Sistemas Operativos

Universidad Complutense de Madrid

2020-2021

Práctica 2

Gestión de un sistema de ficheros en espacio de usuario

Juan Carlos Sáez

Objetivos

Objetivos

- Comprender las llamadas al sistema y funciones en GNU/Linux para manejo de ficheros y directorios
- Familiarizarse con la problemática asociada a la gestión de un sistema de ficheros
- Entender los fundamentos de FUSE

Contenido

Contenido

FUSE

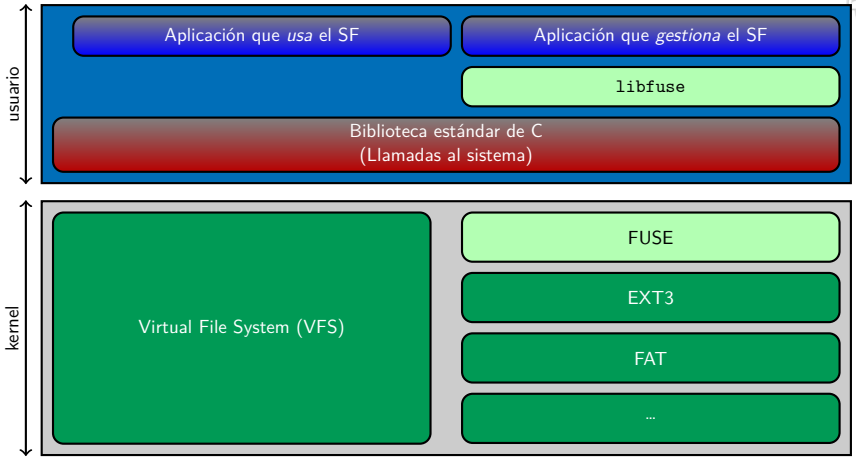
FUSE: *Filesystem in USErspace*

- Framework para implementar sistemas de ficheros en espacio de usuario
- Implementación disponible para Linux, FreeBSD, Android, OS X,...

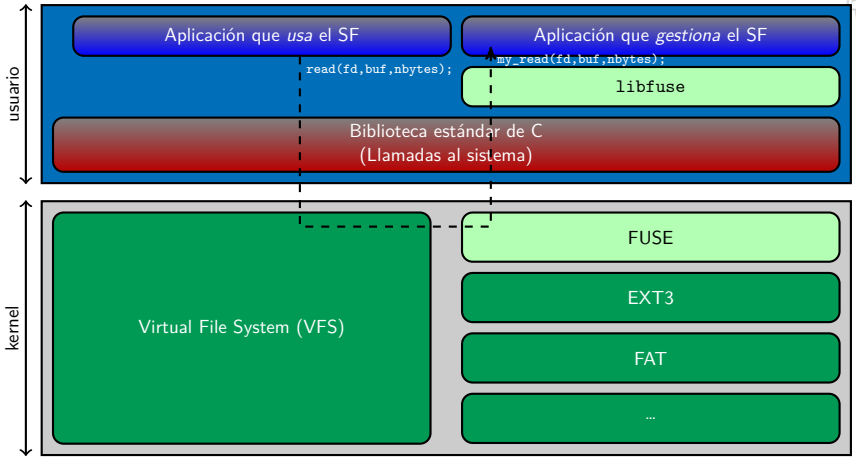
Idea general

- Programa de usuario actúa como *gestor* del sistema de ficheros
  - Se comporta como un servidor que responde a peticiones sobre el sistema de ficheros
  - Implementa subconjunto de llamadas al sistema (LLSS) sobre ficheros
- Cuando cualquier proceso accede a un fichero de este sistema de ficheros FUSE invoca las funciones código del gestor que implementan las LLSS sobre el sistema de ficheros

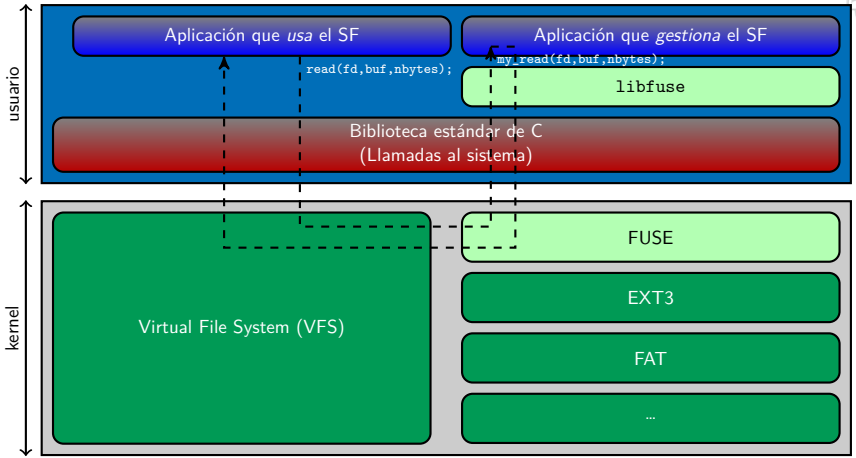
FUSE: Visión Global



FUSE: Visión Global



FUSE: Visión Global



Interfaz de operaciones sobre ficheros

Interfaz de Operaciones (/usr/include/fuse/fuse.h)

```
struct fuse_operations {
    int (*getattr) (const char *, struct stat *);
    int (*mknod) (const char *, mode_t, dev_t);
    int (*mkdir) (const char *, mode_t);
    int (*unlink) (const char *);
    int (*rmdir) (const char *);
    int (*symlink) (const char *, const char *);
    int (*rename) (const char *, const char *);
    int (*link) (const char *, const char *);
    int (*chmod) (const char *, mode_t);
    int (*chown) (const char *, uid_t, gid_t);
    int (*truncate) (const char *, off_t);
    int (*open) (const char *, struct fuse_file_info *);
    int (*read) (const char *, char *, size_t, off_t, struct fuse_file_info *);
    int (*write) (const char *, const char *, size_t, off_t, struct fuse_file_info *);
    int (*release) (const char *, struct fuse_file_info *);
    int (*opendir) (const char *, struct fuse_file_info *);
    int (*readdir) (const char *, void *, fuse_fill_dir_t, off_t,
          struct fuse_file_info *);
    int (*releasedir) (const char *, struct fuse_file_info *);
    ...
};
```

Punteros a función: ejemplo

Ejemplo

```
int foo(int arg){
    return 2*arg;
}

int main(void){
    int (*pfunct)(int);
    pfunct=foo;
    return pfunct(3);
}
```

Operaciones básicas (I)

```
int (*getattr)(const char *, struct stat *);
```

- Función llamada cuando se quieren obtener los atributos de un fichero (ej: `$ stat fichero`). El primer parámetro indica la ruta del fichero. El segundo parámetro es la estructura stat a rellenar.

Operaciones básicas (II)

```
int (*open)(const char *, struct fuse_file_info *);
```

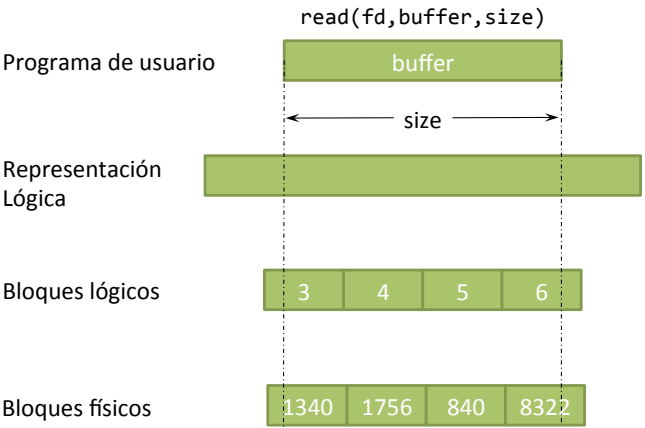
- Se llama al abrir un fichero.
- La función comprueba si se puede abrir el fichero, en caso afirmativo se devuelve cero.
- El primer parámetro es la ruta del fichero.
- El segundo parámetro es una estructura que describe al fichero abierto en FUSE.
  - Campos más relevantes de la estructura:
    - `flags`: almacena los flags de apertura (solo lectura, solo escritura, lectura-escritura)
    - `fh`: En la práctica este campo se usa para guardar el número de nodo-i del fichero abierto.

Operaciones básicas (III)

```
int (*read)(const char *, char *, size_t, off_t, struct fuse_file_info *);
```

- Se llama cuando un proceso lee bytes de un fichero
  - Primer parámetro: ruta del fichero
  - Segundo parámetro: buffer donde almacenar los bytes leidos del fichero
  - Tercer parámetro: número de de bytes a leer
  - Cuarto parámetro: ubicación del puntero de posición del fichero abierto
  - Quinto parámetro: estructura que representa al fichero abierto en FUSE
- La funcion debe devolver el número de bytes leídos

Operaciones básicas: `read()`



Operaciones básicas (IV)

```
int (*readdir)(const char *, void *, fuse_fill_dir_t, off_t, struct
    fuse_file_info *);
```

- Se utiliza para leer un directorio
  - Primer parámetro: ruta del directorio
  - Segundo parámetro: estructura que hay que rellenar para devolver los datos
  - Tercer parámetro: función usada para rellenar la estructura pasada como segundo
  - Los dos últimos parámetros se pueden ignorar para ejemplos sencillos.

Operaciones básicas (V)

Valor de retorno de las operaciones (`fuse_operations`)

- Las funciones deben devolver 0 en caso de éxito y un número negativo indicando el error en caso de fallo.
  - Los códigos de error (macros) están definidos en las fuentes del kernel Linux:
    - `errno-base.h`
    - `errno.h`
- Excepción: Las llamadas a read/write deben devolver un número positivo indicando los bytes leídos/escritos, 0 en caso de EOF o número negativo en caso de error.

Para más información

- API de FUSE:
  - `http://libfuse.github.io/doxygen/index.html`
- Documentación general:
  - *Develop your own filesystem with FUSE*
  - *FUSE at LWN.net*

Gestión de un SF con FUSE

¿Cómo se usa?

- Crear programa de usuario que gestiona el SF
  - Hay que incluir `fuse.h` y enlazar con libfuse
- El programa ha de instanciar la interfaz de operaciones:
  1. Definir variable tipo `struct fuse_operations`
     - Establece la asociación entre las operaciones de la interfaz y las funciones del programa que se invocan
     - Cada función → Mismo prototipo que operación correspondiente
     - No es necesario definir todas las operaciones
  2. Para "conectar" con FUSE el programa debe invocar `fuse_main()`
     - La función acepta como parámetro (entre otros) un puntero a la variable que instancia la interfaz
     - `fuse_main()` es bloqueante
     - Al invocarla, el programa se queda a la espera de peticiones

Hello FUSE

Ejemplo `hello_fuse.c`

- Sistema de ficheros de solo lectura "almacenado" en memoria
- Contiene un único fichero llamado `hello`
  - Almacena la cadena "`Hello World!\n`"

Ejemplo (1/5)

hello_fuse.c

```
#include <fuse.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>

static int hello_getattr(const char *path, struct stat *stbuf);
static int hello_readdir(const char *path, void *buf,
  fuse_fill_dir_t filler,off_t offset, struct fuse_file_info *fi);
static int hello_open(const char *path, struct fuse_file_info *fi);
static int hello_read(const char *path, char *buf, size_t size,
    off_t offset, struct fuse_file_info *fi);

static struct fuse_operations hello_oper = {
    .getattr  = hello_getattr,
    .readdir  = hello_readdir,
    .open     = hello_open,
    .read     = hello_read,
};

int main(int argc, char *argv[])
{
    return fuse_main(argc, argv, &hello_oper, NULL);
}
```

Ejemplo (2/5)

hello_fuse.c

```
 /* Ruta FUSE del único fichero del sistema. Las rutas siempre son 'absolutas' para el
      programa de usuario gestor. */
static const char *hello_path = "/hello";

/* Contents of file "hello" */
static const char *hello_str = "Hello World!\n";

static int hello_getattr(const char *path, struct stat *stbuf) {
    int res = 0;

    memset(stbuf, 0, sizeof(struct stat));
    if (strcmp(path, "/") == 0) {
        stbuf->st_mode = S_IFDIR | 0755;
        stbuf->st_nlink = 2;
    } else if (strcmp(path, hello_path) == 0) {
        stbuf->st_mode = S_IFREG | 0444;
        stbuf->st_nlink = 1;
        stbuf->st_size = strlen(hello_str);
    } else
        res = -ENOENT;

    return res;
}
```

Ejemplo (3/5)

hello_fuse.c

```
static int hello_readdir(const char *path, void *buf, fuse_fill_dir_t filler,
            off_t offset, struct fuse_file_info *fi)
{
    (void) offset;
    (void) fi;

    if (strcmp(path, "/") != 0)
        return -ENOENT;

    filler(buf, ".", NULL, 0);
    filler(buf, "..", NULL, 0);
    filler(buf, hello_path + 1, NULL, 0);

    return 0;
}
```

Ejemplo (4/5)

hello_fuse.c

```
static int hello_open(const char *path, struct fuse_file_info *fi)
{
    if (strcmp(path, hello_path) != 0)
        return -ENOENT;

    if ((fi->flags & 3) != O_RDONLY)
        return -EACCES;

    return 0;
}
```

Ejemplo (5/5)

hello_fuse.c

```
static int hello_read(const char *path, char *buf, size_t size,
          off_t offset, struct fuse_file_info *fi)
{
    size_t len;
    (void) fi;
    if(strcmp(path, hello_path) != 0)
        return -ENOENT;

    len = strlen(hello_str);
    if (offset < len) {
        if (offset + size > len)
            size = len - offset;
        memcpy(buf, hello_str + offset, size);
    } else
        size = 0;

    return size;
}
```

Ejemplo de ejecución

terminal 1

```
$ gcc -Wall hello_fuse.c `pkg-config fuse --cflags --libs` -o hello_fuse
$ mkdir /tmp/fuse
$ ./hello_fuse /tmp/fuse -d
FUSE library version: 2.9.7
nullpath_ok: 0
nopath: 0
utime_omit_ok: 0
unique: 1, opcode: INIT (26), nodeid: 0, insize: 56, pid: 0
INIT: 7.26
flags=0x001ffffb
max_readahead=0x00020000
   INIT: 7.19
   flags=0x00000011
   max_readahead=0x00020000
   max_write=0x00020000
   max_background=0
   congestion_threshold=0
   unique: 1, success, outsize: 40
unique: 2, opcode: ACCESS (34), nodeid: 1, insize: 48, pid: 3350
...
```

Ejemplo de ejecución (cont.)

- Mientras tanto, en otra terminal...

terminal 2

```
$ mount
sysfs on /sys type sysfs (rw,nosuid,nodev,noexec,relatime)
proc on /proc type proc (rw,nosuid,nodev,noexec,relatime)
udev on /dev type devtmpfs (rw,relatime,size=10240k,nr_inodes=254708,mode=755)
devpts on /dev/pts type devpts (rw,nosuid,noexec,relatime,gid=5,mode=620,ptmxmode=000)
tmpfs on /run type tmpfs (rw,nosuid,noexec,relatime,size=204912k,mode=755)
/dev/disk/by-uuid/4686626b-cfc7-41f2-b295-cb609d68b1a5 on / type ext4 (rw,relatime,errors=remoun
ro,data=ordered)
....
hello_fuse on /tmp/fuse type fuse.hello_fuse (rw,nosuid,nodev,relatime,user_id=1002,group_id=100
$ ls -l /tmp/fuse
total 0
-r--r--r--  1 root root 13 Jan  1  1970 hello
$ cat /tmp/fuse/hello
Hello World!
$ echo Heyyy > /tmp/fuse/a.txt
bash: /tmp/fuse/a.txt: Function not implemented
$ fusermount -u /tmp/fuse
```

Contenido

Práctica propuesta

- En esta práctica se llevará a cabo la implementación de un sistema de ficheros sencillo tipo UNIX
- El sistema de ficheros residirá en un único archivo (*disco virtual*) y se gestionará mediante un programa de usuario
  - Se proporciona programa gestor basado en FUSE
  - Práctica: extender la funcionalidad del gestor del sistema de ficheros

Práctica propuesta

Características del sistema de ficheros

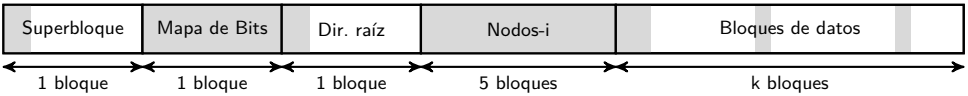
1. Organización de la partición muy similar a la del SF tipo UNIX tradicional pero sin sección *Boot*
2. Incluye un único directorio en el sistema (raíz) que puede almacenar hasta 100 entradas
   - El directorio raíz reside en una región específica del *disco virtual*
3. Cada fichero está representado internamente mediante un nodo-i, que incluye, entre otras cosas, 100 índices directos a bloques de datos
   - El tamaño máximo de cada fichero es, por tanto, 100*TamBloque
   - No se hace uso de índices indirectos
   - Los bloques de datos del fichero no han de ser necesariamente contiguos

Implementación (I)

- Representación en memoria del sistema de ficheros

```
typedef struct MyFileSystemStructure {
    int fdVirtualDisk;       /* Descriptor de fichero del disco virtual */
    SuperBlockStruct superBlock; /* Superbloque */
    BIT bitMap[NUM_BITS];      /* Mapa de bits */
    DirectoryStruct directory; /* Directorio raíz */
    NodeStruct* nodes[MAX_NODES]; /* Array de punt. a Nodos-i */
    int numFreeNodes;          /* Número de nodos-i libres */
} MyFileSystem;
```

- Estructura del sistema de ficheros en disco (contenido del disco virtual)



Implementación (II)

- El tamaño de bloque está definido por la macro `BLOCK_SIZE_BYTES` en `common.h`
  - Valor por defecto 4KB
- Los bloques de datos de los ficheros no se almacenan en memoria, sólo en disco
  - Por este motivo la estructura `MyFileSystemStructure` no tiene campo para los datos
- El mapa de bits se implementa como un array de enteros
  - 0 → libre, 1 → ocupado
  - Los 8 primeros bloques de disco (superbloque, mapa de bits, dir. Raiz, y 5 bloques para nodos-i) se han de marcar como ocupados al formatear el disco virtual
  - El mapa de bits sólo lleva la cuenta de bloques libres y ocupados

Implementación (III)

- Las representaciones del vector de nodos-i en memoria y en disco difieren:
  - *Disco*: Se almacenan todos los nodos-i, se usen o no.
    - Si el nodo-i está asignado a un fichero, su campo `freeNode` valdra 0.
    - Si está libre, dicho campo almacenará un 1.
  - *Memoria*: Se mantiene un array de punteros a `NodeStructure`.
    - Si el nodo-i k-ésimo no está asignado a ningún fichero, el array de punteros almacenará NULL en la posición k
    - En caso contrario, apuntará a una estructura `NodeStructure` válida.

```
typedef struct NodeStructure {
   int numBlocks;                      // Núm. bloques
   int fileSize;                       // Tamaño fichero
   time_t modificationTime;            // Tiempo de modificación
   DISK_LBA blocks[MAX_BLOCKS_PER_FILE]; // Bloques
   BOOLEAN freeNode;                   // Nodo-i libre
} NodeStruct;
```

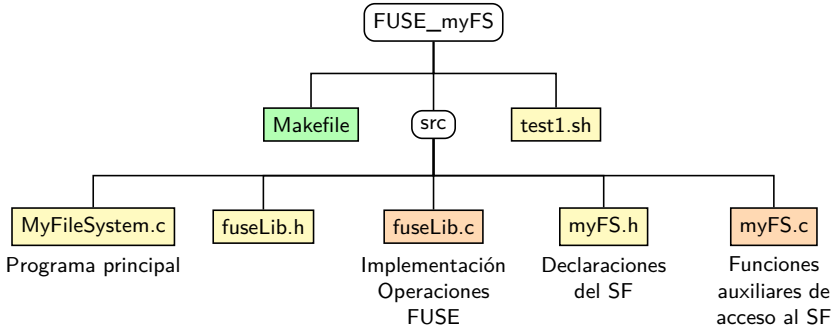
Implementación (IV)

- El directorio raíz se implementa como una tabla (array) con un contador de ficheros asociado
  - Cada entrada de la tabla almacena el nombre del fichero, su número de nodo-i, y un indicador de si la entrada del directorio está en uso o no

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

typedef struct DirectoryStructure {
    int numFiles;                           // Num files
    FileStruct files[MAX_FILES_PER_DIRECTORY]; // Directory entries
} DirectoryStruct;
```

Estructura del proyecto C



Desarrollo de la práctica

1. Implementar las operaciones `read` y `unlink` del sistema de ficheros:
   - Añadir funciones `my_read()` y `my_unlink()` en `fuseLib.c`
   - Realizar modificaciones pertinentes en la interfaz de operaciones (estructura `fuse_operations`)
   - Consultar implementación del resto de operaciones que se proporcionan
2. Implementar *script* de comprobación (`test2.sh`)
   - Más información en el guión

Algunas aclaraciones

Advertencias

- Aunque sólo haya que modificar `fuseLib.c`, es necesario analizar el código del resto del proyecto para comprender su funcionamiento
- En esta práctica pueden usarse las llamadas al sistema de Linux (`open()`, `read()`, `write()`, `close()`, ...) para el acceso al disco virtual desde el programa, pero NO las de la biblioteca estándar (`fopen()`, `fread()`, `fwrite()`, `fclose()`, ...)

Parte opcional

- La parte básica de la práctica tiene una limitación: *el gestor del sistema de ficheros NO trabaja con discos virtuales ya formateados*
  - Siempre se formatea el disco al arrancar el gestor

Parte opcional propuesta

- Modificar el programa gestor para que sea posible trabajar con discos virtuales formateados y (posiblemente) con contenido
- Para ello el programa se invocará de la siguiente forma

```
./fs-fuse -a <virtual-disk> -m -f '-d -s <mount-point>'
```

  - El procesamiento asociado a la línea de comando ya está implementado
- Esta parte opcional requiere modificar el fichero `myFs.c`

Parte opcional (II)

- Se proporciona el código completo de la función `myMount()` (en `myFs.c`), pero no así el de las funciones auxiliares que ésta invoca:
  - `int readBitMap(MyFileSystem* myFileSystem);`
  - `int readDirectory(MyFileSystem* myFileSystem);`
  - `int readSuperblock(MyFileSystem* myFileSystem);`
  - `int readInodes(MyFileSystem* myFileSystem);`
- La implementación de estas funciones auxiliares ha de completarse en `myFs.c`
  - **Pista**: analizar el código de las funciones `update***()` correspondientes

Parte opcional: Ejemplo de ejecución

terminal 1

```
jcsaez@debian:~/FUSE_myFS$  ./fs-fuse -m -a virtual-disk -f '-d -s mount-point'
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)
501 blocks for data (2052096 B)
Volume mounted successfully!
File system available
FUSE library version: 2.9.7
nullpath_ok: 0
nopath: 0
utime_omit_ok: 0
unique: 1, opcode: INIT (26), nodeid: 0, insize: 56, pid: 0
INIT: 7.26
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
...
```

Parte opcional: Ejemplo de ejecución

- En otra terminal, comprobamos que los ficheros creados previamente en el disco virtual están disponibles

terminal 2

```
jcsaez@debian:~/FUSE_myFS$ ls mount-point/
a.txt  b.txt  test.sh
jcsaez@debian:~/FUSE_myFS$ cd mount-point/
jcsaez@debian:~/FUSE_myFS/mount-point$ cat a.txt
Hello
jcsaez@debian:~/FUSE_myFS$
```

Entrega de la práctica

- Hasta el 27 de noviembre
- Para realizar la entrega de cada práctica de la asignatura debe subirse un único fichero ".zip" o ".tar.gz" al Campus Virtual
  - Ha de contener todos los ficheros necesarios para compilar la práctica (fuentes + Makefile). Debe ejecutarse "make clean" antes de generar el fichero comprimido
  - Nombre del fichero comprimido:

    `G<id_grupo>_P<num_prác>.tar.gz`

Estructura entrega (en fichero .zip o .tar.gz)