

kernel II - System Calls y Módulos

Explicación de práctica 2

Sistemas Operativos

Facultad de Informática
Universidad Nacional de La Plata

2021



- ① Kernel
- ② System Calls
- ③ Módulos



① Kernel

② System Calls

③ Módulos



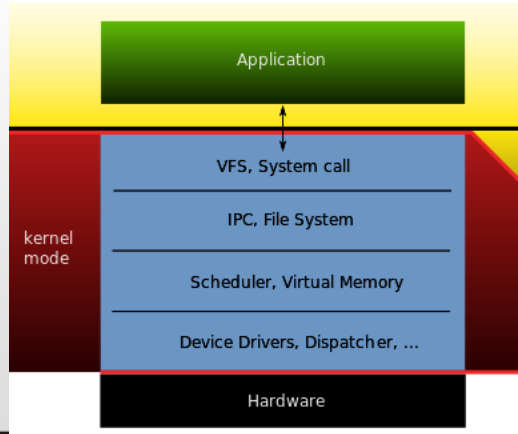
- 2,4 millones de líneas de código(y contando...)
- El 70 % del código son drivers
- Windows: mas del doble de líneas!
- Tasa de errores en drivers con respecto al Kernel: 7 veces mas
 - Fuente:<http://pdos.csail.mit.edu/6.097/readings/osbugs.pdf>
- Comparación con la aeronáutica:
 - Aislamiento de fallas
 - Un problema en el toilet no afecta al sistema de navegación!



Kernel Monolítico - Memoria compartida

- Componentes linkeados en un mismo binario en memoria.
- Memoria Compartida(¡sincronización!)
- Scheduler, Drivers, Memory Manager, etc. mismo espacio en memoria

Monolithic Kernel based Operating System

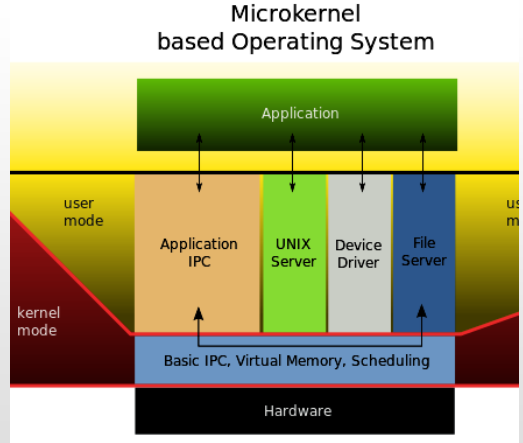


- ¿Que sucede si hay un error en un driver?
 - Windows: BSD(blue screen of death).
 - Unix: Kernel Panic.
- Un único gran componente linkeado en un mismo espacio de direcciones implica un módulo muy grande y complejo.
- La razón de tener un único gran componente linkeado en un mismo espacio de direcciones se debe a cuestiones de performance por limitaciones de hardware tomadas hace mucho tiempo.
- ¿Hoy en día la decisión sería la misma?



Microkernel - Procesos de usuario

- Componentes del kernel en distintos procesos de USUARIO
- Kernel minimalista (comunicación con el hard e IPC)
- IPC (¡Computación distribuida!)
 - Scheduler, Drivers, Memory Manager en distintos procesos de Usuario
 - IPC es parte del Kernel (muchos cambios de modo)



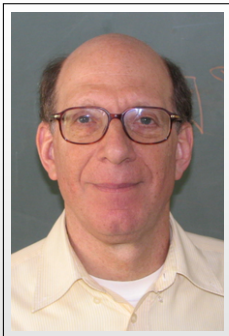
- Pros
 - Facilidad para desarrollar servicios del SO.
 - Los bugs existen y existirán siempre, entonces deben ser aislados.
 - Kernel muy pequeño, entonces mas fácil de entender, actualizar y optimizar.
- Contras
 - Baja performance
 - La computación distribuida es inherente mas compleja que la computación por memoria compartida
 - No fue adoptado masivamente por la industria(ej. Minix)



Torvalds – Tanenbaum debate



vs



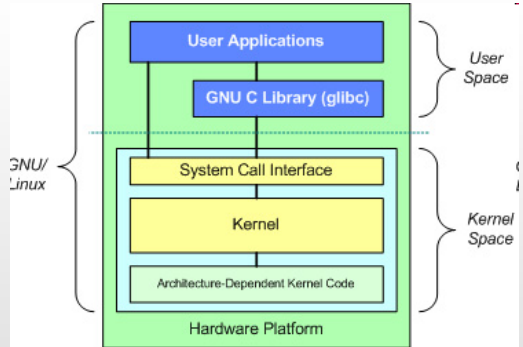
<http://en.wikipedia.org/wiki/Tanenbaum>



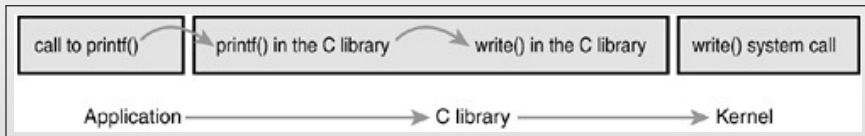
- 1 Kernel
- 2 System Calls
- 3 Módulos



- Los SOs proveen un conjunto de interfaces mediante las cuales un proceso que corre en espacio de usuario accede a un conjunto de funciones comunes
- En UNIX la API principal que provee estos servicios es libc:
 - Es la **API** principal del SO
 - Provee las librerías estándar de C
 - Es una Interface entre aplicaciones de usuario y las **System Calls** (System Call Wrappers).



- La funcionalidad anterior está definida por el estandar POSIX
- Su propósito es proveer una interfaz común para lograr portabilidad
- En el caso de las System Calls, el desarrollador generalmente interactúa con la *API* y NO directamente con el Kernel
- En UNIX por lo general cada función de la **API** se corresponde con una **System Call**



- Son llamados al kernel para ejecutar una función específica que controla un dispositivo o ejecuta una instrucción privilegiada
- Su propósito es proveer una interfaz común para lograr portabilidad
- Su funcionalidad se ejecuta en modo Kernel pero en contexto del proceso
- Recordar
 - Cambio de Modo
 - ¿Como se pasa de modo usuario a modo Kernel?



- Utilizando los wrappers de glibc
 - `int rc = chmod(``/etc/passwd`` , 0444);`
- Invocación explícita utilizando la System Call **syscall** provista por glibc
 - Definida en la libreria unistd.h
 - `long int syscall (long int sysno, ...)`
 - Ejemplo utilizando syscall:
 - `rc = syscall(SYS_chmod, ``/etc/passwd``, 0444);`



```
#include <stdlib.h>
#include <sys/syscall.h>
#include <sys/time.h>
#include <unistd.h>
#define SYS_gettimeofday 78

void main(void) {
    struct timeval tv;
    /* usando el wrapper de glibc */
    gettimeofday(&tv, NULL);
    /* Invocación explícita del system call */
    syscall(SYS_gettimeofday, &tv, NULL);
}
```



- La manera en que una system call es llevada a cabo dependerá del procesador.
 - Los procesadores x86 se basan en el mecanismo de interrupciones.
- Interrupción enmascarable int 0x80 en Linux.
 - Se usa el vector 0x80 para transferir el control al kernel. Este vector de interrupción está inicializado durante el startup del sistema [ref].
- Una librería de espacio de usuario(libc) carga el índice de la system call y sus argumentos, la interrupción enmascarable por software 0x80 es invocada, la cual resulta en el cambio de modo.
- A través de la estructura sys_call_table y el registro eax como índice se determina que *handler function* invocar.



Consideremos el siguiente caso:

```
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <syscall.h>
#include <unistd.h>
#define sys_getpid 20
int main(void) {
    long ID = syscall(SYS_getpid);
    printf ("El pId del proceso es:\n", ID);
}
```



El compilador generará algo parecido a:

```
...  
movzwl 12(%esp), %eax  
movl  %eax, 4(%esp)  
movl  $20, %eax  
movl  4(%esp), %ebx  
int  $0x80  
movl  %eax, %edx  
testl %edx, %edx  
jge  L2  
negl  %edx  
movl  %edx, _errno  
...
```



Desarrollando una System Calls en GNU Linux

- Debemos identificar nuestra syscall por un número único(syscall number).
- Agregamos una entrada a la syscall table.
- Debemos considerar el sys call number.
- Ver que el código fuente organizado por arquitectura.
- Respetar las convenciones del Kernel(ej. prefijo `sys_` y `__x64_sys_`).

```
/usr/src/linux-⟨X⟩/arch/x86/entry/syscalls/syscall_64.tbl
```

number	abi	name	entry point
...			
351	common	newcall	__x64_sys_newcall



- Debemos declarar nuestra system call (prototipo de de la syscall)
- Los parámetros a system calls deben ser realizados por medio del stack
- Informamos de esto al compilador mediante la macro asmlinkage
 - **asmlinkage** instruye al compilador a pasar parámetros por stack y no por ejemplo en registros

```
/usr/src/linux-5.6/include/linux/syscalls.h
```

```
asmlinkage long sys_newcall(int i);
```



Desarrollando una System Calls en GNU Linux

- Debemos definir nuestra syscall en algún punto del árbol de fuentes.
- Podemos utilizar algún archivo existente.
- Podemos incluir un nuevo archivo y su correspondiente Makefile.
 - Ver apuntes adjuntos

En algún archivo ya incluido en los fuentes del kernel...

Manualmente:

```
asmlinkage int sys_newcall(int a)
{
    printk("calling newcall... ");
    return a+1;
}
```

De la forma recomendada:

```
SYSCALL_DEFINE1(newcall, int, a)
{
    printk("calling newcall... ");
    return a+1;
}
```

- ¿printk?, ¿porque no printf?



- **Recompilar el Kernel!**
 - Idem Práctica 2



Invocando explícitamente nuestra System Call

```
#include <syscalls.h>
#include <linux/unistd.h>
#include <stdio.h>
#define sys_newcall 351
int main(void) {
    int i = syscall(sys_newcall,1);
    printf ("El resultado es: %d\n", i);
}
```



- **Reporta las system calls que realiza cualquier programa**
- `man strace`
- Opción útil `-f` (tiene en cuenta procesos hijos)

```
strace a.out (hola mundo)
```

```
execve("./syscall.o", ["./syscall.o"], [/* 19 vars */]) = 0
```

```
...
```

```
mmap(NULL, 8192, PROT_READ—PROT_WRITE,  
MAP_PRIVATE—MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x7f12ea552000
```

```
...
```

```
write(1, "hola mundo!", 11hola mundo!) = 11
```

```
...
```



- Realizar un parche que contenga los cambios asociados a la siguiente *system call*:
 - Simplemente debe imprimir el texto “Hello world” a través de la función *printf*
 - Se debe hacer sobre la versión utilizada en la práctica anterior
- Tips:
 - Utilizar explicación y práctica para guiarse
 - <https://elixir.bootlin.com/linux/latest/source>



- ¿Dónde incluir la implementación?
 - Dos opciones:
 - Incluir el código en un fichero existente
 - Agregar un nuevo fichero } modificar *Makefile* existente
 - Crearemos un nuevo fichero *.c* bajo el directorio *<source>/kernel*

```
#include <linux/syscalls.h> /* For SYSCALL_DEFINEi () */  
#include <linux/kernel.h>
```

```
SYSCALL_DEFINE0 (mysyscall)  
{  
    printk (KERN_DEBUG "Hello world\n");  
    return 0;  
}
```



```
#  
# Makefile for the linux kernel.  
#  
  
obj-y = ...  
        async.o range.o groups.o smpboot.o msyscall.o  
...  

```



```
#include <linux/errno.h>
#include <sys/syscall.h>
#include <linux/unistd.h>
#include <stdio.h>

#define __NR_MYSYSCALL -num-syscall-

int main() {
    printf("Invocando system call...\n");
    return syscall(__NR_MYSYSCALL);
}
```

```
$ gcc mysyscall.c -o mysyscall
$ ./mysyscall
```



```
## Crear parche
```

```
$ diff -urpN linux-5.6 linux-5.6-modificado > patch-5.6.2-so2021
```

¡No olvidar ejecutar!:

```
$ make mrproper
```

Nota

mrproper - Remove all generated files + config + various backup files



① Kernel

② System Calls

③ Módulos



¿Que son los Módulos del Kernel?

- “Pedazos de código” que pueden ser cargados y descargados bajo demanda
- Extienden la funcionalidad del kernel
- Sin ellos el kernel sería 100 % monolítico
 - Monolítico “hibrido”
- No recompilar ni rebootear el kernel



- `lsmod`
 - Lista los módulos cargados (es equivalente a `cat /proc/modules`)
- `rmmod`
 - Descarga uno o más módulos
- `modinfo`
 - Muestra información sobre el módulo
- `insmod`
 - Trata de cargar el módulo especificado
- `depmod`
 - Permite calcular las dependencias de un módulo
 - `depmod -a` escribe las dependencias en el archivo `/lib/modules/version/modules.dep`
- `modprobe`
 - Emplea la información generada por `depmod` e información de `/etc/modules.conf` para cargar el módulo especificado.



- Debemos proveer dos funciones:
 - Inicialización: Ejecutada cuando ejecutamos insmod.
 - Descarga: Ejecutada cuando ejecutamos rmmod.

```
#include <linux/module.h>
#include <linux/kernel.h>
int init_module(void) {
    printk(KERN_INFO "Hello world 1.\n");
return 0;
}

void cleanup_module(void) {
    printk(KERN_INFO "Goodbye world 1.\n");
}
```



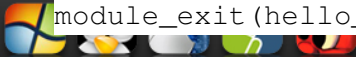
- También podemos indicarle otras funciones.

- `module_init()`
- `module_exit()`

```
#include <linux/module.h>
#include <linux/kernel.h>
#include <linux/init.h>
static int hello_init(void) {
    printk(KERN_INFO "Hello! \n");
return 0;}

static void hello_exit(void) {
printk(KERN_INFO "Goodbye! \n");}

module_init(hello_init);
module_exit(hello_exit);
```



- Se definen con la macro `module_param`
 - `name`: Es el nombre del parámetro expuesto al usuario y de la variable que contiene el parámetro en nuestro módulo
 - `type`: `byte`, `short`, `ushort`, `int`, `uint`, `long`, `ulong`, `charp`, `bool`, `invbool`
 - `perm`: Especifica los permisos al archivo correspondiente al módulo el `sysfs`

```
static char *user_name = "";  
module_param(user_name, charp, 0);  
MODULE_PARM_DESC(user_name, "user name");
```

Al cargar el módulo indicamos el valor del parámetro:

```
$ sudo insmod hello.ko user_name=colo
```



- Construimos el Makefile

```
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
```

- Compilamos

```
$ make
```



- Entendemos por dispositivo a cualquier dispositivo de hard: discos, memoria, mouse, etc
- Cada operación sobre un dispositivo es llevada por código específico para el dispositivo
- Este código se denomina “driver” y se implementa como un módulo
- Cada dispositivo de hardware es un archivo (abstracción)
- Ejemplo: `/dev/hda`
 - En realidad no es un archivo.
 - Si leemos/escribimos desde él lo hacemos sobre datos “crudos” del disco (bulk data).
- Accedemos a estos archivos mediante operaciones básicas (espacio del kernel).
 - `read`, `write`: escribir y recuperar bulk data
 - `ioctl`: configurar el dispositivo



- Podemos clasificar el hard en varios tipos.
 - Dispositivos de acceso aleatorio(ej. discos).
 - Dispositivos seriales(ej. Mouse, sonido,etc).
- Acorde a esto los drivers se clasifican en:
 - Drivers de bloques: son un grupo de bloques de datos persistentes. Leemos y escribimos de a bloques, generalmente de 1024 bytes.
 - Drivers de carácter: Se accede de a 1 byte a la vez y 1 byte sólo puede ser leído por única vez.
 - Drivers de red: tarjetas ethernet, WIFI, etc.



- Major y Minor device number.
 - Los dispositivos se dividen en números llamados major device number. Ej: los discos SCSI tienen el major number 8.
 - Cada dispositivo tiene su minor device number. Ejemplo: /dev/sda major number 8 y minor number 0
- Con el major y el minor number el kernel identifica un dispositivo.
- `kernel_code/linux/Documentation/devices.txt`

```
# ls -l /dev/hda[1-3]  
brw-rw---- 1 root disk 3, 1 Abr 9 15:24 /dev/hda1  
brw-rw---- 1 root disk 3, 2 Abr 9 15:24 /dev/hda2  
brw-rw---- 1 root disk 3, 3 Abr 9 15:24 /dev/hda3
```



- Representación de los dispositivos(device files)
- Por convención están en el /dev
- Se crean mediante el comando mknod.

```
mknod[- m<mode >] file[b|c ]major minor
```

- b o c: según se trate de dispositivos de caracter o de bloque.
- El minor y el major number lo obtenemos de `kernel_code/linux/Documentation/devices.txt`



- Necesitamos decirle al kernel:
 - Que hacer cuando se escribe al device file.
 - Que hacer cuando se lee desde el device file..
- Todo esto lo hacemos en un módulo.
- La struct **file_operations**:
 - Sirve para decirle al kernel como leer y/o escribir al dispositivo.
 - Cada variable posee un puntero a las funciones que implementan las operaciones sobre el dispositivo.



- Mediante la struct **file_operations** especifico que funciones leen/escriben al dispositivo.

```
struct file_operations my_driver_fops = {  
    read: myDriver_read,  
    write: myDriver_write,  
    open: myDriver_open,  
    release: mydriver_release};
```

- En la función module_init registro mi driver.

```
register_chrdev(major_number, "myDriver", &my_driver_fops);
```

- En la función module_exit desregistro mi driver.

```
unregister_chrdev(major_number, "myDriver");
```



¿Como creamos un driver?(Cont..)

- Operaciones sobre el dispositivo
 - Escritura del archivo de dispositivo

```
echo "hi" > /dev/myDeviceFile
```

```
ssize_t myDriver_write(struct file *filp, char *buf, size_t  
count, loff_t *f_pos);
```

- Lectura del archivo de dispositivo

```
cat /dev/myDeviceFile
```

```
ssize_t myDriver_read(struct file *filp, char *buf, size_t  
count, loff_t *f_pos)
```



- Parámetros de las funciones funciones:
 - `struct file`: Estructura del kernel que representa un archivo abierto.
 - `char *buf`: El dato a leer o a escribir desde/hacia el dispositivo(espacio de usuario)
 - `size_t count`: La longitud de a leer de `buf`.
 - `loff_t *f_pos`: La posición actual en el archivo



Sección "Desarrollando un Driver" de la Práctica 3(Ejercicio guiado)



- El /proc es un sistema de ficheros virtual
 - No ocupa espacio en disco
- Al leer o escribir en un archivo de este sistema del /proc se ejecuta una función del kernel que devuelve o recibe los datos
 - Lectura: read callback
 - Escritura: write callback
- En Linux, /proc muestra información de los procesos, uso de memoria, módulos, hardware, ...

Mecanismo de interacción entre el usuario y el kernel

Los módulos pueden crear entradas /proc para interactuar con el usuario



- Crear un módulo del kernel con funciones `init_module()` y `cleanup_module()`
- Definir variable global de tipo `struct file_operations`
 - Especifica qué operaciones en el `/proc` se implementan y su asociación con las funciones del módulo

```
struct file_operations fops = {  
    .read = myproc_read,  
    .write = myproc_write,  
};
```



- En la función de inicialización, crear la entrada del /proc con la función `proc_create()`:

```
struct proc_dir_entry *proc_create(const char *name,  
    umode_t mode, struct proc_dir_entry *parent, const  
    struct file_operations *ops);
```

- Parámetros:
 - name: Nombre de la entrada
 - mode: Máscara octal de permisos (p.ej., 0666)
 - parent: Puntero al directorio padre (NULL → directorio raíz)
 - ops: Puntero a la estructura que define las operaciones
- En la función cleanup del módulo, eliminar la entrada /proc creada

```
void remove_proc_entry(const char *name, struct  
    proc_dir_entry *parent);
```



/proc

Módulo que se comunica con el espacio de usuario a través de una entrada del /proc(analizar el código)

Utilizar:

- 1 Archivo .c
- 2 Makefile

Lo compilamos:

```
$ sudo make  
$ insmod modulo_so.ko
```

Escribimos y leemos al /proc/module_so y analizamos el log

```
$ cat miArchivo > /proc/module_so  
$ dmesg  
$ cat /proc/module_so  
$ dmesg
```



- Implementar un módulo que encienda los leds del teclado en base a un número escrito en una entrada del */proc*.
- Cadena puede incluir los caracteres '1', '2' y '3':
 - Si aparece el '1' → encender Num Lock (bit 1 encendido)
 - Si aparece el '2' → encender Caps Lock (bit 2 encendido)
 - Si aparece el '3' → encender Scroll Lock (bit 0 encendido)
- Tips:
 - KBD Driver
 - Privilegios de *root*
 - En la VM hay que asociar el dispositivo USB



- Utilizar:
 - Fichero .c
 - Makefile

```
#Compilamos el módulo  
$ make
```



#Insertar el módulo

```
$ sudo insmod procleds.ko
```

#Encender leds

```
$ sudo echo 1 > /proc/leds
```

```
$ sudo echo 123 > /proc/leds
```

#Eliminar módulo

```
$ sudo rmmod procleds
```



¿Preguntas?

