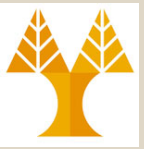
ΕΠΛ421 - Προγραμματισμός Συστημάτων

Διάλεξη 12:
Προχωρημένη Είσοδος/Έξοδος Χαμηλού Επιπέδου (Advanced Low-Level I/O) Κεφάλαιο 4 Stevens & Rago

Δημήτρης Ζεϊναλιπούρ

Περιεχόμενο Διάλεξης



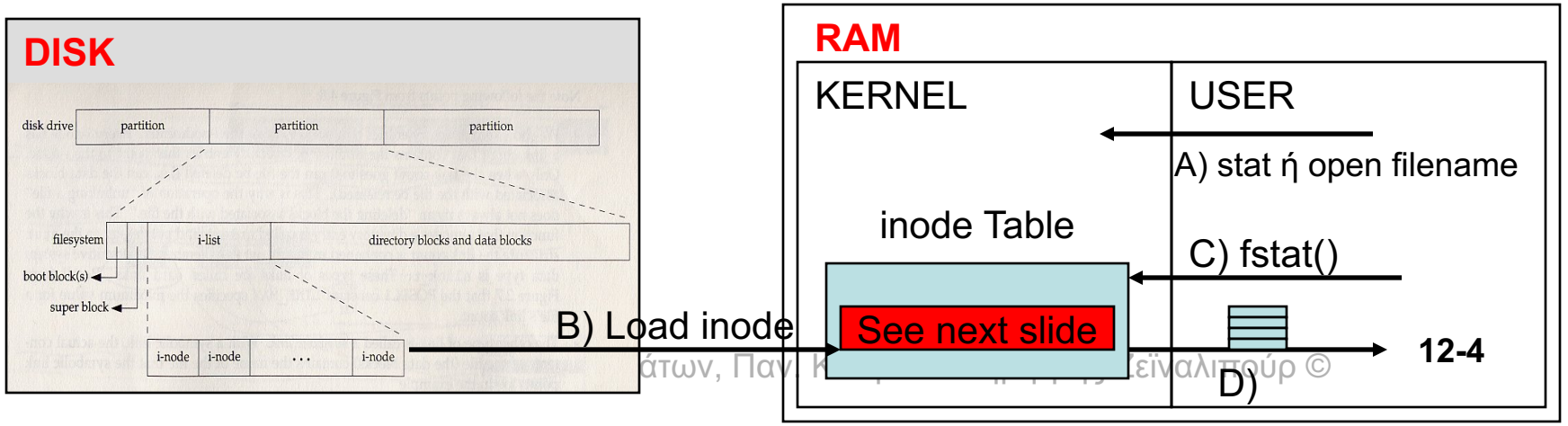
- Στην προηγούμενη διάλεξη μελετήσαμε τις εξής βασικές κλήσεις συστήματος για διαχείριση αρχείων (open, creat, read, write, lseek, close)
- Σε αυτή την ενότητα θα μελετήσουμε επιπλέον δυνατότητες του υπό-συστήματος αρχείων του πυρήνα.
- **Συγκεκριμένα θα μελετήσουμε**
  A. Διαχείριση Μέτα-πληροφορίων Αρχείων (sys/stat.h)
  B. Διαχείριση Αρχείων
  C. Διαχείριση Καταλόγων (dirent.h)
  D. Παραδείγματα Χρήσης

Μέτα-πληροφορίες Αρχείων

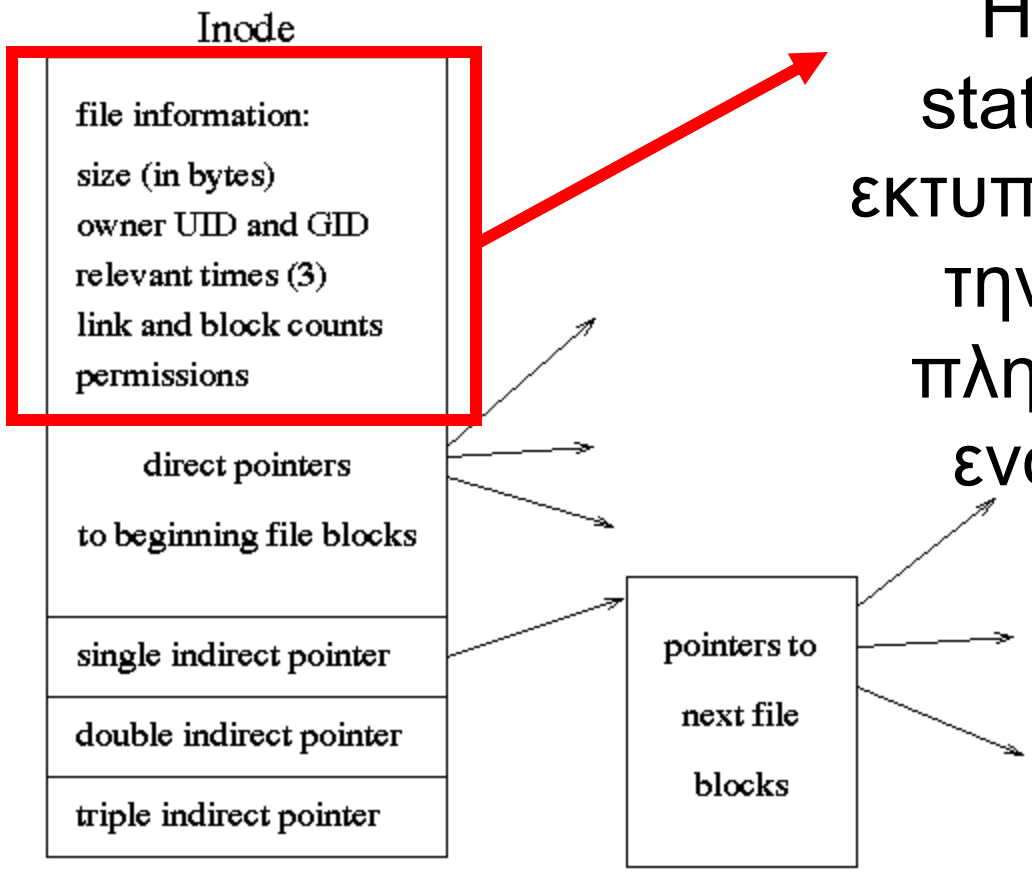
- Το open, creat, read, write, lseek, close μας επιτρέπει να έχουμε πρόσβαση στο **περιεχόμενο αρχείων.**
- **Τι γίνεται με τις υπόλοιπες πληροφορίες;** (όπως π.χ., αυτές που επιστρέφονται από την ls –al)…. δηλαδή filesize, permissions, last modification date, owner, κτλ.)
- Αυτές οι πληροφορίες ονομάζονται Μέτα-Δεδομένα (Meta-data) ή εναλλακτικά Μέτα-Πληροφορίες (Meta-information).
- Εδώ θα μελετήσουμε που αποθηκεύονται και πως ανακτώνται.

Μέτα-πληροφορίες Αρχείων
Που αποθηκεύονται?

- Γνωρίζουμε ότι το **inode (index node)** είναι μια δομή δευτερεύουσας μνήμης η οποία φορτώνεται στην κύρια μνήμη από τον πυρήνα όταν ανοίγει ένα αρχείο και η οποία περιέχει δείκτες στα πραγματικά δεδομένα.
- Στην Μνήμη υπάρχει ένα **I-node Table** το οποίο περιέχει τις μέτα-πληροφορίες των ανοικτών αρχείων.
- Πρόσβαση σε αυτές τις μέτα-πληροφορίες έχουμε μέσω των εντολών συστήματος **stat/fstat/lstat.**



Μέτα-πληροφορίες Αρχείων
Που αποθηκεύονται?



Η εντολές stat/fstat/lstat εκτυπώνουν αυτή την περιοχή πληροφοριών ενός i-node

Τα υπόλοιπα έχουν σχέση με την ανάκτηση των blocks που περιέχουν την πραγματική πληροφορία του αρχείου.

Μέτα-πληροφορίες Αρχείων
Το system call Stat()

- Για πρόσβαση στις μέτα-πληροφορίες εκτελούμε την κλήση συστήματος
- **#include <sys/stat.h>**

  int stat(char *path, struct stat *buf)

  Returns: -1=Error, 0=Success

η οποία συμπληρώνει τα πεδία της δομής **buf** με τις πληροφορίες που είναι καταχωρημένες στο **i-node** του κόμβου με το όνομα path

- Εάν έχουμε ήδη ανοίξει το αρχείο τότε χρησιμοποιούμε τον file descriptor του ανοικτού αρχείου με την εντολή fstat.

  int fstat(int fd, struct stat *buf)

- Υπάρχει και η **lstat** η οποία θα μελετηθεί σε λίγο.

Μέτα-πληροφορίες Αρχείων
Εκτελώντας την stat μας επιστρέφετε…

…μεταξύ άλλων …. (δείτε το sys/stat.h για περισσότερα)

Τύπος και Πεδίο	Περιγραφή
ino_t **st_ino**	Αριθμός I-Node
nlink_t **st_nlink**	Αριθμός (σκληρών) συνδέσμων στο αρχείο (π.χ. ln oldfilename newfilename θα αυξήσει το nlink του oldfilename από 1 σε 2)
uid_t **st_uid**	UNIX userID (το ίδιο με αυτό στο /etc/passwd)
gid_t **st_gid**	UNIX groupID (το ίδιο με αυτό στο /etc/passwd)
off_t **st_size**	Μέγεθος Αρχείου σε bytes (εάν είναι regular αρχείο)
Τα πιο κάτω είναι το **πλήθος δευτερολέπτων** που έχουν παρέλθει από την 1/1/1970. Μπορούμε να τα μορφοποιήσουμε σε μια πιο εύληπτη μορφή με τις συναρτήσεις της βιβλιοθήκης time.h (συγκεκριμένα ctime) (δες παράδειγμα 1 πιο κάτω)	
time_t **st_atime**	time of last **a**ccess (of the **file's content**) – R
time_t **st_mtime**	time of last data **m**odification (of the **file's content**) – W or A
time_t **st_ctime**	time of status **c**hange (**inode change**) | ctime & mtime usually same
blksize_t **st_blksize**	Συνιστάμενο I/O Block για το αντικείμενο το οποίο μπορεί να διαφέρει μεταξύ συστημάτων αρχείων (π.χ., 4096 Bytes)
mode_t **st_mode**	Δικαιώματα Πρόσβασης Αρχείου (επόμενη διαφάνεια& παράδειγμα 2)

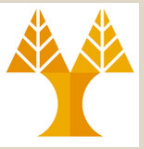
File Creation Timestamps
[atime, mtime, ctime and crtime/btime (ext4)]

```
$ touch test.txt
$ stat test.txt
  File: 'test.txt'
  Size: 0         Blocks: 0          IO Block: 1048576 regular empty file
Device: 3fh/63d Inode: 6670939444  Links: 1
Access: (0600/-rw-------)  Uid: ( 1240/  dzeina)   Gid: (  231/ faculty)
Context: system_u:object_r:nfs_t:s0
Access: 2018-03-28 11:31:19.705349937 +0300   # time of last access (of the file's content) – R
Modify: 2018-03-28 11:31:19.705349937 +0300   # time of last data modification (file's content) – W or A
Change: 2018-03-28 11:31:19.705349937 +0300   # time of status change (inode change)
Birth: -  # ext4 newly introduced attribute to show when it appeared on filesystem
$ echo "a" > test.txt
$ stat test.txt
  File: 'test.txt'
  Size: 2         Blocks: 8          IO Block: 1048576 regular file
Device: 3fh/63d Inode: 6670939444  Links: 1
Access: (0600/-rw-------)  Uid: ( 1240/  dzeina)   Gid: (  231/ faculty)
Context: system_u:object_r:nfs_t:s0
Access: 2018-03-28 11:31:19.705349937 +0300
Modify: 2018-03-28 11:31:40.629763232 +0300
Change: 2018-03-28 11:31:40.629763232 +0300
 Birth: -
```

File Creation Timestamps [atime, mtime, ctime and crtime/btime (ext4)]

```
$ chmod 777 test.txt
$ stat test.txt
  File: 'test.txt'
  Size: 2         Blocks: 8          IO Block: 1048576 regular file
Device: 3fh/63d Inode: 6670939444  Links: 1
Access: (0777/-rwxrwxrwx)  Uid: ( 1240/  dzeina)   Gid: (  231/ faculty)
Context: system_u:object_r:nfs_t:s0
Access: 2018-03-28 11:31:19.705349937 +0300 # time of last access (of the file's content) – Read
Modify: 2018-03-28 11:31:40.629763232 +0300 # time of last data modification (file's content) – Write or A
Change: 2018-03-28 11:33:14.851150111 +0300 # time of status change (inode change)
Birth: -
$ cat test.txt
a
$ stat test.txt
  File: 'test.txt'
  Size: 2         Blocks: 8          IO Block: 1048576 regular file
Device: 3fh/63d Inode: 6670939444  Links: 1
Access: (0777/-rwxrwxrwx)  Uid: ( 1240/  dzeina)   Gid: (  231/ faculty)
Context: system_u:object_r:nfs_t:s0
Access: 2018-03-28 11:33:32.247672734 +0300
Modify: 2018-03-28 11:31:40.629763232 +0300
Change: 2018-03-28 11:33:14.851150111 +0300
Birth: -
```

Μέτα-πληροφορίες Αρχείων



- *Το **stat.st_mode** μπορεί να αξιοποιηθεί με την χρήση των πιο κάτω macros (τα οποία ορίζονται μέσα στην sys/stat.h)*
  - ***S_ISLNK(st_mode) symbolic link***
  - ***S_ISREG(st_mode) regular file***
  - ***S_ISDIR(st_mode) directory***
  - ***S_ISCHR(st_mode) character device***
  - ***S_ISBLK(st_mode) block device***
  - ***S_ISFIFO(st_mode) fifo***
  - ***S_ISSOCK(st_mode) socket***
- *Η sys/stat.h περιέχει πολλές άλλες σταθερές τις οποίες καλείστε να μελετήσετε (man -s2 stat)*

Παράδειγμα 1: mystat

Να υλοποιήσετε σε C και με χρήση κλήσεων συστήματος, ένα απλό πρόγραμμα το οποίο να εκτυπώνει τις μέτα-πληροφορίες κάποιου αρχείου το οποίο δίδεται σαν παράμετρος.

π.χ.

./mystat /etc/passwd

Παράδειγμα 1: stat

Η εκτέλεση της εντολής stat του UNIX …

$ stat /etc/passwd

File: `/etc/passwd'

Size: 2005 Blocks: 8 IO Block: 4096 regular file

Device: fd00h/64768d Inode: 67570 Links: 1

Access: (0644/-rw-r--r--) Uid: (0/ root) Gid: (0/ root)

Access: 2009-01-13 13:35:33.000000000 +0200 // Access Data

Modify: 2008-03-11 12:46:59.000000000 +0200 // Change Data

Change: 2008-03-11 12:46:59.000000000 +0200 // Change Inode

Μέγεθος Αρχείου σε bytes
du -b /etc/passwd

DeviceID (see man –s2 stat)

Συνιστάμενο Block Size

Παράδειγμα 1: mystat

```
#include <sys/stat.h>
#include <unistd.h> // STDOUT_FILENO
#include <stdio.h>  // printf()
#include <time.h>       // ctime()

int main(int argc, char *argv[]) {
      struct stat buf;
      printf("%s\n", argv[1]);
      if (stat(argv[1], &buf) < 0) {
            perror("lstat error");
            exit(1);
       }

       printf("+ I-Node: %li\n", buf.st_ino);
       printf("+ Size: %d\n", buf.st_size);
       printf("+ Hard Links: %d\n", buf.st_nlink);
       printf("+ User ID: %d\n", buf.st_uid);
       printf("+ Group ID: %d\n", buf.st_gid);
       printf("+ Last Content Access (atime): %s", ctime(&buf.st_atime));
       printf("+ Last I-Node Change (ctime): %s", ctime(&buf.st_ctime));
       printf("+ Last Content Change (mtime): %s", ctime(&buf.st_mtime));
       printf("+ Preferred I/O Block: %d\n", buf.st_blksize);
       printf("+ Allocated Blocks: %d\n", buf.st_blocks);
       return 0;
}
```

Παράδειγμα 1: Εκτέλεση mystat

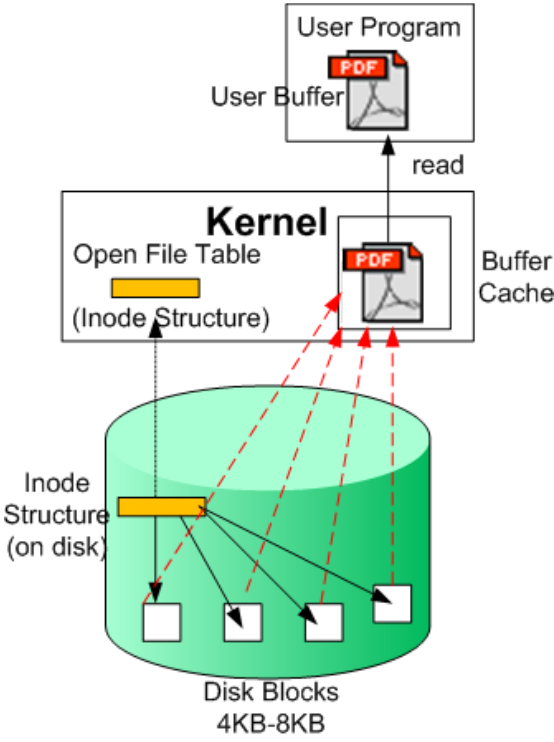
$./mystat /etc/passwd
/etc/passwd
+ I-Node: 67570
+ Size: 2005
+ Hard Links: 1
+ User ID: 0
+ Group ID: 0
+ Last Content Access (atime): Sat Jan 13 13:35:33 2009
+ Last I-Node Change (ctime): Tue Mar 11 12:46:59 2008
+ Last Content Change (mtime): Tue Mar 11 12:46:59 2008
+ Preferred I/O Block: 4096
+ Allocated Blocks: 8

Permissions, etc.

$ls -ial /etc/passwd
67570 -rw-r--r-- 1 root root 2005 Mar 11 2008 /etc/passwd

Flushing Data to Disk
fsync, fdatasync

- Ανά πάσα στιγμή τα δεδομένα + μεταδομένα που έχουμε εγγράψει μέσω `write()` μπορεί να βρίσκονται στο **kernel space** αντί στο **δίσκο**.
- Για να βεβαιωθούμε ότι θα έχουν **κατεβεί σε επίπεδο controller μαγνητικού μέσου,** πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τα system calls **`fsync, fdatasync()`**
  - Χρήσιμο σε εφαρμογές βάσεων δεδομένων όπου για λόγους συνέπειας στην εκτέλεση δοσοληψίων (transactions)



Flushing Data to Disk
fsync, fdatasync

```
#include <unistd.h>
int fsync(int fd);
int fdatasync(int fd);
```

- **fsync(): flushes metadata + data**
  - This includes **writing through** or flushing a **disk cache** if present.
  - The call **blocks** until the device reports that the transfer has completed
- **fdatasync(): flushes data only!**
  - "does not flush modified metadata **unless** that metadata is needed in order to allow a subsequent data retrieval to be correctly handled",
  - e.g., changes to *t_atime* or *st_mtime* => *no metadata sync!*
  - *e.g., changes to file size => Requires metadata sync!*
- In Linux 2.2 and earlier, **fdatasync**() is equivalent to **fsync**(), and so has no performance advantage.

I/O Optimization I (Write-through Kernel)

- **O_DIRECT** (since Linux 2.4.10) Try to minimize cache effects of the I/O to and from this file. In general this will degrade performance, but it is useful in special situations, such as when applications do their own caching.
  - File I/O is done directly to/from user- space buffers. The **O_DIRECT** flag on its own makes an effort to transfer data synchronously, but does not give the guarantees of the **O_SYNC** flag that data and necessary metadata are transferred. To guarantee synchronous I/O, **O_SYNC** must be used in addition to **O_DIRECT**. See NOTES below for further discussion. A semantically similar (but deprecated) interface for block devices is described in raw(8).
- **O_DSYNC** Write operations on the file will complete according to the requirements of synchronized I/O *data* integrity completion. By the time write(2) (and similar) return, the output data has been transferred to the underlying hardware, along with any file metadata that would be required to retrieve that data (i.e., as though each write(2) was followed by a call to fdatasync(2)). *See NOTES below.*

Timestamps (Disabling atime)

- time updates are by far the biggest IO performance deficiency that Linux has today.
- To disable the writing of access times, you need to mount the filesystem(s) in question with the **noatime** option.

```
mount /home -o remount,noatime
```

- To make the change permanent, update your `/etc/fstab` and add `noatime` to the options field.

order in which filesystem checks are done at reboot time.

Before:

```
/dev/mapper/sys-home /home xfs defaults 0 2
```

After:

```
/dev/mapper/sys-home /home xfs nodev,nosuid,noatime 0 2
```

nodev - Don't interpret block special devices on the filesystem.

nosuid - Block the operation of suid, and sgid bits.

the **nomtime** mount option (on some unix) does *not* disable mtime updates, instead it performs a *lazy* mtime update - so the mtime is still updated, just delayed a little

I/O Optimization II (Disabling Atime)

- **O_NOATIME** (since Linux 2.6.8) Do not update the file last access time (*st_atime* in the inode) when the file is read(2). This flag can be employed only if one of the following conditions is true:
  - * The effective UID of the process matches the owner UID of the file.
  - * The calling process has the **CAP_FOWNER** capability in its user namespace and the owner UID of the file has a mapping in the namespace.
- This flag is intended for use by indexing or backup programs, where its use can significantly reduce the amount of disk activity.
  - This flag may not be effective on all filesystems. One example is NFS, where the server maintains the access time.
- More: http://man7.org/linux/man-pages/man2/open.2.html

Παράδειγμα 2: filetype

Να υλοποιήσετε σε C και με χρήση κλήσεων συστήματος, ένα απλό πρόγραμμα filetype το οποίο εκτυπώνει για κάθε αρχείο το οποίο δίδεται σαν παράμετρο, τον τύπο του αρχείου (regular, directory,…).

π.χ.,

*./filetype **

./filetype /etc/passwd /etc /dev/initctl /dev/log /dev/tty /dev/cdrom

Παράδειγμα 2: filetype

```
#include <sys/stat.h> // STAT related
#include <unistd.h> // STDOUT_FILENO

void printstat(struct stat *buf);

int main(int argc, char *argv[]) {
    struct stat buf;
    int i;

      for (i=1; i<argc; i++) {
         printf("%s:", argv[i]);
         if (lstat(argv[i], &buf) < 0) {
               perror("lstat error");
               continue;
         }

         printstat(&buf);
      }
      return 0;
}
```

```
void printstat(struct stat *buf) {
   char  *ptr;
   if (S_ISREG(buf->st_mode))
            ptr = "regular";
   else if S_ISDIR(buf->st_mode)
            ptr = "directory";
   else if S_ISCHR(buf->st_mode)
            ptr = "character special";
   else if S_ISBLK(buf->st_mode)
            ptr = "block special";
   else if S_ISFIFO(buf->st_mode)
            ptr = "fifo";
   else if S_ISLNK(buf->st_mode)
            ptr = "symbolic link";
   else if S_ISSOCK(buf->st_mode)
            ptr = "socket";
   else ptr = "Unknown Mode";
   printf("%s\n", ptr);
}
```

Γιατί lstat αντί stat? Σε περίπτωση symbolic link μας ενδιαφέρουν **τα metadata του ίδιου του link** (ότι είναι **symbolic link δηλαδή**) και όχι του αρχείου στο οποίο δείχνει το link … Περισσότερα στη συνέχεια…

Παράδειγμα 1: Εκτέλεση filetype

Αποτέλεσμα Εκτέλεσης

$ # Σημειώστε ότι το /dev/cdrom είναι symbolic link στο /dev/hda.

*$ls -al **/dev/cdrom***

*lrwxrwxrwx 1 root root 8 Feb 10 2003 **/dev/cdrom -> /dev/hda***

$./filetype /etc/passwd /etc /dev/initctl /dev/log /dev/tty /dev/cdrom /dev/hda

/etc/passwd:regular

/etc:directory

/dev/initctl:fifo

/dev/log:socket

/dev/tty:character special

/dev/cdrom:symbolic link

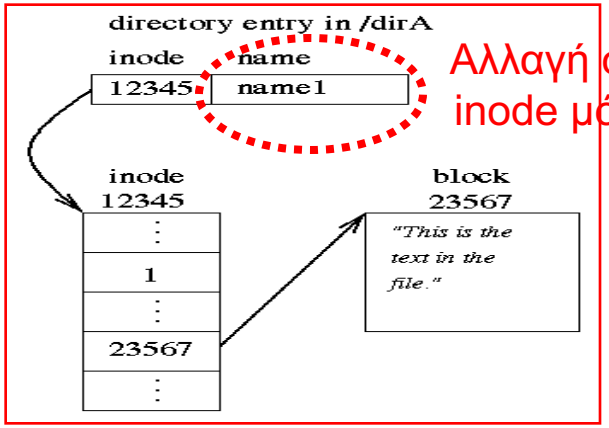
/dev/hda:block special

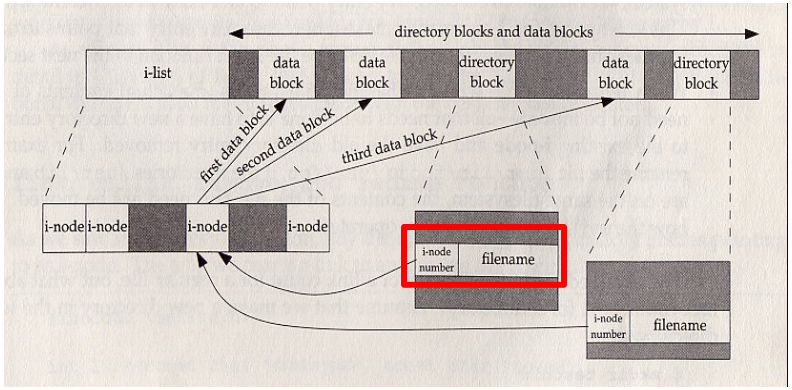
Η Κλήση Συστήματος rename()

int rename (char *oldpath, char *newpath)

Returns: -1=Error, 0=Success

- *Μετονομάζει τον κόμβο με το όνομα **oldpath** σε **newpath**.*
- *Ουσιαστικά η τροποποίηση γίνεται μέσα στο **directory block** το οποίο περιέχει το inode+όνομα του αρχείου*





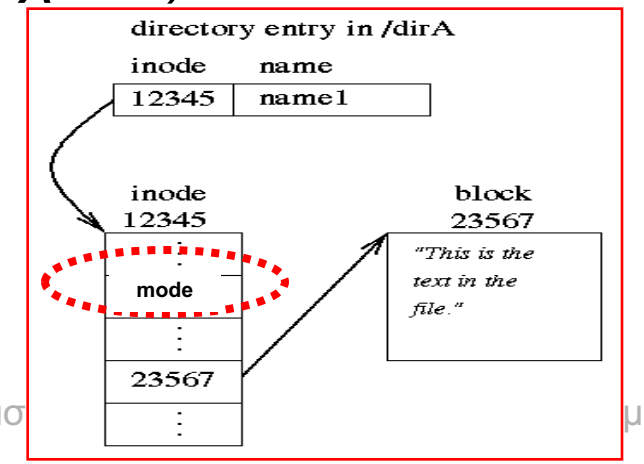
- *Το rename δουλεύει για οποιαδήποτε αρχεία (και καταλόγους) … είτε δίδονται με σχετική ή με απόλυτη διεύθυνση.*

Η Κλήση Συστήματος chmod()

int chmod (char *path, int mode)
Returns: -1=Error, 0=Success

Manipulate File Descriptor

- *Αλλάζει τα δικαιώματα προστασίας του κόμβου με όνομα path σε αυτά που περιγράφονται από το mode κατά τον γνωστό τρόπο (σταθ.* **S_Ixxxx στο fcntl.h ή ακέραιο)**
- *Η αλλαγή γίνεται μέσα στο inode όπως φαίνεται πιο κάτω*
- *Υπάρχει και αντίστοιχη κλήση συστήματος* ***fchmod****, η οποία αντί για path* ***περιμένει*** *ένα file descriptor (περιγραφέα αρχείου)*

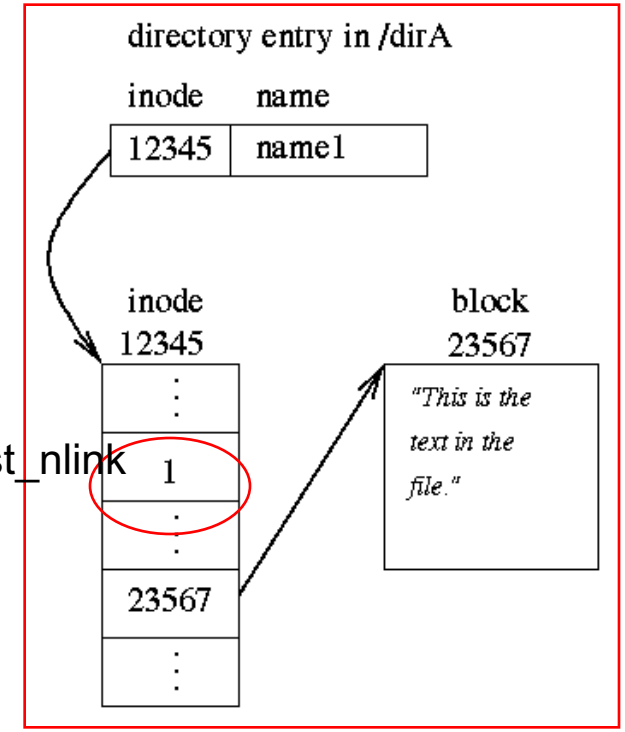


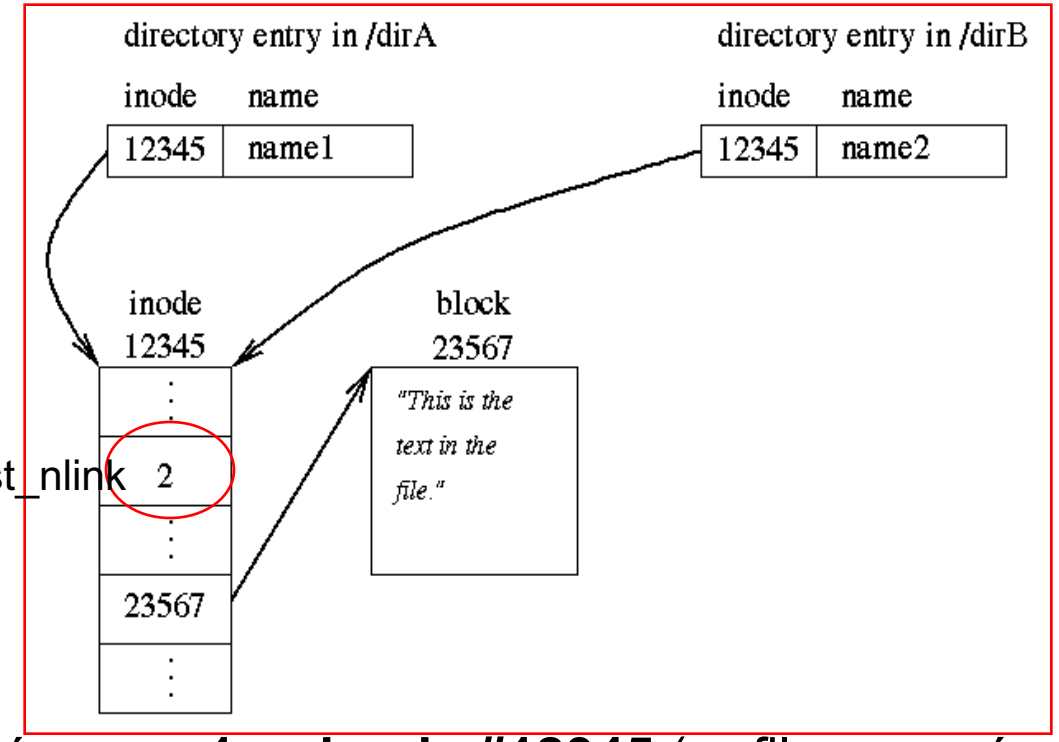
Οι Κλήσεις Συστήματος link() / unlink()

#include <unistd.h>
int link(char *oldpath, char *newpath)
int unlink(char *path)
Returns: -1=Error, 0=Success

- *Η **link** δημιουργεί ένα σκληρό σύνδεσμο **newpath** στο αρχείο **FILE** το οποίο έχει όνομα **oldpath**.*
- *Με αυτό τον τρόπο το **FILE**.**st_nlink*** (πεδίο του INODE) αυξάνεται κατά ένα (δες επόμενη διαφάνεια).
- *Η **unlink** διαγράφει τον σκληρό σύνδεσμο.*
- *Ουσιαστικά απλά μειώνεται κατά ένα ο μετρητής **FILE**.**st_nlink***
- *Εάν ο μετρητής γίνει ίσος με 0 τότε διαγράφονται τα blocks του αρχείου **FILE** από την δευτερεύουσα μνήμη.*

Οι Κλήση Συστήματος link()





- Αριστερά δείχνουμε ο αρχείο **name1** με **inode #12345** (το filename είναι εντελώς αχρείαστο πλέον!) το οποίο έχει **stat.st_nlink=1.**
- Δεξιά δείχνουμε την περίπτωση που έχει δημιουργηθεί ένα hard link μέσω της “ln name name2” ή μέσω της link(). Τώρα **το stat.st_nlink=2.**

Οι Κλήσεις Συστήματος symlink() / readlink()

#include <unistd.h>
int symlink(char *oldpath, char *newpath)
int readlink(char *path, char *buf, int size)
Returns: -1=Error, 0=Success and readline returns the final number of bytes read to buf.

- *Η symlink δημιουργεί ένα συμβολικό σύνδεσμο από την oldpath στην newpath (όπως η ln –s oldpath newpath).*

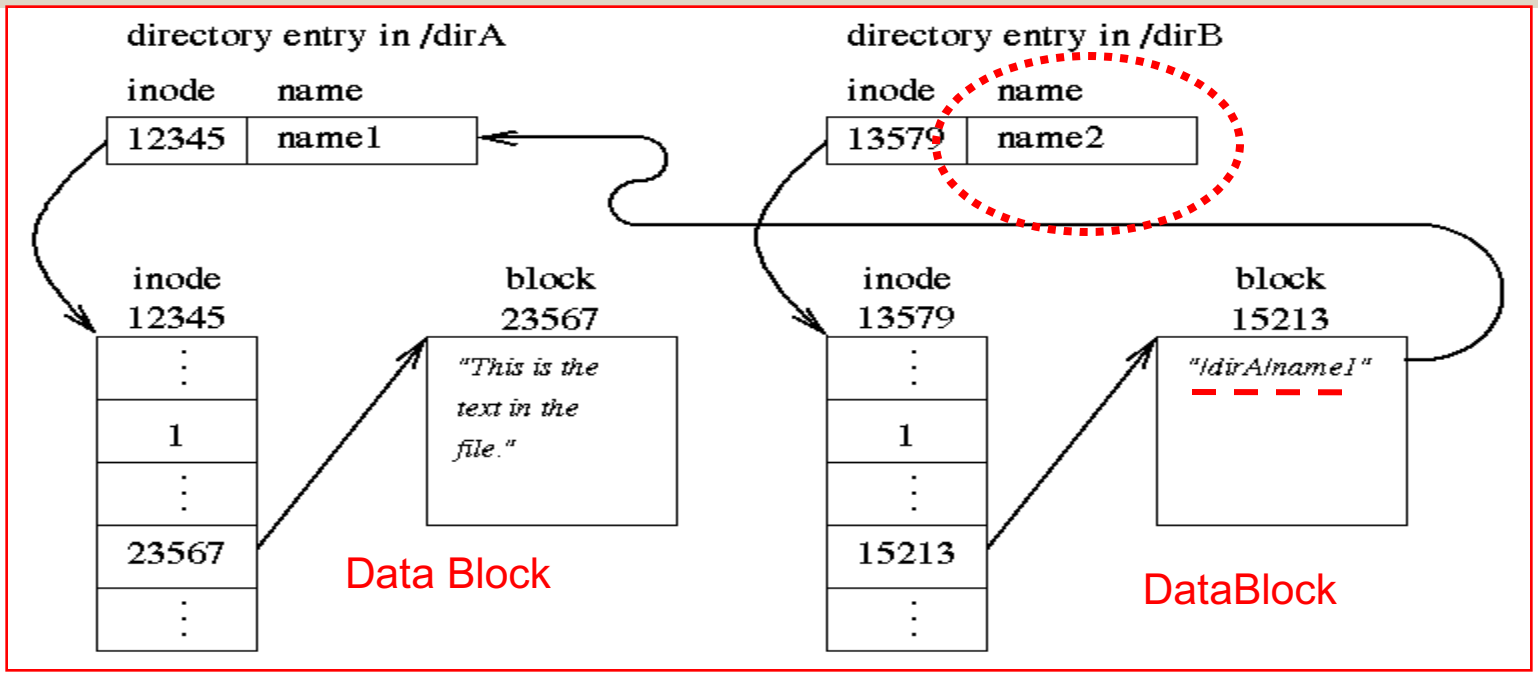
- *Η readlink επιστρέφει στο buf (μεγέθους size bytes), το όνομα στο οποίο δείχνει ο συμβολικός σύνδεσμος.* ***oldpath*** *-> newpath*
- *Η συνάρτηση* ***readlink*** *επιστρέφει σαν τιμή εξόδου τον αριθμό των bytes που διαβάστηκαν στο buf.*

π.χ. *char buffer[20]; int size = 0;*

```
symlink("/tmp/crawler", "mycrawler");
size = readlink("mycrawler", &buffer, 20);
buffer[size]='\0';
printf("%s %d\n", buffer, size);
```

=> Εκτυπώνει /tmp/crawler 12

Συμβολικοί Σύνδεσμοι, symlink και stat.st_nlink



- Δεξιά φαίνεται ότι το dirB/name2 είναι symbolic link στο /dirA/name1
  (μέσω της εντολής ``ln –s /dirA/name1 dirB/name2'' ή symlink("/dirA/name1", dirB/name2)
- Επειδή το symbolic link δημιουργεί ένα νέο **inode#13579** με **stat.st_nlink=1**
- **Σημείωση:** Εάν θέλουμε τις πληροφορίες για το inode ενός symbolic link (και όχι του αρχείου το οποίο αναφέρεται από το link) δηλαδή του **inode#13579** αντί του **inode#12345**, τότε χρησιμοποιούμε:

  int lstat(char *path, struct stat *buf)

  Και ΟΧΙ την

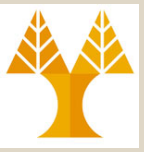
  int stat(char *path, struct stat *buf)

Διαχείριση Καταλόγων
Οι Κλήσεις Συστήματος mkdir () / rmdir()

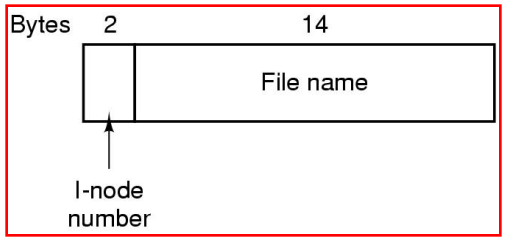
#include <sys/stat.h>
int mkdir (char *path, int mode)
int rmdir(char *path)
Returns: -1=Error, 0=Success

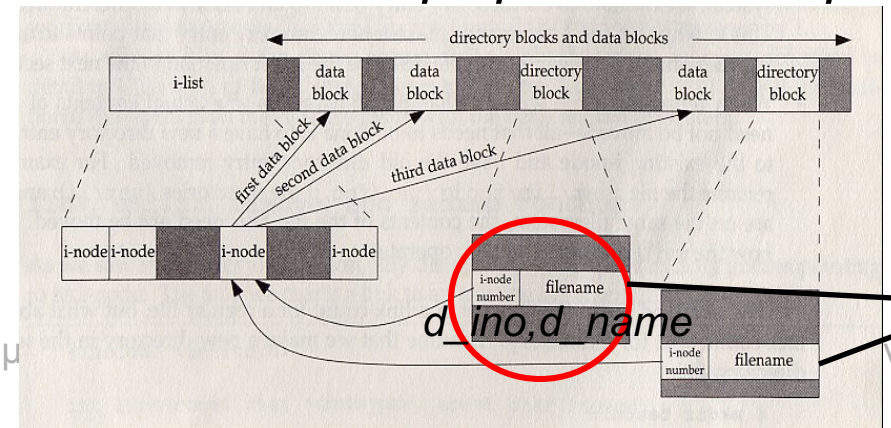
- *Η mkdir δημιουργεί ένα νέο κατάλογο με όνομα path και δικαιώματα προστασίας mode (π.χ., rwx------ = 700)*
- *Το path είναι σχετικό (π.χ., tmp) ή απόλυτο (π.χ., /tmp/f1)*
- *Σημειώστε ότι δικαιώματα τα οποία **δεν επιτρέπονται** από την τρέχουσα τιμή του umask δε δίνονται στον κατάλογο. Π.χ. umask 022 => 755 (δηλαδή το umask περιορίζει την εντολή αυτή)*
- *Επομένως εάν δώσουμε 777 τότε η umask θα θέσει τελικά τα permissions όπως τα θέλει.*
- *Η **rmdir** διαγραφεί τον κατάλογο με το όνομα path, εφόσον ο κατάλογος είναι κενός. **Αυτή η προϋπόθεση υπάρχει για να μην μένουν τα blocks αρχείων και τα inodes τους ορφανά!***
- *Ένα κοινό λάθος είναι να δώσουμε 600 (rw-) δικαιώματα. Οι κατάλογοι χρειάζονται τουλάχιστο (rwx) στο USER, δηλαδή 700 για παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ls.*

Διαχείριση Καταλόγων
Προσπέλαση Καταλόγων



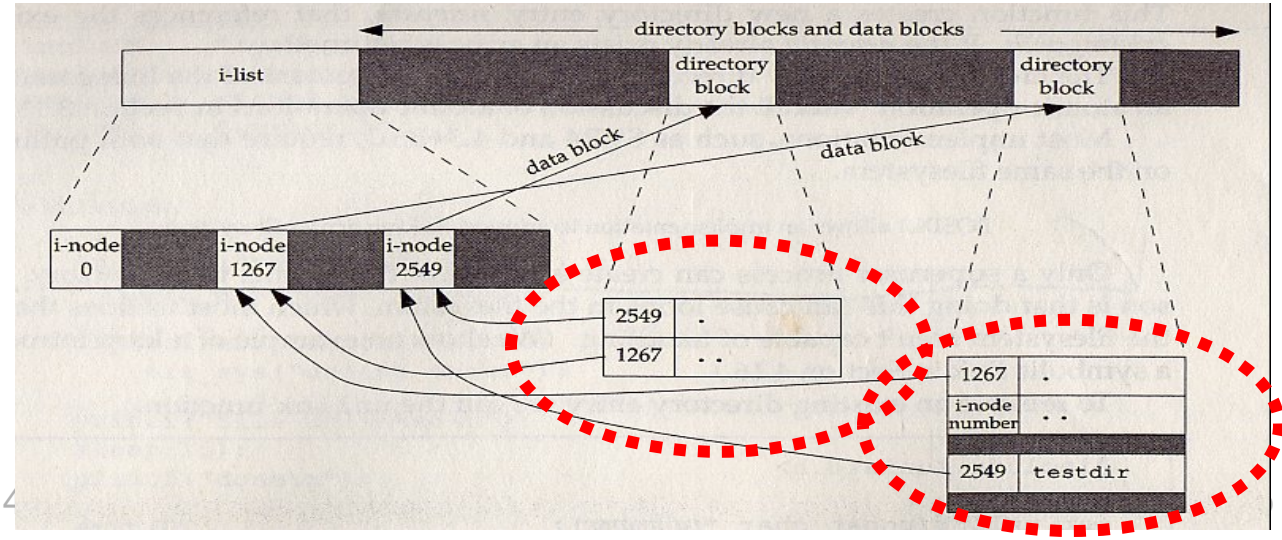
- *Τα περιεχόμενα καταλόγων τα οποία περιέχουν μια λίστα από (d_ino,d_name) μπορούν να προσπελασθούν μέσω των **συναρτήσεων βιβλιοθήκης** (όχι κλήσεις συστήματος) **opendir, readdir και closedir** (το d_name είναι συνήθως 255 chars)*
- *Η πρόσβαση σε ένα κατάλογο γίνεται μέσω ενός δείκτη **DIR *** (ανάλογου με τον FILE *) που χρησιμοποιείται στην συνάρτηση βιβλιοθήκης stdio.h*
- *Ωστόσο **μόνο ο πυρήνας μπορεί να γράψει** στο περιεχόμενο ενός καταλόγου (εν αντίθεση με τα κοινά αρχεία). Αυτό συμβαίνει για να προστατέψει ο πυρήνας τον χρήστη από λάθη τα οποία θα καταστρέψουν το δένδρο καταλόγων*





Διαχείριση Καταλόγων
Προσπέλαση Καταλόγων

- *Σημειώστε ότι κάθε αρχείο καταλόγου περιέχει στην αρχή του dir block τις i-node διευθύνσεις:*
  - *«.» υφιστάμενου καταλόγου και*
  - *«..» προηγουμένου καταλόγου*
- *Αυτό γίνεται για να είναι εφικτή η πλοήγηση προς τα πάνω στο κατάλογο του υποσυσ. αρχείων*



Γονικός κατάλογος

Προσπέλαση Καταλόγων

Οι Κλήσεις βιβλιοθήκης opendir (), closedir(), readdir()

#include <dirent.h>

DIR *opendir (char *path)

Returns: NULL=Error else pointer to DIR.

int closedir(DIR *dp)

Returns: -1=Error, 0=Success

```
struct dirent {
    ino_t       d_ino;      /* inode number */
    char        d_name[256]; /* filename */
};
```

- *Η opendir ανοίγει τον κατάλογο με όνομα path και επιστρέφει ένα δείκτη σε DIR για την πρόσβαση στον κατάλογο.*
- *Η closedir κλείνει τον κατάλογο το οποίο έχει ανοίξει μέσω του *dp*

#include <dirent.h>

struct dirent *readdir (DIR *dp)

- *Διαβάζει το επόμενο entry του ανοικτού καταλόγου dp.*
- *Επιστρέφει ένα δείκτη σε δομή struct dirent που αντιστοιχεί στο τρέχον στοιχείο του περιεχομένου του καταλόγου (από τον δείκτη dp)*
- *Επιστρέφει NULL όταν δεν υπάρχουν άλλα στοιχεία για διάβασμα.*

Διαχείριση Καταλόγων
Προσπέλαση Καταλόγων

#include <unistd.h>

int chdir(const char *path); και fchdir(int filedes)

Return: -1=Error, 0=Success

char *getcwd(char *buf, size_t size);

Return: NULL=Error, buf=Success

- Το chdir επιτρέπει σε ένα πρόγραμμα να αλλάξει τον τρέχων κατάλογο (όπως την εντολή cd).
- Ο τρέχον κατάλογος εδώ ορίζεται μέσα στις εσωτερικές δομές της διεργασίας και δεν αναφέρεται στο «.» του inode.
- Για να βρείτε τον **τρέχων κατάλογο** εκτελέστε την συνάρτηση συστήματος **getcwd** (δηλ., όμοιο με την "pwd")
- Η getcwd γράφει το όνομα του τρέχων καταλόγου στο buf (μεγέθους size) όπως η εντολή ***readlink που είδαμε προηγουμένως.***

Παράδειγμα 3: lsdirR

Να υλοποιήσετε σε C και με χρήση κλήσεων συστήματος, ένα απλό πρόγραμμα lsdirR(pathname) το οποίο εκτυπώνει αναδρομικά όλα τα αρχεία τα οποία αναφέρονται μέσω του pathname.

π.χ.

./lsdir ~/public_html/courses/epl111

Παράδειγμα 3: lsdirR

```
#include <stdio.h> // printf
#include <sys/types.h>
// opendir, readdir, closedir
#include <dirent.h>
#include <sys/stat.h> // lstat

// function prototype
void printdir(char *, int);

int main(int argc, char *argv[])
{
   printf("Directory scan of %s:\n",
     argv[1]);
   printdir(argv[1], 3);
   printf("done.\n");
   exit(0);
}
```

Κενά παραγράφου

```
void printdir(char *dir, int indent) {
      DIR *dp;
      struct dirent *entry;
      struct stat statbuf;
      if((dp = opendir(dir)) == NULL) {
        perror(dir);    return;
      }
      chdir(dir);          // change directory

      while((entry = readdir(dp)) != NULL) {
            lstat(entry->d_name,&statbuf);
            if(S_ISDIR(statbuf.st_mode)) {
                  /* Found a directory, but ignore . and .. */
                  if(strcmp(".",entry->d_name) == 0 ||
                    strcmp("..",entry->d_name) == 0)
                        continue;
                  printf("%*s%s/\n",indent,"",entry->d_name);
                  /* Recurse using a new indent offset */
                  printdir(entry->d_name,indent);
            }
            else printf("%*s%s\n",indent,"",entry->d_name);
      }
      chdir("..");
      closedir(dp);
}
```

Παράδειγμα 1: Εκτέλεση lsdirR

Αποτέλεσμα Εκτέλεσης $./ldirR ~/public_html/courses/epl111

Directory scan of /home/faculty/dzeina/public_html/courses/epl111:
contract.pdf
exercises/
ex1.pdf
ex2.pdf
exercises.html
index.html
lock.gif
notes.html
pdf.gif
proofwriting.pdf
rosen.png
slides/
lect3.pdf
lect1.pdf
…
lect15.pdf
ucy.gif
ex-manual.pdf
done.

Σημείωση: Δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένα σειρά