Práctica 2

Sistema de ficheros

2.1. Objetivos

Esta práctica se centra principalmente en comprender la organización interna de un sistema de ficheros tipo unix, de bloques indexados, describiendo el interfaz que proporciona al sistema y las estructuras de datos internas que necesita para soportar dichas operaciones. Para ello usaremos la biblioteca FUSE[1] (Filesystem in Userspace) que nos permite implementar sistemas de ficheros en espacio de usuario sin la necesidad de privilegios especiales más allá de incluir al usuario en el grupo del sistema `fuse`)

Antes de describir la práctica revisamos algunas llamadas al sistema relacionadas con la gestión de ficheros y el tiempo en los sistemas Linux, cuyo uso será necesario para establecer y actualizar los atributos de tiempo de los ficheros de nuestro sistema de ficheros.

2.2. Tiempos

Por lo general, las dos principales medidas de tiempo son:

[1] `http://libfuse.github.io/doxygen`

Fecha o tiempo real

Tiempo transcurrido desde el inicio de los tiempos o *epoch*, que la mayor parte de los UNIX sitúan en el 1 de Enero de 1970 a las 00:00:00 GMT. Se obtiene mediante las llamadas `time()` y `gettimeofday()` y se puede dar formato mediante las funciones: `localtime()`, `gmtime()`, `asctime()`, `ctime()`, `mktime()`, `strftime()`, `strptime()`.

```
// SYNOPSIS
#include <time.h>
time_t time(time_t *tp);
struct tm *localtime(const time_t *tp);
size_t strftime(char *s, size_t max, const char *fmt; const struct tm *tmp)
```

```
// SYNOPSIS
#include <sys/time.h>
#include <unistd.h>
int gettimeofday(struct timeval *tv, struct timezone *tz);
int settimeofday(const struct timeval *tv,const struct timezone *tz);
```

El parámetro `timezone` no debe utilizarse (puntero a `NULL`).

Tiempo de CPU

Tiempo consumido por la ejecución de un programa (usuario y/o sistema). Se obtiene mediante las llamadas `times()` y `getrusage()`, o mediante la función `clock()`.

```
// SYNOPSIS
#include <systime.h>
clock_t times(struct tms *buf);
```

```
// SYNOPSIS
#include <time.h>
clock_t clock(void);
```

```
// SYNOPSIS
#include <sys/time.h>
#include <sys/resource.h>
#include <unistd.h>
int getrusage (int who, struct rusage *usage);
```

Otros comandos

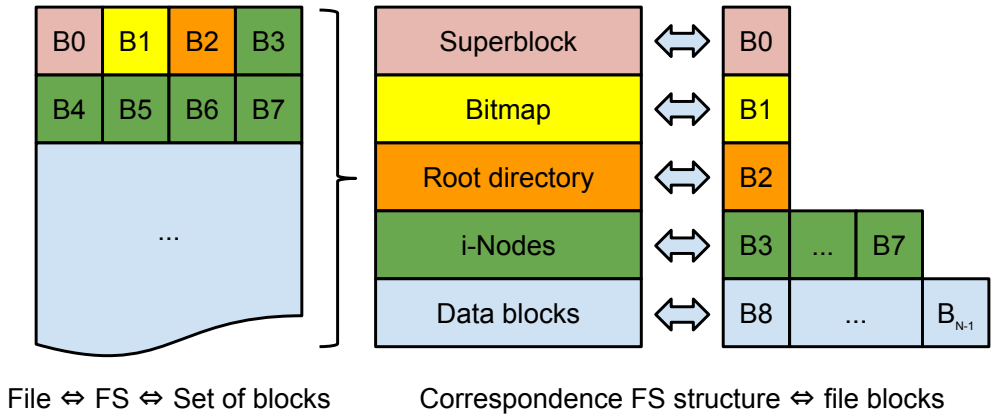
Otros comandos y funciones relacionados con la gestión de tiempos son: `date`, `sleep()`, `usleep()`, `nanosleep()`, `sleep`, `getitimer()`, `setitimer()`

2.3. Mi Sistema de Ficheros

En esta práctica implementaremos un mini-sistema de ficheros tipo UNIX. Normalmente un Sistema de Ficheros (SF) se crea al formatear una partición, sin embargo para nosotros resultará más sencillo usar un fichero regular de tamaño fijo para emular una partición y darle el formato deseado. Para ello dividiremos el fichero en **N** bloques de tamaño predefinido (clusters

de por ejemplo 4 KiB). Cada bloque del fichero estará destinado a almacenar cierta información (metainformación o datos). Una vez formateado el fichero de acuerdo a nuestro SF propio, almacenaremos, modificaremos y eliminaremos archivos de este SF.

La correspondencia entre el SF y su archivo regular de nuestro SO se ilustra conceptualmente en la siguiente figura:



Como se puede apreciar en la Figura, el SF viene definido por cinco partes bien diferenciadas:

- **Super-bloque**: almacena información genérica del SF.
- **Mapa de bits**: indica qué bloques están libres u ocupados.
- **Directorio raíz**: listado de ficheros del directorio raíz.
- **nodos-i**: estructura de tamaño fijo con los nodos-i.
- **Datos**: datos vinculados a los nodos-i

Una posible estructura C para gestionar todo esto podría ser como sigue:

```
#define BIT unsigned
#define BLOCK_SIZE_BYTES 4096
#define NUM_BITS (BLOCK_SIZE_BYTES/sizeof(BIT))
typedef struct MyFileSystemStructure {
        int fdVirtualDisk;              // File descriptor associated with the file
                                        // where the FS is stored
        SuperBlockStruct superBlock;    // Superblock
        BIT bitMap[NUM_BITS];           // Bitmap
        DirectoryStruct directory;      // Root directory
        NodeStruct* nodes[MAX_NODES];   // Array of pointers to inodes
        int numFreeNodes;               // # of available inodes
} MyFileSystem;
```

donde:

- *fdVirtualDisk*: es el identificador del fichero regular abierto que almacenará el SF en el disco duro.
- *superBlock*: es una estructura que se almacena en el bloque 0 del archivo, y contiene información global del SF: número total de bloques de datos libres, tamaño total del sistema de ficheros, etc. Una posible estructura para almacenar esta información podría ser la siguiente:

```
typedef struct SuperBlockStructure {
        time_t creationTime;    // Creation time
        int diskSizeInBlocks;   // # blocks in disk
        int numOfFreeBlocks;    // # of available blocks
        int blockSize;          // Block size
        int maxLenFileName;     // Max. length of a file name
        int maxBlocksPerFile;   // Max. number of blocks per file
} SuperBlockStruct;
```

- *bitMap*: es un array de 0-1. Se almacena en el segundo bloque del archivo de respaldo y contiene información acerca de los bloques libres (0) y ocupados (1) del sistema.
- Tendremos un único directorio. La estructura directorio almacena el número de archivos que contiene y la información relativa a cada archivo que es: el nodo-i al que está vinculado, el nombre del archivo, y una variable lógica que indica si el archivo está libre o no. Definiremos una longitud máxima para el nombre del archivo de 15 caracteres, y como mucho, que un directorio pueda contener hasta 100 archivos. Toda la información el directorio se almacena en el tercer bloque del archivo. La estructuras que definen el directorio podrían ser las siguientes:

```
#define MAX_FILES_PER_DIRECTORY 100
#define MAX_LEN_FILE_NAME 15
typedef struct DirectoryStructure {
        int numFiles;                           // Number of directory entries
        FileStruct files[MAX_FILES_PER_DIRECTORY];      // Directory entries
} DirectoryStruct;

typedef struct FileStructure {
        int  nodeIdx;                          // Associated inode
        char fileName[MAX_LEN_FILE_NAME + 1]; // File name
        BOOLEAN freeFile;                      // Free directory entry
} FileStruct;
```

- *nodes*: son los nodos-i del SF. Cada nodo-i almacena información tal como el número de bloques que ocupa el archivo asociado, el tamaño del archivo asociado, la fecha/hora en la que fue creado o modificado, los índices de los bloques del SF donde están los datos del archivo asociado, y si es un nodo-i libre o no. Todos los nodos-i se guardarán en 5 bloques del SF. No obstante, aún nos quedan algunas constantes por definir, como `MAX_NODES` que ya pueden definirse. Estas definiciones y la estructura que define el nodo-i podrían ser como sigue:

```
#define MAX_BLOCKS_PER_FILE 100
typedef struct NodeStructure {
        int numBlocks;                          // Num blocks
        int fileSize;                           // File size
        time_t modificationTime;                // Modification time
        DISK_LBA blocks[MAX_BLOCKS_PER_FILE];   // Blocks
        BOOLEAN freeNode;                       // If the node is available
} NodeStruct;
#define NODES_PER_BLOCK (BLOCK_SIZE_BYTES/sizeof(NodeStruct))
#define MAX_NODES (NODES_PER_BLOCK * MAX_BLOCKS_WITH_NODES)
```

- *numFreeNodes* almacena la cantidad de nodos-i libres que quedan en el SF.

Con la especificación anterior, podemos resumir las simplificaciones que se llevan a cabo:

- Nuestro sistema de ficheros no necesita soporte para directorios multinivel. Hay un solo directorio en nuestro sistema. Este directorio contiene como mucho 100 archivos.

- Cada archivo contiene a lo sumo 100 bloques de datos. Por lo tanto, el tamaño de cada archivo es menor que 100 tam. bloque. Podemos definir el tamaño de bloque por nuestra cuenta (4 KiB en el código anterior).
- Los nodos-i en nuestro sistema contienen a lo sumo 100 punteros directos a bloques de datos. No se requieren punteros indirectos.

2.4. Creación del SF

Se proporciona, como esqueleto de la práctica, una función `main` que parsea los parámetros de entrada, inicializa el sistema de ficheros empleando la función `myMkfs`, llama a la función `fuse_main` y finaliza liberando la memoria reservada a través de `myFree`.

2.4.1. `myMkfs`

```
int myMkfs(MyFileSystem *myFileSystem, int diskSize, char *backupFileName);
```

Esta función crea un SF de `diskSize` bytes y almacena su contenido en el archivo `backupFileName`. Además, esta función inicializa todas las estructuras de datos mencionadas anteriormente. Se proporciona ya implementada en `myFS.c`.

2.4.2. `fuse_main`

```
int fuse_main(int argc,char* argv[],struct fuse_operations* op,void* user_data);
```

Esta función se encarga de montar el SF usando la librería FUSE y recibe los siguientes parámetros:

- `argc`: número de argumentos para el montaje.
- `argv`: argumentos de montaje. Los más relevantes para nosotros son:
  - `-f`: trabajar en primer plano
  - `-d`: habilitar salida de depuración de FUSE (implica -f)
  - `-s`: deshabilita multi-hilo (facilita depuración)
  - `directorio`: punto de montaje de FUSE
- `op`: estructura con punteros a las operaciones soportadas por nuestro SF. En nuestro caso están implementadas las siguientes operaciones:

```
struct fuse_operations myFS_operations = {
        .getattr        = my_getattr,    // Retrieve attributes from a file
        .readdir        = my_readdir,    // Read directory entries
        .truncate       = my_truncate,   // Modify the size of a file
        .open           = my_open,       // Open a file
        .write          = my_write,      // Write data into a file already open
        .release        = my_release,    // Close an open file
        .mknod          = my_mknod,      // Create a new file
};
```

  Se puede consultar la documentación y el prototipo de las operaciones soportadas en el manual de FUSE apartado `fuse_operations Struct Reference`[2].

[2] `http://libfuse.github.io/doxygen/structfuse__operations.html`

- `user_data`: argumentos extra durante la inicialización (no implementado).

La función `fuse_main` se mantiene a la espera de llamadas a nuestro SF e invoca a las operaciones registradas. Podemos finalizar la función con `Control+C`.

2.4.3. Ejemplo

Con el siguiente comando creamos un sistema de ficheros propio de tamaño 2097152 dentro de un fichero regular llamado `virtual-disk` y le decimos a FUSE que lo monte en el directorio `mount-point`, que deberá existir y estar vacío:

```
$ ./fs-fuse -t 2097152 -a virtual-disk -f '-d -s mount-point'
```

FUSE montará el sistema de ficheros en el directorio `mount-point`, que debe existir y estar vacío. Si todo ha ido bien, obtendremos la siguiente salida:

```
SF: virtual-disk, 2097152 B (4096 B/block), 512 blocks
1 block for SUPERBLOCK (32 B)
1 block for BITMAP, covering 1024 blocks, 4194304 B
1 block for DIRECTORY (2404 B)
5 blocks for inodes (424 B/inode, 45 inodes)
504 blocks for data (2064384 B)
Formatting completed!
File system available
FUSE library version: 2.9.0
nullpath_ok: 0
nopath: 0
utime_omit_ok: 0
unique: 1, opcode: INIT (26), nodeid: 0, insize: 56, pid: 0
INIT: 7.22
flags=0x0000f7fb
max_readahead=0x00020000
   INIT: 7.18
   flags=0x00000011
   max_readahead=0x00020000
   max_write=0x00020000
   max_background=0
   congestion_threshold=0
   unique: 1, success, outsize: 40
```

Se puede comprobar cómo se ha formateado el disco virtual reservando 1 bloque para el superbloque, otro para el mapa de bits, otro para el directorio raíz, 5 para los nodos-i y el resto, 504, para datos. Seguidamente se monta el sistema de ficheros y, dependiendo del sistema operativo, comenzarán a aparecer mensajes de depuración:

```
unique: 2, opcode: LOOKUP (1), nodeid: 1, insize: 47, pid: 4535
LOOKUP /.Trash
getattr /.Trash
--->>>my_getattr: path /.Trash
   unique: 2, error: -2 (No such file or directory), outsize: 16
unique: 3, opcode: LOOKUP (1), nodeid: 1, insize: 52, pid: 4535
LOOKUP /.Trash-1000
getattr /.Trash-1000
--->>>my_getattr: path /.Trash-1000
   unique: 3, error: -2 (No such file or directory), outsize: 16
```

Cada llamada al SF comienza con unique más un número que va incrementado, en el ejemplo anterior se vemos cómo al montar la unidad se consultan los atributos de .Trash y .Trash-1000 (directorios usados como papelera de reciclaje) y cómo la respuesta del SF es "No such file or directory" para ambos, ya que no existen.

Si ahora hacemos un ls del punto de montaje en otro terminal obtenemos la siguiente salida:

```
usuarioso@FUSE_myFS$ ls -la mount-point
total 2
drwxr-xr-x 2 usuarioso usuarioso   0 oct 23 14:42 .
drwxr-xr-x 1 usuarioso usuarioso 4096 oct 23 14:42 ..
```

Mientras que FUSE nos mostrará las llamadas que se han realizado:

```
unique: 4, opcode: GETATTR (3), nodeid: 1, insize: 56
getattr /
--->>>my_getattr: path /
   unique: 4, success, outsize: 120
unique: 5, opcode: GETXATTR (22), nodeid: 1, insize: 65
   unique: 5, error: -38 (Function not implemented), outsize: 16
unique: 6, opcode: OPENDIR (27), nodeid: 1, insize: 48
   unique: 6, success, outsize: 32
unique: 7, opcode: READDIR (28), nodeid: 1, insize: 80
readdir[0] from 0
--->>>my_readdir: path /, offset 0
   unique: 7, success, outsize: 80
unique: 8, opcode: GETATTR (3), nodeid: 1, insize: 56
getattr /
--->>>my_getattr: path /
   unique: 8, success, outsize: 120
unique: 9, opcode: READDIR (28), nodeid: 1, insize: 80
   unique: 9, success, outsize: 16
unique: 10, opcode: RELEASEDIR (29), nodeid: 1, insize: 64
   unique: 10, success, outsize: 16
```

Se han obtenido los atributos del directorio raíz y se ha leído su contenido. Si ejecutamos el programa `test1.sh` se crearán 2 ficheros dentro de nuestro SF `file1.txt` con contenido "`file 1`" y `file2.txt` con el texto "`this is file 2`", de manera que al listar el contenido del directorio obtendremos:

```
usuarioso@FUSE_myFS$ ls -la mount-point
total 2
drwxr-xr-x 2 usuarioso usuarioso 0 oct 23 14:42 .
drwxr-xr-x 1 usuarioso usuarioso 4096 oct 23 14:55 ..
-rw-r--r-- 1 usuarioso usuarioso   10 oct 23 14:55 file1.txt
-rw-r--r-- 1 usuarioso usuarioso   21 oct 23 14:55 file2.txt
```

Junto con el esqueleto de la práctica se proporciona un ejecutable, `my-fsck`, encargado de chequear la consistencia del sistema de ficheros (semejante al comando `chkdsk` de Windows o `fsck` en linux). Este auditor calcula de dos formas distintas el espacio libre del SF, el número de ficheros presentes y los bloque ocupados aprovechando la redundancia de información y presenta un informe detallado:

```
usuarioso@FUSE_myFS ./my-fsck virtual-disk************************** SUPERBLOCK
    *****Creation time: Sun Jul 12 12:13:47 2015Super block size: 32Directory size
    2404Node size 424Disk size (blocks) 512Num. of free blocks 502Block size (bytes)
    4096Max. Length file name 15Max. blocks/file
    100******************************************************CHECKING FREE
    SPACE******Free space consistent:Free blocks: 502 (in bitmap) . 502 (in
    super-block)******************************************************Number of files
    ******inodes occupied: 2. Free 43. Free WITHOUT FREE: 0Files using numFiles
    attribute 2. In directory's file array
    2************************************************** Checking occupied blocks
```

```
******Data blocks occupied. Using bitmap 2, Using inodes
2************************************************** File list ******Name
Siz(block) Siz(bytes) Timefile1.txt 4096 7 6/12 12:13file2.txt 4096 15 6/12
12:13**************************
```

Como no está implementada la lectura en nuestro sistema de ficheros, si intentamos leer los datos del fichero 1 obtendremos error:

```
usuarioso@FUSE_myFS$ cat mount-point/file1.txt
cat: mount-point/file1.txt: Función no implementada
```

pero sabiendo que el fichero 1 se creó el primero y que asignamos los bloques de datos por orden y a partir del octavo, podremos buscar el contenido del fichero en el disco virtual de la siguiente manera:

```
usuarioso@FUSE_myFS$ hexdump virtual-disk -C -s 32768 -n 7
00008000  66 69 6c 65 20 31 0a                              |file 1.|
00008007
```

donde `0x0a` corresponde con la secuencia de escape `\n`.

Ejercicio 1: ¿Dónde están y cómo podemos obtener los datos correspondientes al fichero 2 usando `hexdump`? consulta el manual de `hexdump` para ello.

2.5. Entregables

2.5.1. Operación borrar ficheros

Implemente la operación para borrar ficheros e inclúyala en la estructura `fuse_operations`. Consulte el manual de FUSE para ver el prototipo de la función `unlink`[3]. Compruebe que borra adecuadamente con la herramienta `my-fsck`.

2.5.2. Operación read

Implemente la operación para leer datos de los ficheros asociada al miembro `read`[4] de la estructura `fuse_operations`. Dese cuenta de que, según el manual, la función debe retornar tantos bytes como se le solicitan siempre y cuando los haya, ya que en caso contrario serán rellenados con ceros (no se especifica `direct_io` en el montaje de la unidad).

2.5.3. Script de comprobación

Desarrolle un `script` que realice las siguientes operaciones sobre el sistema de ficheros:

1. Copie dos ficheros de texto que ocupen más de un bloque (por ejemplo fuseLib.c y myFS.h) a nuestro SF y a un directorio temporal, por ejemplo `./temp`

[3] http://libfuse.github.io/doxygen/structfuse__operations.html#a8bf63301a9d6e94311fa10480993801e
[4] http://libfuse.github.io/doxygen/structfuse__operations.html#a2a1c6b4ce1845de56863f8b7939501b5

2. Audite el disco y haga un diff entre los ficheros originales y los copiados en el SF. Trunque el primer fichero (man truncate) en copiasTemporales y en nuestro SF de manera que ocupe ocupe un bloque de datos menos.
3. Audite el disco y haga un `diff` entre el fichero original y el truncado.
4. Copie un tercer fichero de texto a nuestro SF.
5. Audite el disco y haga un `diff` entre el fichero original y el copiado en el SF
6. Trunque el segundo fichero en copiasTemporales y en nuestro SF haciendo que ocupe algún bloque de datos más.
7. Audite el disco y haga un `diff` entre el fichero original y el truncado.

Nota: si durante las pruebas de depuración finalizamos el programa de manera abrupta, el punto de montaje puede quedar bloqueado por FUSE, para desmontarlo en línea de comando podemos utilizar la siguiente orden:

```
$ fusermount -u mount-point
```