

Prácticas de Sistemas Operativos

Toñi Reina, David Ruiz, Juan Antonio Álvarez,
Antonio Tallón, Pablo Neira
Sergio Segura y José Ángel Bernal

Boletín #6: Semáforos

Curso 2008/09

Índice

1. Introducción	2
1.1. Llaves	2
1.2. Facilidades de IPC desde la línea de comandos	3
2. Semáforos en System V	3
2.1. Creación/Acceso de semáforos. <code>semget</code>	3
2.2. Operaciones Down y Up sobre semáforos. <code>semop</code>	5
2.3. Control de semáforos. <code>semctl</code>	6
3. Ejercicios	8

1. Introducción

Para comunicar procesos en UNIX System V se dispone, entre otros, de tres mecanismos:

- los semáforos, que van a permitir sincronizar procesos, y que serán objeto de estudio en este boletín;
- la memoria compartida, para que los procesos puedan compartir su espacio de direcciones virtuales, que queda fuera del ámbito de estas clases de laboratorio.
- las colas de mensajes, que permiten el intercambio de datos con un formato determinado, y que serán la parte central del siguiente boletín.

Estos mecanismos se han implementado de manera uniforme y tienen una serie de características comunes, entre las que están:

- Cada mecanismo tiene una tabla cuyas entradas contienen información acerca del uso del mismo.
- Cada entrada de la tabla tiene una llave numérica elegida por el usuario.
- Cada mecanismo cuenta con una llamada `get()` para crear una entrada nueva o recuperar una existente. La llamada contendrá, el menos, dos argumentos: una llave, y una máscara de indicadores.

1.1. Llaves

Una llave es una variable o constante del tipo `key_t` que se utiliza para identificar colas de mensajes, memoria compartida, y grupos de semáforos.

Un programa puede obtener una llave de tres formas distintas:

- usando la constante `IPC_PRIVATE`, con lo que hacemos que el sistema genere una llave;
- escogiendo al azar un número llave;
- utilizando `ftok()` como veremos a continuación.

Para crear una llave System V se apoya en el concepto de proyecto, con la idea de que todos los mecanismos de comunicación entre procesos que pertenezcan a un mismo proyecto compartan el mismo identificador. Esto impide que procesos que no estén relacionados, por no formar parte de un mismo proyecto, puedan interferirse involuntariamente debido a que usan la misma llave.

La librería estándar de C de System V proporciona la función `ftok()` para convertir una ruta y un identificador de proyecto a una llave de IPC. Esta función tiene la siguiente declaración:

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>

key_t ftok(char *pathname, int id);
```

En el fichero de cabecera `<sys/types.h>` se define el tipo `key_t`, que suele ser un entero de 32 bits.

La función `ftok` devuelve una llave basada en `pathname` e `id`. `pathname` es un nombre de archivo que debe existir en el sistema, y al cual debe poder acceder el proceso que llama a `ftok`. `id` es un entero que identifica al proyecto. `ftok` devolverá la misma llave para rutas enlazadas a un mismo fichero, siempre que se utilice el mismo valor para `id`. Para el mismo fichero, `ftok` devolverá diferentes llaves para distintos valores de `id`.

Si el fichero no es accesible para el proceso, bien porque no existe, bien porque sus permisos lo impiden, `ftok` devolverá el valor -1, que indica que se ha producido un error en la creación de la llave.

Ejemplo 1 *El siguiente trozo de código muestra el uso de la función `ftok`:*

```

key_t llave;
...
llave = ftok("prueba", 1);
if (llave == (key_t) -1) {
    /* Error al crear la llave. Tratamiento del error */
}

```

1.2. Facilidades de IPC desde la línea de comandos

Los programas estándar `ipcs` e `ipcrm` nos permiten controlar los recursos IPC que gestiona el sistema, y nos pueden ser de gran ayuda a la hora de depurar programas que utilizan estos mecanismos. `ipcs` se utiliza para ver qué mecanismos están asignados, y a quién. `ipcrm` se utiliza para liberar un mecanismo asignado. A continuación se explican las opciones más comunes de estos comandos:

ipcs: Si no se muestra ninguna opción, `ipcs` muestra un resumen de la información de control que se almacena para los semáforos, memoria compartida y mensajes que hay asignados. Las principales opciones son:

- q Muestra información de las colas de mensajes que hay activas.
- m Muestra información de los segmentos de memoria compartida que hay activos.
- s Muestra información de los semáforos que hay activos.
- b Muestra información completa sobre los tipos de mecanismos IPC que hay activos.

Ejemplo 2 A continuación se muestra un ejemplo de la salida que mostraría el comando `ipcs`

```

$ ipcs

IPC status from <running system> as of Mon May 5 13:50:44 MEST
2003
T          ID          KEY          MODE          OWNER      GROUP
Message Queues:
q          0 0x3c08204d --rw-r--r-- root root
Shared Memory:
m 0 0x500020c7 --rw-r--r-- root root
Semaphores:
s 0 0x0109522 --rw-r--r-- root      root

```

ipcrm: Algunas de las opciones más comunes son:

- q **msqid** Borra la cola de mensajes cuyo identificador coincide con `msqid`
- m **shmid** Borra la zona de memoria compartida cuyo identificador coincide con `shmid`.
- s **semid** Borra el semáforo cuyo identificador coincide con `semid`.

2. Semáforos en System V

El mecanismo de semáforos implementado en UNIX System V es una generalización del concepto de semáforo visto en teoría, ya que permite manejar un conjunto o grupo de semáforos con un identificador asociado. Cuando realicemos una operación `Down` o `Up`, éstas actuarán de forma atómica sobre los semáforos del grupos.

2.1. Creación/Acceso de semáforos. `semget`

Con la llamada `semget` podemos crear o acceder a un grupo de semáforos que tienen un identificador común. Además inicia todos los semáforos del grupo a 0:

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/sem.h>

int semget (key_t key, int nsems, int semflg);
```

donde:

key Es la llave que indica a qué grupo de semáforos queremos acceder. Se podrá obtener de una de las tres formas vistas en la introducción.

nsems Es el número total de semáforos que forman el grupo devuelto por `semget`. Cada uno de los elementos dentro del grupo de semáforos puede ser referenciado por los números enteros desde 0 hasta `nsems-1`.

semflg Es una máscara de bits que indica en qué modo se crea el semáforo, siendo:

IPC_CREAT Si este flag está activo, se creará el conjunto de semáforos, en caso de que no hayan sido ya creados.

IPC_EXCL Esta bandera se utiliza en conjunción con `IPC_CREAT`, para lograr que `semget` de un error en el caso de que se intente crear un grupo de semáforos que ya exista. En este caso, `semget` devolvería -1 e inicializaría la variable `errno` con un valor `EEXIST`.

permisos del semáforo Los 9 bits menos significativos de `semflg` indican los permisos del semáforo. Sus posibles valores son:

0400 Permiso de lectura para el usuario.

0200 Permiso de modificación para el usuario.

0060 Permiso de lectura y modificación para el grupo.

0006 Permiso de lectura y modificación para el resto de usuarios.

Para indicar los permisos se pueden utilizar las siguientes constantes definidas en el archivo de cabecera `<sys/stat.h>`:

```
#define S_IRUSR      00400 /* read permission: owner */
#define S_IWUSR      00200 /* write permission: owner */
#define S_IRGRP      00040 /* read permission: group */
#define S_IWGRP      00020 /* write permission: group */
#define S_IROTH      00004 /* read permission: other */
#define S_IWOTH      00002 /* write permission: other */
```

Si la llamada a `semget` funciona correctamente, devolverá un identificador del grupo de semáforos con el que podremos acceder a los semáforos en sucesivas llamadas. Si hay algún tipo de error, `semget` devuelve el valor -1 e introducirá en la variable global `errno` el código del error que se ha producido.

Ejemplo 3 *El siguiente código crea un grupo con dos semáforos a partir de un nombre de ruta.*

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <sys/stat.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/sem.h>

#define PERMISOS S_IRUSR | S_IWUSR
#define NUM_SEM 2

int sem;
key_t llave;
```

```

llave = ftok ("/tmp/misemaf", 1);
if ( llave != (key_t) -1)
{
    sem = semget (llave, NUM_SEM, PERMISOS | IPC_CREAT);
    if (sem == -1)
        /* Error al crear un nuevo grupo de semáforos con llave */
}

```

En este ejemplo, para asegurarnos de que creamos un nuevo grupo de semáforos, debemos levantar la bandera `IPC_CREAT`. Lo mismo ocurriría en el caso de utilizar una llave ya hecha.

2.2. Operaciones Down y Up sobre semáforos. `semop`

Para realizar las operaciones `Down` y `Up` vistas en teoría tenemos que utilizar la llamada `semop`. Su declaración es la siguiente:

```

#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/sem.h>

int semop (int semd, struct sembuf *sops, int nsops);

```

semd Identificador del grupo de semáforos sobre el que se van a realizar las operaciones atómicas.

sops Es un puntero a un array de estructuras que indican las operaciones que se van a realizar sobre los semáforos.

nsops Es el número total de elementos que tiene el array de operaciones.

Cada elemento del array `sops` es una estructura de tipo `sembuf` que se define de la siguiente manera:

```

struct sembuf {
    ushort_t    sem_num;        /* semaphore # */
    short       sem_op;        /* semaphore operation */
    short       sem_flg;        /* operation flags */
};

```

donde

sem_num Es el número del semáforo. Su valor está en el rango 0.. N-1, siendo N el número total de semáforos que hay agrupados en el identificador. Este campo se utiliza como índice para acceder a un semáforo concreto del grupo.

sem_op Es la operación a realizar sobre el semáforo `sem_num`. El resultado es sumar el valor de `sem_op` al contador del semáforo, de forma que si:

- Si `sem_op` es positivo equivale a una operación `Up`.
- Si `sem_op` es negativo equivale a una operación `Down`.

sem_flg Son una serie de banderas para indicar cómo responderá la llamada `sem_op` en el caso de encontrarse con alguna dificultad.

semop devuelve -1 en el caso de que la llamada no se haya realizado con éxito, conteniendo la variable `errno` el código correspondiente. Esto puede ocurrir, con una operación `Down`. Por ejemplo, si el semáforo tiene valor 2, no se le puede restar un número mayor que 2, porque el semáforo entonces pasaría a tener un valor negativo. Cuando no se puede ejecutar una operación, la respuesta de `semop` dependerá del valor del campo `sem_flg`. Estos pueden ser:

IPC_NOWAIT En este caso, **semop** devuelve el control si no se puede satisfacer la operación que se intenta hacer. Por defecto se trabaja con **IPC_WAIT**.

SEM_UNDO La operación se deshace cuando el proceso termina.

Si **semop** es interrumpido por una señal, entonces devuelve -1 y le da a la variable **errno** el valor **EINTR**. Una buena implementación de los semáforos debería reiniciar la operación solicitada en el caso de que fuera interrumpida por una señal, aunque este aspecto no lo tendremos en cuenta en las prácticas.

Ejemplo 4 El siguiente trozo de código muestra cómo realizar una operación **Down** sobre el semáforo 1 de un grupo de cuatro semáforos, y otra operación **Up** sobre el semáforo 3.

```
struct sembuf op_down_3 = {3, -1, 0};
struct sembuf op_up_1 = {1, 1, 0};

semop(semid, &op_down_3, 1);
semop(semid, &op_up_1, 1);
```

Como puede apreciarse en el código anterior, la asignación de valores es una operación muy repetitiva, por lo que se podría crear una función de la siguiente manera:

```
void Down(int semid, int nsem)
{
    struct sembuf op_down = {0, -1, 0};
    op_down.sem_num=nsem;
    result = semop(semid, &op_down, 1);
    if (result != 0)
        /* error en operación down */
}
```

Utilizando esta función, el código anterior quedará como sigue:

```
/* Operación Down para el semáforo de índice 1 */
Down(semid, 1);
```

2.3. Control de semáforos. **semctl**

La llamada **semctl** sirve para controlar un grupo de semáforos. Su declaración es la siguiente:

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/sem.h>

int semctl (int semd, int semnum, int cmd, /* union semun arg */... );

union semun{
    int val;
    struct semid_ds *buf;
    ushort *array;
};
```

donde:

semd Es el identificador del grupo de semáforos sobre el que actuará **semctl**. Previamente se ha tenido que crear con **semget**.

senum Indica cuál es el semáforo del grupo de semáforos al que se quiere acceder. Su valor estará en el rango 0..N-1, siendo N el número de semáforos que hay en el grupo.

cmd Es la operación de control a realizar sobre el semáforo. Sus valores vienen definidos por las siguientes constantes:

GETVAL Se utiliza para leer el valor de un semáforo, que se devolverá como valor de retorno de **semctl**.

SETVAL Inicializa un semáforo a un valor determinado. Este valor se indica en el argumento **arg**.

GETPID Se utiliza para leer el PID del último proceso que actuó sobre el semáforo y se devuelve como valor de retorno de **semctl**.

GETNCNT Se utiliza para leer el número de procesos que hay esperando a que se incremente el valor del semáforo. Este valor se devuelve como valor de retorno de **semctl**.

GETZCNT Obtiene el número de procesos que están esperando a que el semáforo tome el valor 0, el cual, se devuelve como valor de retorno de **semctl**.

GETALL Permite leer el valor de todos los semáforos asociados al identificador **semd**. Estos valores se devuelve en **arg**.

SETALL Se utiliza para inicializar el valor de todos los semáforos asociados al identificador **semd**. Los valores de inicialización deben estar en **arg**.

IPC_STAT Permite leer la información de control asociada al identificador **semd**. Para más información, consultar el manual de UNIX.

IPC_SET Permite modificar la información de control asociada al identificador **semd**. Para más información, consultar el manual de UNIX.

IPC_RMID Le indica al núcleo que tiene que borrar el conjunto de semáforos asociados al identificador **semd**. Esta operación no tendrá efecto mientras haya un proceso que esté usando los semáforos.

semctl devuelve un número cuyo significado dependerá del valor de **cmd**, de forma que, cuando éste sea **GETVAL**, el valor devuelto será el valor de un semáforo, o cuando sea **GETNCNT** será el número de procesos que esperan a que se incremente el valor de un semáforo. Así, tienen un significado especial el valor de retorno en el caso de que **cmd** valga **GETVAL**, **GETNCNT**, **GETZCNT** o **GETPID**. Para el resto de valores de **cmd**, **semctl** devuelve un cero. En el caso de que haya algún tipo de error, se devuelve un -1.

Ejemplo 5 El siguiente trozo de código crea una función para borrar un conjunto de semáforos dado por un identificador mediante la función **semctl**. En ese caso no es necesario incluir el argumento opcional.

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/sem.h>

int borrar_semaforo(int semd)
{
    return (semctl (semd, 0, IPC_RMID));
}
```

Ejemplo 6 El siguiente trozo de código muestra una función que inicializa un semaforo concreto de un grupo de semáforos a un valor mediante la llamada **semctl**.

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/sem.h>

int inicializar_semaforo(int semd, int numsem, int valor)
{
    union semun arg;
```

```

    arg.val = valor;
    return (semctl (semd, semnum, SETVAL, arg));
}

```

3. Ejercicios

1. Realice una biblioteca de funciones para simular los semáforos vistos en teoría haciendo uso de semáforos UNIX, es decir, grupos de un sólo semáforo sobre los que sólo se pueden realizar operaciones Down y Up. Para ello debe crear el siguiente tipo de datos:

```
typedef int Semaph;
```

este tipo identifica a un grupo de un único semáforo. Además, se deben proporcionar las siguientes funciones:

- `Semaph Semaph_Create (char nombre_sem[], int valor_ini);`
Esta función es la más importante de todas, ya que sirve para crear un semáforo con nombre `nombre_sem` y asignarle un valor inicial `valor_ini`. Para ello se darán los siguientes pasos:
 - a) Comprobar si existe un archivo llamado `/tmp/semaph.uid.nombre_sem`, donde `uid` es el identificador de usuario que crea el semáforo.
 - b) En caso negativo, se debe generar una llave a partir de ese archivo y crear un grupo de un único semáforo. Además, debe iniciarse el valor del mismo a `valor_ini`.
 - c) En caso afirmativo, sólo se tendrá que devolver una referencia al semáforo, es decir, devolver el resultado de `semget`.
- `void Semaph_Destroy (char nombre_sem[], Semaph sem);`
Esta función elimina el archivo `/tmp/semaph.uid.nombre_sem` y el grupo de un único semáforo `sem`.
- `void Semaph_Down (Semaph sem);`
Esta función realiza una operación `Down` sobre `sem`.
- `void Semaph_Up (Semaph sem);`
Esta función realiza una operación `Up` sobre `sem`.
- `void Semaph_Set (Semaph sem, int val);`
Esta función asignará el valor dado por `val` al semáforo.
- `int Semaph_Get (Semaph sem);`
Esta función devolverá el valor que tiene actualmente el semáforo.
- `void Semaph_Print (Semaph sem);`
Esta función imprimirá por la salida estándar de error el valor actual del semáforo.

Para probar esta biblioteca puede utilizar el siguiente programa, que sincroniza la escritura de dos procesos por la salida estándar:

```

#include <stdio.h>
#include "Semaph.h"

int main(void)
{
    int i, pid;

    Semaph sem_p, sem_h;

    sem_p = Semaph_Create("padre",1);
    sem_h = Semaph_Create("hijo",0);

```

```

if( sem_p == -1 || sem_h == -1)
    printf("Error al crear los semáforos") ;
else
    {
        pid = fork();
        if (pid < 0 )
            {
                perror("Error de creación de proceso");
            }
        else if (pid == 0) /* hijo */
            {
                for(i=0; i < 5; i++)
                    {
                        Semaph_Down(sem_h);
                        printf ("Soy el hijo %d \n",i);
                        Semaph_Up(sem_p);
                    }
                Semaph_Destroy("padre",sem_h);
            }
        else /* padre */
            {
                for (i = 0;i < 5; i++)
                    {
                        Semaph_Down(sem_p);
                        printf ("Soy el padre:  %d \n",i);
                        Semaph_Up(sem_h);
                        sleep(1);
                    }
                Semaph_Destroy("hijo",sem_p);
            }
    }
}

```

que debe generar la siguiente salida:

```

~>./test
Creando padre sobre /tmp/semaph.230.padre
Asignando a padre valor 1
Creando hijo sobre /tmp/semaph.230.hijo
Asignando a hijo valor 0
Soy el padre:  0
Soy el hijo 0
Soy el padre:  1
Soy el hijo 1
Soy el padre:  2
Soy el hijo 2
Soy el padre:  3
Soy el hijo 3
Soy el padre:  4
Soy el hijo 4
Semaforo padre destruido
Semaforo hijo destruido

```

2. Se desea sincronizar, haciendo uso de semáforos, un grupo de procesos emisores con un proceso receptor (no existe relación filial entre dichos procesos). Para ello se utilizará un archivo BUZON (defínase como una constante) en el que los procesos emisores escribirán los mensajes introducidos por la entrada estándar y del que el proceso receptor leerá y escribirá en la salida estándar. Se tienen que tener en cuenta los siguientes aspectos de sincronización:

- a) Dos emisores no pueden escribir a la vez en el buzón.

- b) El receptor sólo ejecutará una lectura cuando exista algún mensaje disponible, después de leerlo se entenderá que no quedan mensajes disponibles.

NOTA: Debe capturar la señal SIGINT para destruir los semáforos utilizados así como el archivo de buzón. Por ejemplo, si en un terminal tenemos:

```
> ./emisor
Proceso emisor.Mensaje: hola
Proceso emisor.Mensaje: estas sola?
Proceso emisor.Mensaje: ^C
Destruyendo semaforos...
Destruyendo buzón...
>
```

En el terminal en el que se ejecute el receptor se tendrá:

```
> ./receptor
Proceso receptor.Mensaje: hola
Proceso receptor.Mensaje: estas sola?
>
```

3. Se desea sincronizar a un grupo de procesos '*lectores*' con un proceso '*escritor*', teniendo en cuenta las siguientes restricciones:

- Varios lectores pueden ejecutar una lectura (simuladas con un `printf()`) más un retraso máximo de `T_LECTURA` segundos siempre que el escritor no esté realizando una escritura (simulada de la misma forma con un tiempo de retraso máximo de `T_ESCRITURA` segundos).
- El escritor tiene que esperar que todos los lectores terminen sus lecturas pendientes antes de comenzar una escritura.
- El número de lectores existentes se almacenan en un archivo `NLECTORES` sobre el que se tiene que garantizar la exclusión mutua en su acceso (tanto de lectura como de escritura).

NOTA: Tal y como se ha visto en teoría, en este escenario es posible que el escritor sufra inanición si los lectores nunca paran de leer. Para resolver este problema vamos a asumir que los lectores están `T_OCIOSO` segundos esperando entre lectura y lectura y el escritor `T_OCIOSO` segundos entre dos escrituras consecutivas.

4. (Ejercicio de Examen 1ª CONV II 2002-03)

Escriba el código C de una función `int Crea_Dos_Semaforos(void)` que cree un grupo de dos semáforos con permisos `S_IRUSR | S_IWUSR`. En caso de error esta función devolverá -1, en caso de éxito devuelve un entero que identifica al grupo de semáforos. Si lo estima conveniente puede hacer uso de la llamada al sistema `mktmp` que sirve para generar un nombre de archivo único a partir de una plantilla. Su prototipo es el siguiente:

```
char* mktmp(char * template)
```

dónde `template` es una cadena de la forma `prefijoXXXXXX`.

Por ejemplo, el siguiente programa:

```
int main(void){
char tmpfilename[MAX];

    sprintf(tmpfilename, "semaph-XXXXXX");
    mktmp(tmpfilename);
    printf("%s\n", tmpfilename);
}
```

escribe en la salida estándar una cadena formada por el prefijo `semaph-` más seis caracteres de forma que se asegura que no existe ningún archivo en el directorio `/tmp` con ese nombre.

5. (Ejercicio de Examen 2ª CONV II 2002-03)

Se desea implementar una biblioteca de semáforos contadores para un sistema operativo que SÓLO dispone de un compilador de C y de semáforos binarios, que sólo pueden adoptar los valores cero y uno, con el siguiente interfaz:

```
BSemaph BSemaph_Create(char nombre[], int valor_inicial);  
void BSemaph_Destroy(char nombre[], BSemaph bs);  
void BSemaph_Down(BSemaph bs);  
void BSemaph_Up(BSemaph bs);
```

Se pide:

Apartado a .- Declarar los campos necesarios para el nuevo tipo de datos llamado Semaph. ¿Cuántos semáforos binarios necesita y por qué?

Apartado b .- Escribir el código C que implemente una función constructora que dado un nombre y un valor, cree un nuevo semáforo contador con dicho nombre y dicho valor inicial.

Apartado c .- Escribir dos funciones C para implementar las operaciones Up y Down.