango (major,minor) consecutivo cuando *major* desconocido
- **Parámetros**:
  - `first`: Parámetro de retorno. Primer par (major,minor) que el kernel reserva para el *driver*
  - `firstminor`: Menor *minor number* a reservar dentro del rango consecutivo que otorga el kernel
  - `count`: Número de *minor numbers* a reservar para el *driver*
  - `name`: Nombre del driver (cadena de caracteres arbitraria.) Es el valor que aparecerá en `/proc/devices` al cargar el driver
- **Valor de retorno**: 0 en caso de éxito. En caso de fallo, devuelve valor negativo que codifica el error.

Descripción de la API (II)

unregister_chrdev_region()

```
#include <linux/fs.h>
int unregister_chrdev_region(dev_t first, unsigned int count);
```

- **Descripción:**
  - Liberación de rango de pares (major,minor) del *driver*
- **Parámetros**:
  - `first`: Primer par (major,minor) que el driver había reservado previamente
  - `count`: Número de *minor numbers* consecutivos que el *driver* había reservado
- **Valor de retorno**: 0 en caso de éxito. En caso de fallo, devuelve valor negativo que codifica el error.

Estructura cdev

- Para que el driver pueda recibir peticiones de los programas de usuario, debe crear una estructura cdev e inicializarla adecuadamente

Operaciones sobre `struct cdev <linux/cdev.h>`

```
struct cdev *cdev_alloc(void);
```

- Crea estructura cdev y retorna un puntero no nulo a la misma en caso de éxito

```
void cdev_init(struct cdev *p, struct file_operations *fops);
```

- Asocia interfaz de operaciones del driver a estructura cdev

```
int cdev_add(struct cdev *p, dev_t first, unsigned count);
```

- Permite que peticiones de programas de usuario sobre el rango de (major,minor) especificado mediante parámetros `first` y `count` sean redirigidas al driver que gestiona estructura cdev

cdev structure

Operaciones sobre `struct cdev <linux/cdev.h>`

```
void cdev_del(struct cdev *p);
```

- Elimina asociaciones de estructura cdev (rangos de major/minor) y libera memoria asociada a la estructura

Ejemplo: chardev.c (1/4)

```
#include <linux/kernel.h>

int init_module(void);
void cleanup_module(void);
static int device_open(struct inode *, struct file *);
static int device_release(struct inode *, struct file *);
static ssize_t device_read(struct file *, char *, size_t, loff_t *);
static ssize_t device_write(struct file *, const char *, size_t, loff_t *);

#define DEVICE_NAME "chardev" /* Dev name as it appears in /proc/devices */
...
dev_t start;            /* Starting (major,minor) pair for the driver */
struct cdev* chardev=NULL; /* Cdev structure associated with the driver */

...

static struct file_operations fops = {
   .read = device_read,
   .write = device_write,
   .open = device_open,
   .release = device_release
};
```

Ejemplo chardev.c (2/4)

```
/* This function is called when the module is loaded */
int init_module(void) {
   int major;    /* Major number assigned to our device driver */
   int minor;    /* Minor number assigned to the associated character device */
   int ret;

   /* Get available (major,minor) range */
   if ((ret=alloc_chrdev_region(&start, 0, 1,DEVICE_NAME)){
      ... Error handling ...
      return ret;
   }

   /* Create associated cdev */
   if ((chardev=cdev_alloc())==NULL)
      return -ENOMEM;

   cdev_init(chardev,&fops);

   if ((ret=cdev_add(chardev,start,1))){
      ... Error handling ...
      return ret;
   }

   ...
}
```

Ejemplo: chardev.c (3/4)

```c
/* This function is called when the module is loaded */
int init_module(void) {

   ....

   major=MAJOR(start);
   minor=MINOR(start);

   printk(KERN_INFO "I was assigned major number %d. To talk to\n", major);
   printk(KERN_INFO "the driver, create a dev file with\n");
   printk(KERN_INFO "'sudo mknod -m 666 /dev/%s c %d %d'.\n", DEVICE_NAME, major,minor);
   printk(KERN_INFO "Try to cat and echo to the device file.\n");
   printk(KERN_INFO "Remove the device file and module when done.\n");

   return SUCCESS;
}
```

Ejemplo: chardev.c (4/4)

```c
/* This function is called when the module is unloaded */
void cleanup_module(void)
{
    /* Destroy chardev */
    if (chardev)
        cdev_del(chardev);

    /*
     * Unregister the device
     */
    unregister_chrdev_region(start, 1);
}
```

operaciones `read()`/`write()`

```
static ssize_t device_read(struct file *file, char *buff, size_t len, loff_t *off);
static ssize_t device_write(struct file *file, const char *buff, size_t len, loff_t *off);
```

Parámetros relevantes

- `buff`: buffer de bytes o caracteres donde el usuario nos pasa los datos (`write()`) o donde debemos devolverle los datos (`read()`)
- `len`
  - Lectura → número máximo de bytes/caracteres que podemos escribir en `buff`
  - Escritura → número máximo de bytes/caracteres que el usuario escribió y se almacenan en `buff`

Valor de retorno

- Devuelve número de bytes que el kernel lee de `buff` (en `write()`) o escribe en `buff` (`read()`)
  - 0 →fin de fichero en `read()` (no hay nada más que leer)
- $< 0 \rightarrow$ error

Punteros al espacio de usuario (I)

- **Puntero al espacio de usuario**: puntero pasado como parámetro en llamada al sistema (p.ej.,`read()` o `write()`)
  - Las operaciones `read` y `write` que implementa un driver aceptan como parámetro un puntero al buffer del proceso de usuario
- No debemos confiar en los punteros al espacio de usuario. Puntero potencialmente corrupto:
  - Puntero NULL
  - Región de memoria a la que el proceso no tiene acceso

Punteros al espacio de usuario (II)

- Siempre se ha de trabajar con una copia privada de los datos en espacio de kernel
  - Por ejemplo, declarar array `char kbuf[MAX_CHARS]` local a las funciones read() y write()
  - En `read()`: trabajar sobre `kbuf` + copiar contenido de `kbuf` a buffer de usuario con `copy_to_user()`
  - En `write()`: copiar datos de buffer de usuario a `kbuf` (`copy_from_user()`) + realizar procesamiento sobre `kbuf`

<linux/uaccess.h>

```
unsigned long copy_from_user(void *to, const void __user *from,
                             unsigned long n);
unsigned long copy_to_user(void __user *to, const void *from,
                           unsigned long n);
```

- Semántica de copia similar a `memcpy()`
- Ambas funciones devuelven el número de bytes que NO pudieron copiarse

Ejemplo: chardev (Compilación y Carga)

Terminal

```
osuser@debian:~/A4Files$ ls
Chardev  Hello
osuser@debian:~/A4Files$ cd Chardev/
osuser@debian:~/A4Files/Chardev$ ls
Makefile  chardev.c
osuser@debian:~/A4Files/Chardev$ make
make -C /lib/modules/4.9.111-lin/build M=/home/osuser/A4Files/Chardev modules
make[1]: Entering directory `/usr/src/linux-headers-4.9.111-lin'
  CC [M]  /home/osuser/A4Files/Chardev/chardev.o
  Building modules, stage 2.
  MODPOST 1 modules
  CC      /home/osuser/A4Files/Chardev/chardev.mod.o
  LD [M]  /home/osuser/A4Files/Chardev/chardev.ko
make[1]: Leaving directory `/usr/src/linux-headers-4.9.111-lin'
osuser@debian:~/A4Files/Chardev$ sudo insmod chardev.ko
[sudo] password for osuser:
osuser@debian:~/A4Files/Chardev$ lsmod | head
Module                  Size  Used by
chardev                 2208  0
binfmt_misc             6160  1
uinput                  6879  1
nfsd                  198017  2
auth_rpcgss            37914  1 nfsd
oid_registry            2051  1 auth_rpcgss
```

Ejemplo: chardev (Listado drivers)

Terminal

```
osuser@debian:~/A4Files/Chardev$ cat /proc/devices
Character devices:
  1 mem
  4 /dev/vc/0
  4 tty
  4 ttyS
  5 /dev/tty
  5 /dev/console
  5 /dev/ptmx
  7 vcs
 10 misc
 13 input
 21 sg
 29 fb
108 ppp
128 ptm
136 pts
180 usb
189 usb_device
226 drm
248 chardev
249 hidraw
250 bsg
251 watchdog
```

Invocar funciones del driver

Para usar las funciones del driver...

1. Crear un fichero especial de caracteres con `mknod` (como root)
   - `sudo mknod -m 666 <ruta_fich_especial> c <major> <minor>`
     - `-m 666`: dar permiso de lectura/escritura a todos los usuarios
   - El *major number* para el driver se puede consultar en el fichero especial `/proc/devices`
2. Acceder al fichero de dispositivo creado:
   - Desde un programa de usuario: `open()`, `read()`, `write()`, `close()`
   - Desde el shell: `cat`, `echo`
     - `cat <ruta_fich_especial>` → Lee del fich. de dispositivo hasta EOF (potencialmente varios `read()`) y muestra contenido recibido por pantalla
     - `echo "hola" > <ruta_fich_especial>` → Escribe la cadena "hola\n" (sin el '\0' al final) en el fichero de dispositivo

Ejemplo: chardev (Creación del fich. especial)

Terminal

```
osuser@debian:~/A4Files/Chardev$ sudo dmesg | tail
....
[13165.925127] I was assigned major number 248. To talk to
[13165.925130] the driver, create a dev file with
[13165.925132] 'sudo mknod -m 666 /dev/chardev c 248 0'.
[13165.925133] Try to cat and echo to the device file.
[13165.925134] Remove the device file and module when done.
osuser@debian:~/A4Files/Chardev$ sudo mknod -m 666 /dev/chardev c 248 0
osuser@debian:~/A4Files/Chardev$ stat /dev/chardev
  File: `/dev/chardev'
  Size: 0           Blocks: 0          IO Block: 4096   character special file
Device: 4h/4d   Inode: 32859       Links: 1     Device type: f8,0
Access: (0666/crw-rw-rw-)  Uid: (    0/    root)   Gid: (    0/    root)
Access: 2018-12-2 19:49:25.720129709 +0100
Modify: 2018-12-2 19:49:25.720129709 +0100
Change: 2018-12-2 19:49:25.720129709 +0100
 Birth: -
osuser@debian:~/A4Files/Chardev$ ls -l /dev/chardev
crw-rw-rw- 1 root root 248, 0 Dec 2 19:49 /dev/chardev
osuser@debian:~/A4Files/Chardev$
```

Ejemplo: chardev (Manipulación del disp.)

Terminal

```
osuser@debian:~/A4Files/Chardev$ cat /dev/chardev
I already told you 0 times Hello world!
osuser@debian:~/A4Files/Chardev$ cat /dev/chardev
I already told you 1 times Hello world!
osuser@debian:~/A4Files/Chardev$ cat /dev/chardev
I already told you 2 times Hello world!
osuser@debian:~/A4Files/Chardev$ echo hello > /dev/chardev
-bash: echo: write error: Operation not permitted
osuser@debian:~/A4Files/Chardev$
```

Contenido

Práctica

Requisitos

1. Es obligatorio usar la máquina virtual de Debian o Ubuntu
   - Versión específica del kernel Linux (4.9.x-4.15.x)
   - Acceso como administrador (*root*)
     - Ejecutar comando como root vía sudo + password "usuarioso":

       ```
       $ sudo <comando>
       ```

     - Iniciar `shell` de root vía sudo:

       ```
       $ sudo -i
       ```

2. Necesario usar un equipo con teclado estándar para hacer la práctica
   - En portátiles sin LEDs (p.ej., Mac) es posible conectar un teclado USB al portátil y hacer que la máquina virtual VMware lo gestione (solo MV Debian)
     - Connecting a second mouse or keyboard directly to a hosted VM

Desarrollo de la práctica

1. Leer detenidamente el guión
2. Realizar los ejercicios del guión
3. Implementar código de la práctica:
   - (**Parte obligatoria**) Crear un driver (`chardev_leds.c`) que controle los *leds* del teclado de un PC
     - Reutilizar código de los diversos ejemplos que se proporcionan
   - (**Parte opcional**) Escribir programa de usuario `leds_user.c` que modifique el estado de los leds del teclado usando el driver de la parte obligatoria

Sesiones de laboratorio Práctica 4

- Solo se comprobará el funcionamiento de la práctica durante las dos últimas sesiones (11 y 18 de enero)
  - Si se desea retroalimentación por parte de los profesores se ha de mostrar el funcionamiento de la práctica **presencialmente** durante la sesión correspondiente al color asignado
  - Obligatorio usar el puesto de laboratorio con MV de Debian o Ubuntu para ello
- No se habilitará entrega de esta práctica por el campus virtual