

## 第九章 文件操作与权限管理

---

授课教师：任立勇

电子邮箱：17524677@qq.com



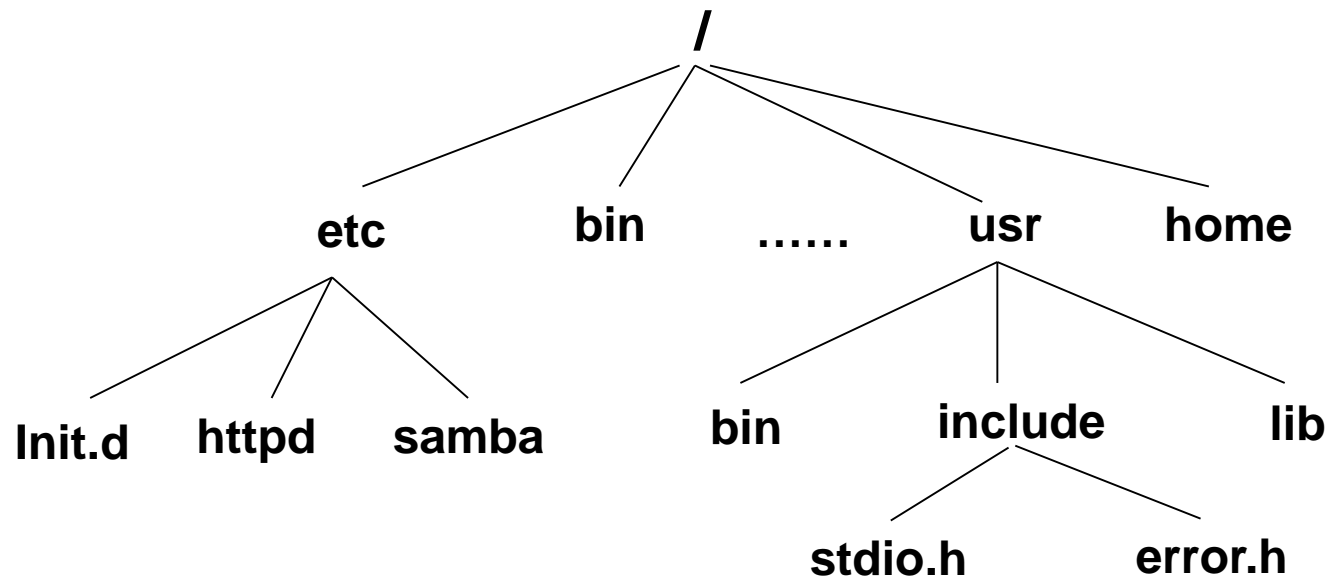
# 主要内容

- **UNIX/Linux文件系统的基本结构**
- **索引节点的功能**
- **文件的分类与权限**
- **文件I/O**
- **目录操作与文件属性**



# 文件的组织形式

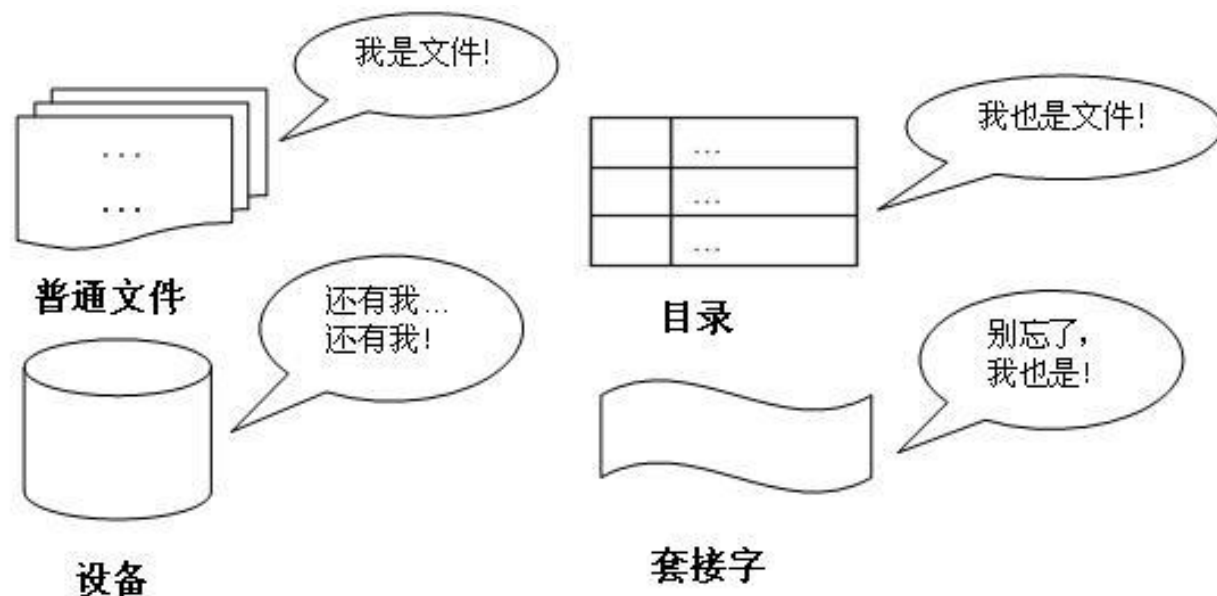
- **文件：**一组在逻辑上具有完整意义的信息项的系列
- **目录：**用来容纳文件，目录可以包含子目录，层层嵌套以形成路径。（以斜线分隔的文件名序列构成路径名）





# Unix/Linux文件系统特性

- “一切皆是文件”是 Unix/Linux 的基本哲学之一。普通文件，目录、字符设备、块设备、套接字等在 Unix/Linux 中都是文件
- 类型不同的文件都是通过相同的API对其进行操作





# Unix/Linux文件系统特性

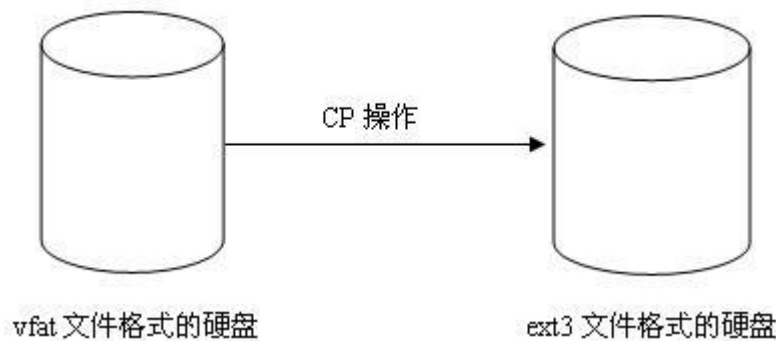
- Unix/Linux 中允许不同的文件系统共存，如 ext2, ext3, vfat 等。

文件系统	适用场景	原因
ext2	U盘	ext2不写日志，对安全性要求不高，兼容FAT
ext3	对稳定性要求高的场景	
ext4	小文件较少	不支持inode动态分配
xfs	小文件多	支持inode动态分配



# Unix/Linux文件系统特性

- 通过统一的文件操作API/系统调用即可对系统中的任意文件进行操作而无需考虑其所在的具体文件系统格式
- 更进一步，对文件的操作可以跨文件系统而执行：可以使用 `cp` 命令从 `vfat` 文件系统格式的硬盘拷贝数据到 `ext3` 文件系统格式的硬盘；而这样的操作涉及到两个不同的文件系统。

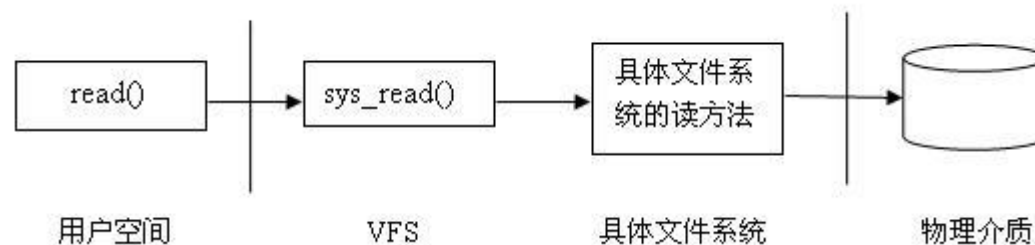






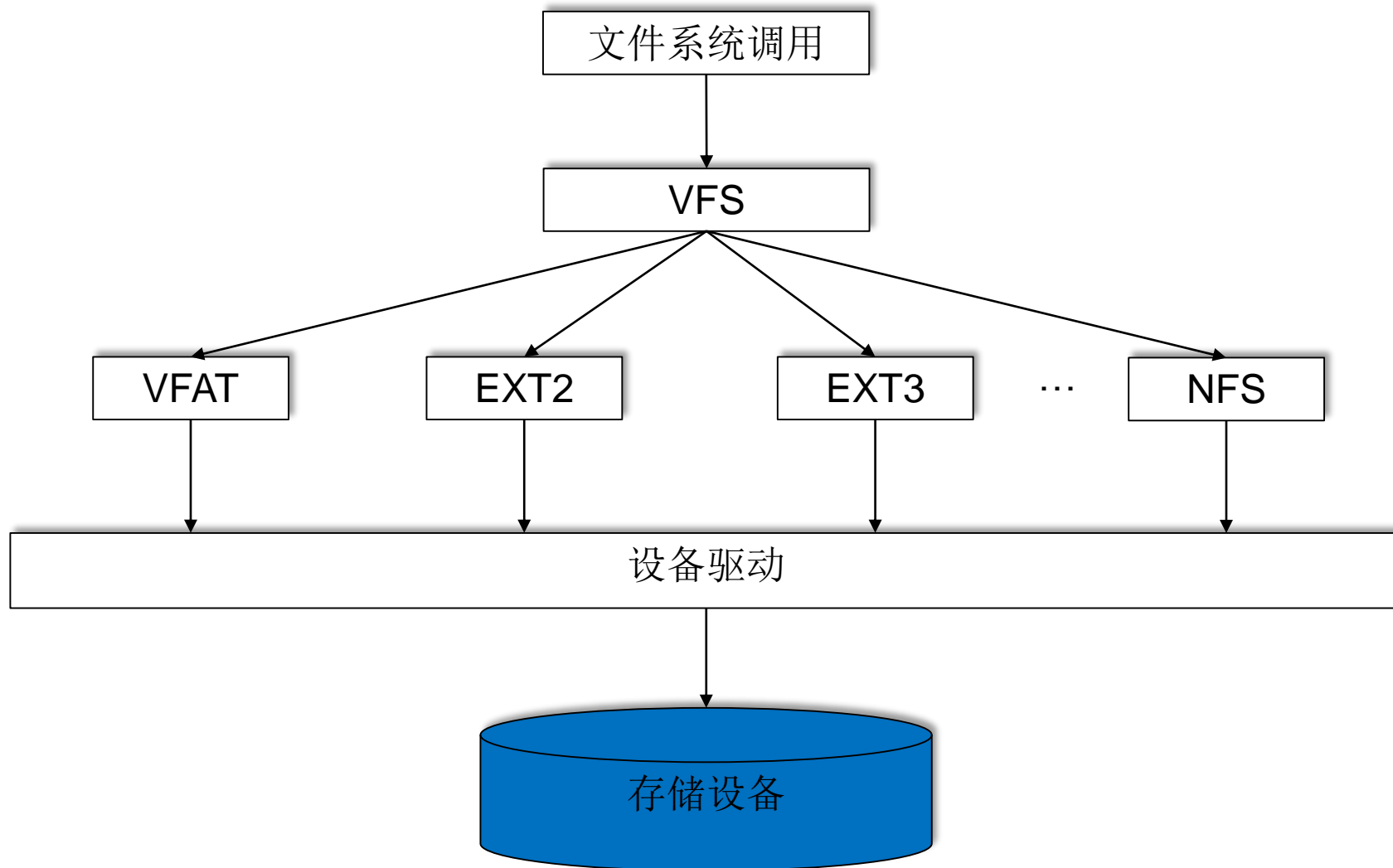
# 虚拟文件系统

- 虚拟文件系统是Linux 内核中的一个软件层，对内实现文件系统的抽象，允许不同的文件系统共存，对外向应用程序提供统一的文件系统接口
  - VFS 定义了所有文件系统都支持的基本、抽象接口和数据结构
  - 实际文件系统实现VFS 定义的抽象接口和数据结构（文件、目录等概念在形式上与VFS的定义保持一致），在统一的接口和数据结构下隐藏了具体的实现细节
- 虚拟文件系统保证了上述UNIX/Linux文件系统的两点特性





# Linux文件系统架构







# 主要内容

- UNIX/Linux文件系统的基本结构
- **索引节点的功能**
- 文件的分类与权限
- 文件I/O
- 目录操作与文件属性



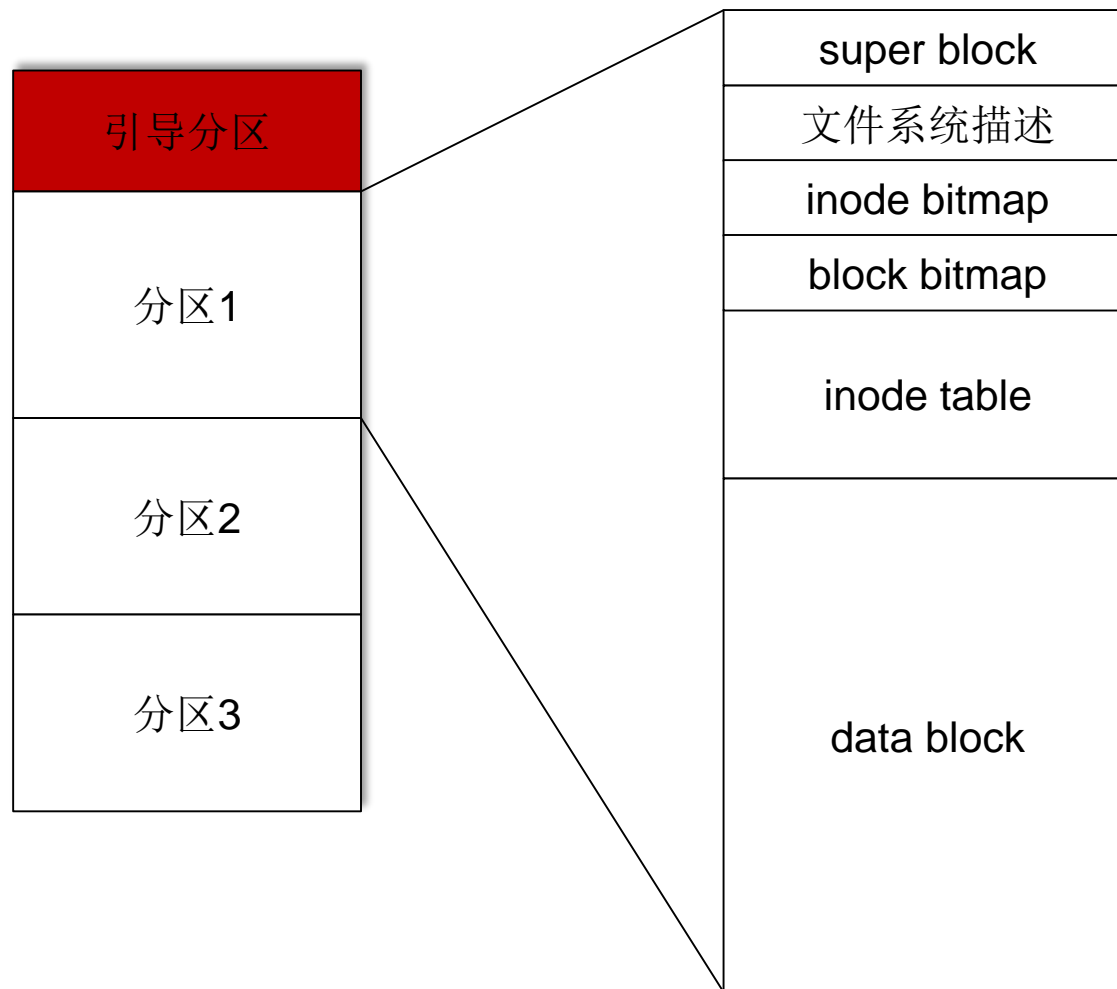
# 文件在磁盘中的表现形式

## ■ 物理表现形式：

- **超级块**：用于存储文件系统的控制信息的数据结构。描述文件系统的状态、文件系统类型、大小、区块数、索引节点数等，存放于磁盘的特定扇区中。
- **索引节点 (i节点)**：用于存储文件的元数据（文件的基本信息）的一个数据结构，包含诸如文件的大小、拥有者、创建时间、数据块/目录块位置等信息。
- **目录块**：存放目录文件的内容
- **数据块**：存放非目录文件的内容

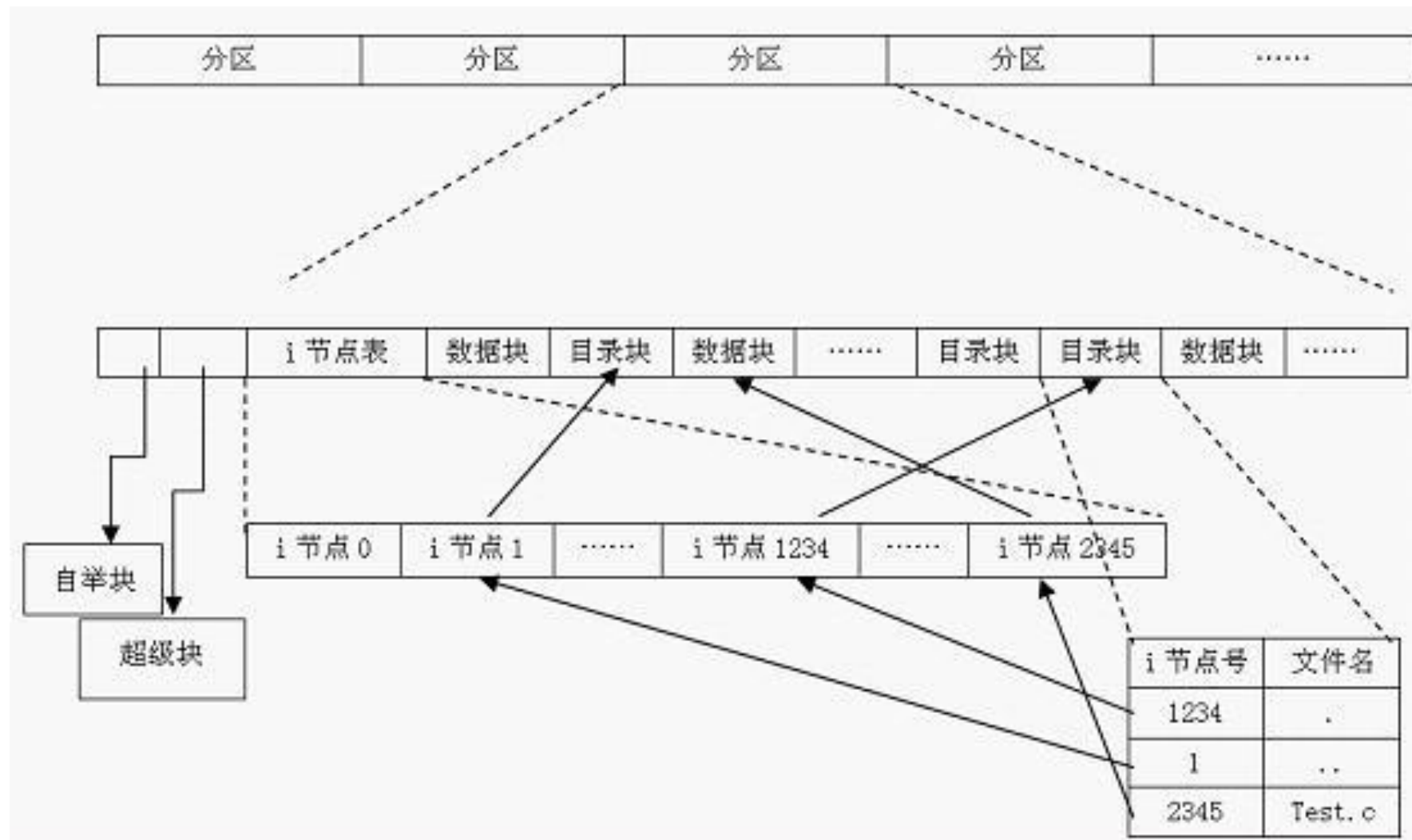


# 文件在磁盘中的表现形式





# 文件在磁盘中的表现形式





## 目录文件内容

- 一系列目录项 (dirent) 的列表，每个目录项由两部分组成：
  - 所包含文件的文件名
  - 文件名对应的索引节点 (inode) 号
- ls -li命令列出目录文件内容，即文件名和索引节点号

```
$ ls -li ./code
388776 helloworld.js  389698 imgHash.py    13886 tmp
389031 imgHash.jpg    395507 server.js
$
```



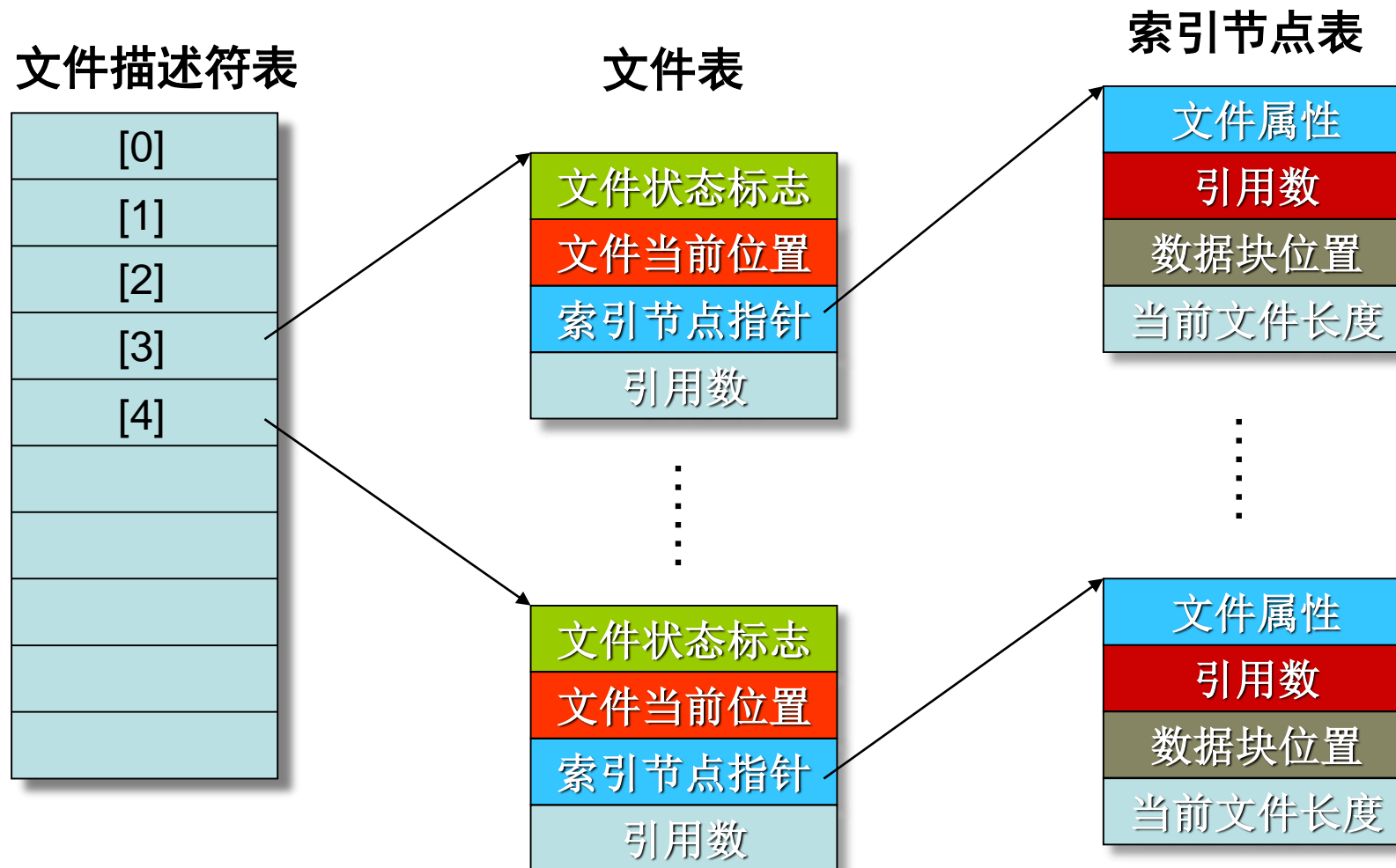
# 文件在内核中的表现形式

- 内核使用的三种表来表示进程使用的文件
  - 每个进程在PCB中有一个文件描述符表，每个描述符表项指向一个文件表
  - 内核为每一个被该进程使用（打开）的文件维护一张文件表
  - 每个文件（或设备）都有一个索引节点，它包含了文件类型属性及文件数据



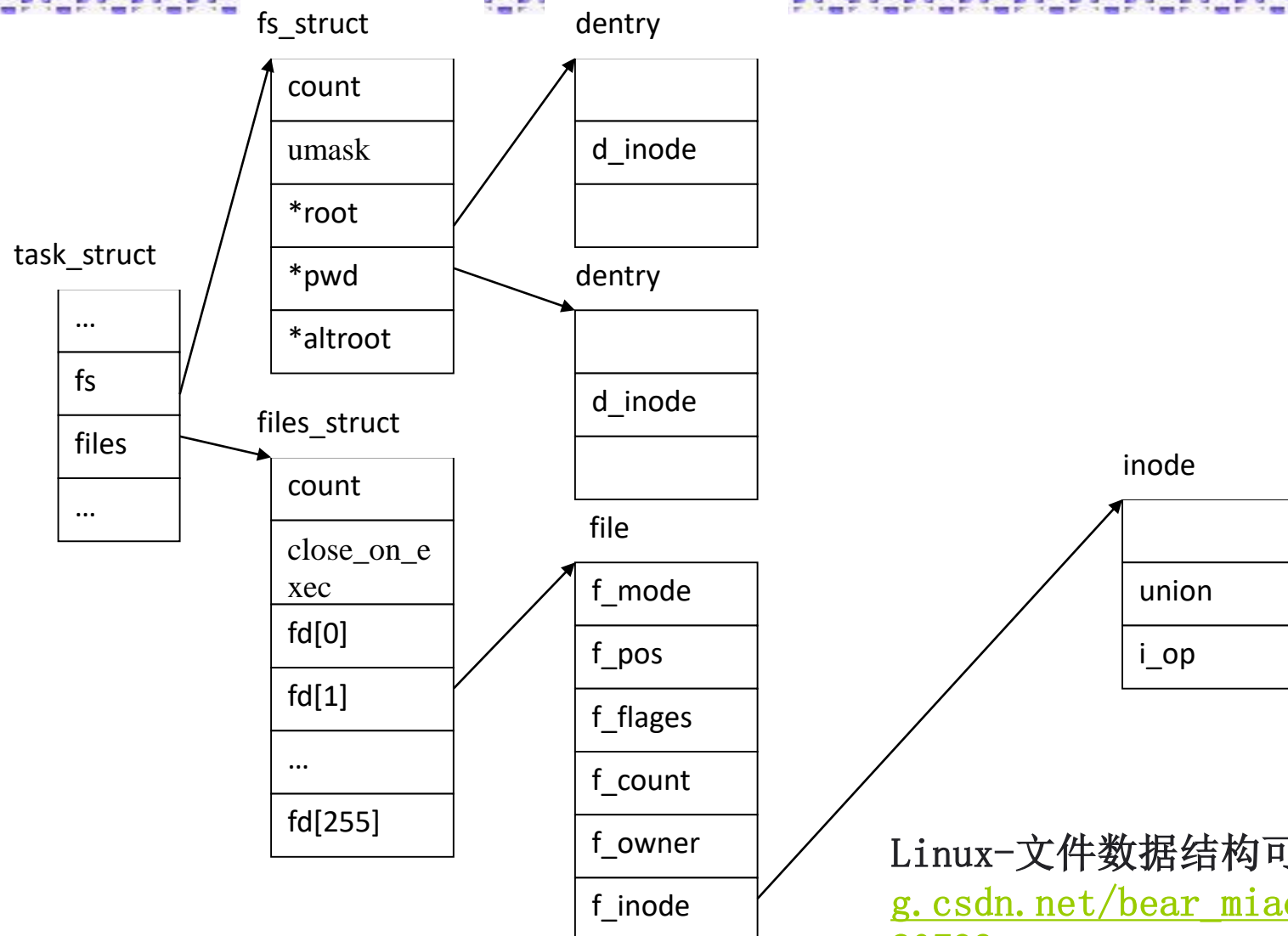


# 文件在内核中的表现形式





# Linux内核文件表示



Linux-文件数据结构可参考资料: [https://blog.csdn.net/bear\\_miao/article/details/78820739](https://blog.csdn.net/bear_miao/article/details/78820739)



## 文件描述符表: files\_struct结构

- 每个进程用一个files\_struct结构来记录其文件使用情况
- 主要结构成员:
  - `atomic_t count;` 共享该表的进程数
  - `int max_fds;` 当前文件对象的最大数
  - `int max_fdset;` 当前文件描述符的最大数
  - `int next_fd;` 已分配的文件描述符加1
  - `struct file ** fd;` 指向文件表（文件对象）指针数组
  - `fd_set *close_on_exec;` 执行exec时需要关闭的文件描述符
  - `struct file * fd_array[32];` 文件表（文件对象）指针的初始化数组



## 文件表：file结构

- 文件表（文件对象）是已打开的文件在内核中的表示，主要用于建立进程和磁盘上的文件的对应关系
- 文件表和物理文件的关系类似进程和程序的关系，一个物理文件可能存在多个对应的文件表（打开多次）
- 一个物理文件对应的索引节点是唯一的



## 文件表: file结构

### ■ 主要结构成员:

- `struct list_head f_list;` 所有打开的文件形成链表
- `struct inode *f_inode;` 指向对应inode的指针
- `struct file_operations *f_op;` 指向文件操作表的指针
- `mode_t f_mode;` 文件的状态标志/打开模式
- `loff_t f_pos;` 文件的当前位置
- `unsigned short f_flags;` 打开文件时所指定的标志
- `unsigned short f_count;` 使用该结构的进程数
- `unsigned int f_uid, f_gid;` 用户的UID和GID



## 索引节点表：inode结构

- 文件系统中的每个物理文件由一个索引节点表（索引节点对象）描述，且只能由一个索引节点对象描述。
- 索引节点指向物理文件的具体存储位置
- 系统通过索引节点来定位每一个文件（文件名可以随时更改，但是索引节点对于物理文件是唯一的，并且随物理文件的存在而存在）
- 索引节点包含了文件的长度、创建及修改时间、权限、所属关系、磁盘中的位置等信息。





# 索引节点表：inode结构

## ■ 主要结构成员

- unsigned long i\_ino;      inode号
- kdev\_t idev;      常规文件所在设备号
- **umode\_t i\_mode;**      **文件类型以及存取权限**
- nlink\_t i\_nlink;      连接到该inode的硬连接数
- **uid\_t i\_uid;**      **文件属主的用户ID**
- **gid\_t i\_gid;**      **文件属主所在组的ID**
- kdev\_t i\_rdev;      特殊文件所在设备号
- **loff\_t i\_size;**      **文件大小（以字节为单位）**



# 索引节点对象：inode结构

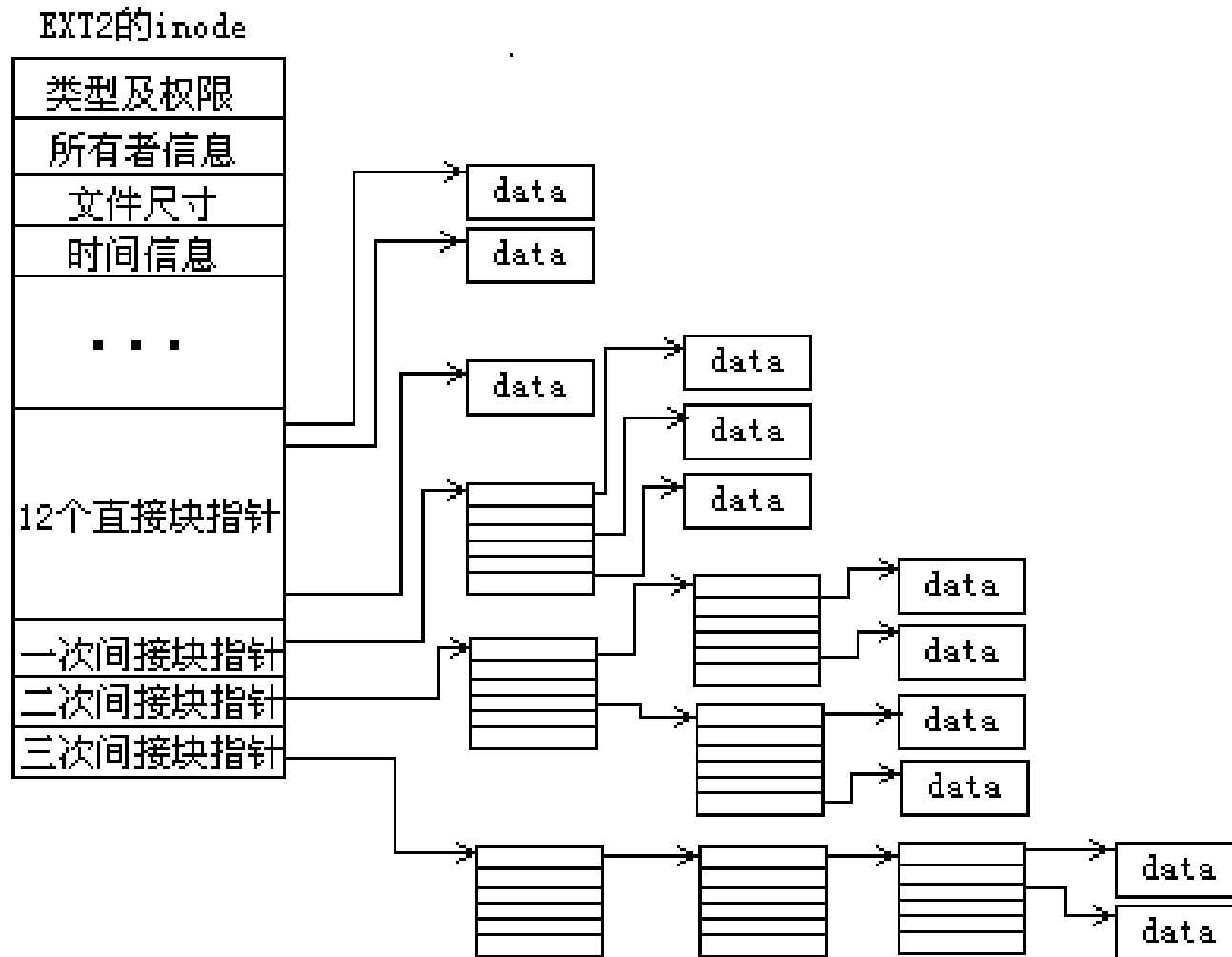
## ■ 主要结构成员

- `struct inode_operations *i_op;` 指向inode进行操作的函数指针
- `struct super_block *i_sb;` 指向该文件系统超级块的指针
- `atomic_t i_count;` 当前使用该inode的引用计数
- `union`
  - {
    - `struct minix_inode_info minix_i;`
    - `struct Ext2_inode_info Ext2_i;`
    - `struct hpfs_inode_info hpfs_i;`
    - ...
  - } u;

联合体成员指向具体文件系统的inode结构



# EXT2文件系统inode结构



EXT2的inode中物理块指针示意图



# 主要内容

- UNIX/Linux文件系统的基本结构
- 索引节点的功能
- 文件的分类与权限
- 文件I/O
- 目录操作与文件属性



# 文件类型与文件访问权限

## ■ 文件类型

标识	文件类型
-	普通文件
d	目录文件
c	字符设备文件
b	块设备文件
p	管道或FIFO
l	符号链接
s	套接字

## ■ 文件访问权限

标识	文件访问权限
r	读权限
w	写权限
x	执行权限



# 文件权限

- **读取权限：浏览文件/目录中内容的权限；**
- **写入权限：**
  - 对文件而言是修改文件内容的权限
  - 对目录而言是删除、添加和重命名目录内文件的权限；
- **执行权限：**
  - 对可执行文件而言是允许执行的权限
  - 对目录而言是进入目录的权限。





## 目录权限的特殊性

- 当打开一个任意类型的文件时，对该文件路径名中包含的每一个目录都应具有**执行权限**
- 为了在一个目录中创建一个新文件，必须对该目录具有**写权限**和**执行权限**
- 为了删除一个文件，必须对包含该文件的目录具有**写权限**和**执行权限**，对该文件本身则不需要有读、写权限



# 基于用户的文件权限管理

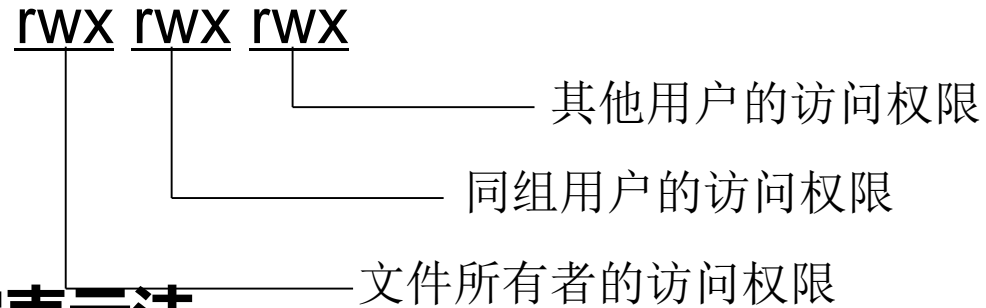
## ■ 文件用户分类

- 文件所有者：建立文件和目录的用户；
- 文件所有者所在组用户：文件所有者所属用户组中的其他用户；
- 其他用户：既不是文件所有者，又不是文件所有者所在组的其他所有用户。
- 超级用户：负责整个系统的管理和维护，拥有系统中所有文件的全部访问权限。



# 基于用户的文件权限管理

## ■ 字母表示法



## ■ 数字表示法

---	--X	-W-	-WX	r--	r-X	rw-	rwX
000	001	010	011	100	101	110	111

```
test@test-virtual-machine:/usr$ ls -l
总用量 104
drwxr-xr-x  2 root root 36864 4月 26 11:34 bin
drwxr-xr-x  2 root root  4096 2月 10 02:49 games
drwxr-xr-x 39 root root  4096 4月 11 14:54 include
drwxr-xr-x 120 root root  4096 4月 11 14:54 lib
drwxr-xr-x  2 root root  4096 2月 10 02:47 lib32
drwxr-xr-x  2 root root  4096 2月 10 02:48 lib64
drwxr-xr-x 12 root root  4096 4月  8 15:39 libexec
drwxr-xr-x  2 root root  4096 2月 10 02:47 libx32
drwxr-xr-x 10 root root  4096 2月 10 02:47 local
drwxr-xr-x  2 root root 20480 4月 11 14:53 sbin
drwxr-xr-x 252 root root 12288 4月 11 14:54 share
drwxr-xr-x  6 root root  4096 4月 27 10:38 src
```



# 修改文件权限的chmod命令

- **功能：修改文件的访问权限**
- **格式：chmod <模式> <文件>**
- **模式：**
  - **对象：u 文件所有者、g 同组用户、o 其他用户**
  - **操作符：+增加、-删除、=赋予**
  - **权限：r 读、w 写、x 执行、s设置用户ID**
- **举例：**
  - **取消同组用户对file文件的写入权限**
    - `chmod g-w file`
  - **将pict目录的访问权限设置为775**
    - `chmod 755 pict`



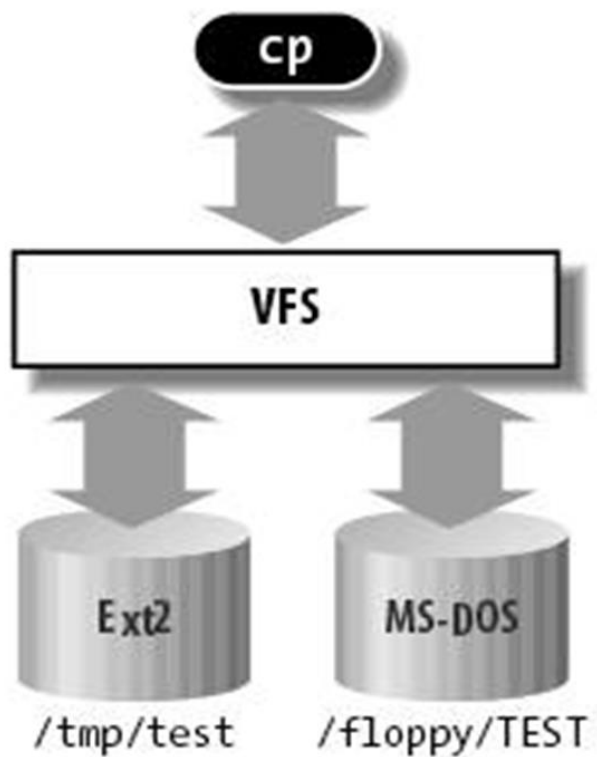
# 主要内容

- UNIX/Linux文件系统的基本结构
- 索引节点的功能
- 文件的分类与权限
- 文件I/O
- 目录操作与文件属性



# 文件I/O操作

```
# cp /floppy/TEST /tmp/test
```



(a)

```
inf = open("/floppy/TEST", O_RDONLY, 0);  
outf = open("/tmp/test",  
            O_WRONLY|O_CREAT|O_TRUNC, 0600);  
do {  
    i = read(inf, buf, 4096);  
    write(outf, buf, i);  
} while (i);  
close(outf);  
close(inf);
```

(b)





# 打开文件

头文件: `fcntl.h`

`int open( const char *pathname, int oflag, ...);`

- 该函数打开或创建一个文件。其中第二个参数`oflag`说明打开文件的选项，第三个参数是变参，仅当创建新文件时才使用。

- `O_RDONLY`: 只读打开;
- `O_WRONLY`: 只写打开;
- `O_RDWR`: 读、写打开;
- `O_APPEND`: 每次写都加到文件尾;
- `O_CREAT`: 若此文件不存在则创建它，此时需要第三个参数`mode`，该参数约定了所创建文件的权限，计算方法为`mode & ~umask`
- `O_EXCL`: 如同时指定了`O_CREAT`，此指令会检查文件是否存在，若不存在则建立此文件；若文件存在，此时将出错。
- `O_TRUNC`: 如果此文件存在，并以读写或只写打开，则删除原有内容

Open函数可打开任何类型的文件，包括设备文件和管道。

- `open`返回文件描述符（当前进程中最小未使用的描述符数值）



# open函数参数

```
//come from /usr/include/bit/fcntl.h
/* open/fcntl - O_SYNC is only implemented on blocks devices and on files located on an ext2 file system */
#define O_ACCMODE          0003          //主要访问权限位为低两位，用来测试权限用
#define O_RDONLY           00            //只读
#define O_WRONLY           01            //只写

#define O_RDWR             02            //读写方式
#define O_CREAT             0100         //如果没有，创建
#define O_EXCL              0200         //如果存在，返回错误
#define O_NOCTTY            0400         //终端控制信息
#define O_TRUNC             01000        //截短
#define O_APPEND            02000        //追加
```



# 创建文件

头文件: `fcntl.h`

```
int creat( const char *pathname, mode_t mode);
```

- 该函数用于创建一个新文件，其等效于open函数的如下调用：

```
open( pathname, O_WRONLY | O_CREAT | O_TRUNC, mode);
```

- `creat`函数的一个不足之处是它以只写方式打开所创建的文件
- 早期UNIX版本中open的第二个参数不包含O\_CREAT，无法打开一个尚未存在的文件。如果要创建一个临时文件，并要先写后读该文件。则必须先依次调用`creat`，`close`，`open`。



# 关闭打开的文件

头文件unistd.h

```
int close( int fildes );
```

- 该函数关闭打开的一个文件。内核对文件描述符表、对应的文件表项和索引节点表项进行相应的处理，来完成关闭文件的操作。
- 进程关闭文件后，就不能再通过该文件描述符操作该文件
- 当一个进程终止时，它所有的打开文件将由内核自动关闭



# 读文件

## 头文件unistd.h

```
ssize_t read( int filedes, void *buf, size_t nbytes);
```

- **read函数从打开的文件中读数据。如成功，则返回实际读到的字节数，如已到达文件的末尾或无数据可读，则返回0；有多种情况可使实际读到的字节数少于要求读的字节数：**
  - 读普通文件，在读到要求字节数之前就到达文件尾；
  - 当从终端设备读，通常一次最多读一行；
  - 当从网络读时，网络中的缓冲机构可能造成返回值小于所要求读的字节数；
  - 某些面向记录的设备，如磁带，一次最多返回一个记录。
- **读操作完成后，文件的当前位置将从读之前的位置加上实际读的字节数。**



# 写文件

## 头文件unistd.h

```
ssize_t write( int filedes, const void *buf, size_t nbytes);
```

- 该函数返回实际写的字节数，通常与参数nbytes的值相同，否则表示出错。
- 如果出错，则返回 - 1。write**出错的原因**可能是磁盘满、没有访问权限、或写超过文件长度限制等等。
- 对于普通文件，写操作从文件当前位置开始写（**除非打开文件时指定了O\_APPEND选项**）。
- 写操作完成后，文件的当前位置将从写之前的位置加上实际写的字节数。





## 设置查询文件当前位置

### 头文件unistd.h

`off_t lseek( int filedes, off_t offset, int whence);`

- 进程中每打开一个文件都有一个与其相关联的“文件当前位置”（读写位置）
- 打开文件时，如果指定了O\_APPEND选项则文件当前位置为文件尾（文件长度），其他情况下文件当前位置默认为文件头（0）
- lseek函数用于设置或查询文件当前位置





# 设置查询文件当前位置

## ■ 对参数的解释与参数whence的值有关：

- 若whence是SEEK\_SET，则将该文件当前位置设为文件头+offset（以字节为单位）
- 若whence是SEEK\_CUR，则将该文件当前位置设为文件当前位置+offset（以字节为单位）
- 若whence是SEEK\_END，则将该文件当前位置设为文件尾+offset个字节（以字节为单位）

## ■ offset可正可负

```
//come from /usr/include/unistd.h
/* Values for the WHENCE argument to lseek. */
#ifdef _STDIO_H /* <stdio.h> has the same definitions. */
# define SEEK_SET 0 /* Seek from beginning of file. */ //文件起始位置
# define SEEK_CUR 1 /* Seek from current position. */ //当前位置
# define SEEK_END 2 /* Seek from end of file. */ //文件结束位置
```



## 设置查询文件当前位置

- 若lseek成功执行，则返回新的文件当前位置。因此可用lseek查询文件文件当前位置：  
`currpos = lseek( fd, 0, SEEK_CUR)`
- lseek仅将文件当前位置记录在内核file结构中，它并不引起任何I/O操作，然后用于影响下一次读、写操作。
- 文件当前位置可以大于文件的当前长度，但并不改变索引节点中文件长度信息（下一次写将延长该文件，并在文件中构成一个空洞，但文件大小并不是文件当前位置指示的值。对空洞位置的读操作将返回0）



# 主要内容

- UNIX/Linux文件系统的基本结构
- 索引节点的功能
- 文件的分类与权限
- 文件I/O
- 目录操作与文件属性



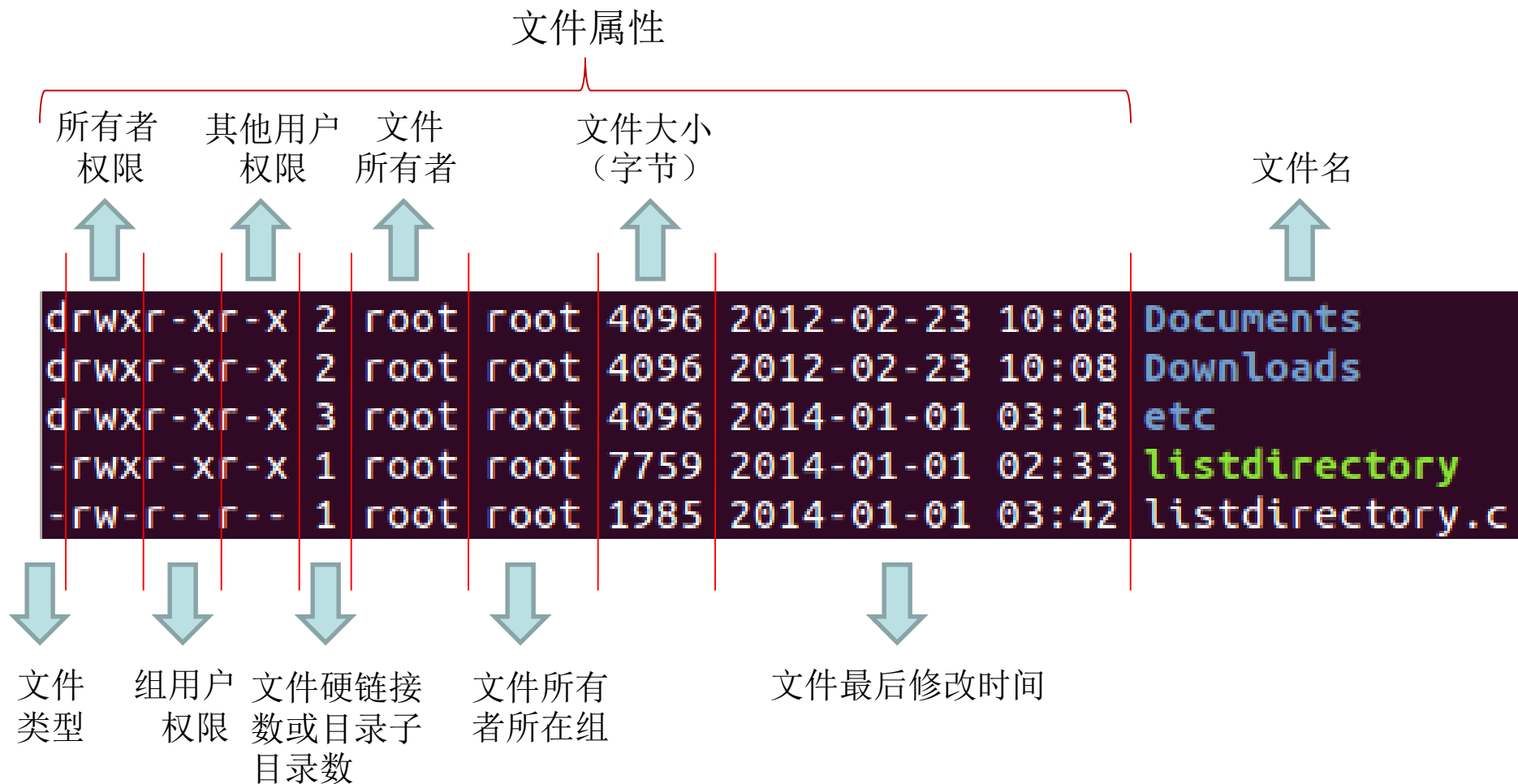
# ls -l功能分析

```
root@xrxy-virtual-machine: ~  
root@xrxy-virtual-machine:~# cd /root/  
root@xrxy-virtual-machine:~# ls -l  
total 64  
-rwxr-xr-x 1 root root 7255 2013-12-31 22:43 a.out  
drwxr-xr-x 2 root root 4096 2012-02-23 10:08 Desktop  
drwxr-xr-x 2 root root 4096 2012-02-23 10:08 Documents  
drwxr-xr-x 2 root root 4096 2012-02-23 10:08 Downloads  
drwxr-xr-x 3 root root 4096 2014-01-01 03:18 etc  
-rwxr-xr-x 1 root root 7759 2014-01-01 02:33 listdirectory  
-rw-r--r-- 1 root root 1985 2014-01-01 03:42 listdirectory.c  
-rw-r--r-- 1 root root 1985 2014-01-01 02:41 listdirectory.c~  
drwxr-xr-x 2 root root 4096 2012-02-23 10:08 Music  
drwxr-xr-x 2 root root 4096 2012-02-23 10:08 Pictures  
drwxr-xr-x 2 root root 4096 2012-02-23 10:08 Public  
drwxr-xr-x 2 root root 4096 2012-02-23 10:08 Templates  
drwxr-xr-x 6 root root 4096 2014-01-01 03:18 usr  
drwxr-xr-x 2 root root 4096 2012-02-23 10:08 Videos  
root@xrxy-virtual-machine:~#
```

列出当前目录的所有文件（包括普通文件、目录文件、字符特殊文件、套接字等），并显示文件类型、访问权限、文件大小等重要属性

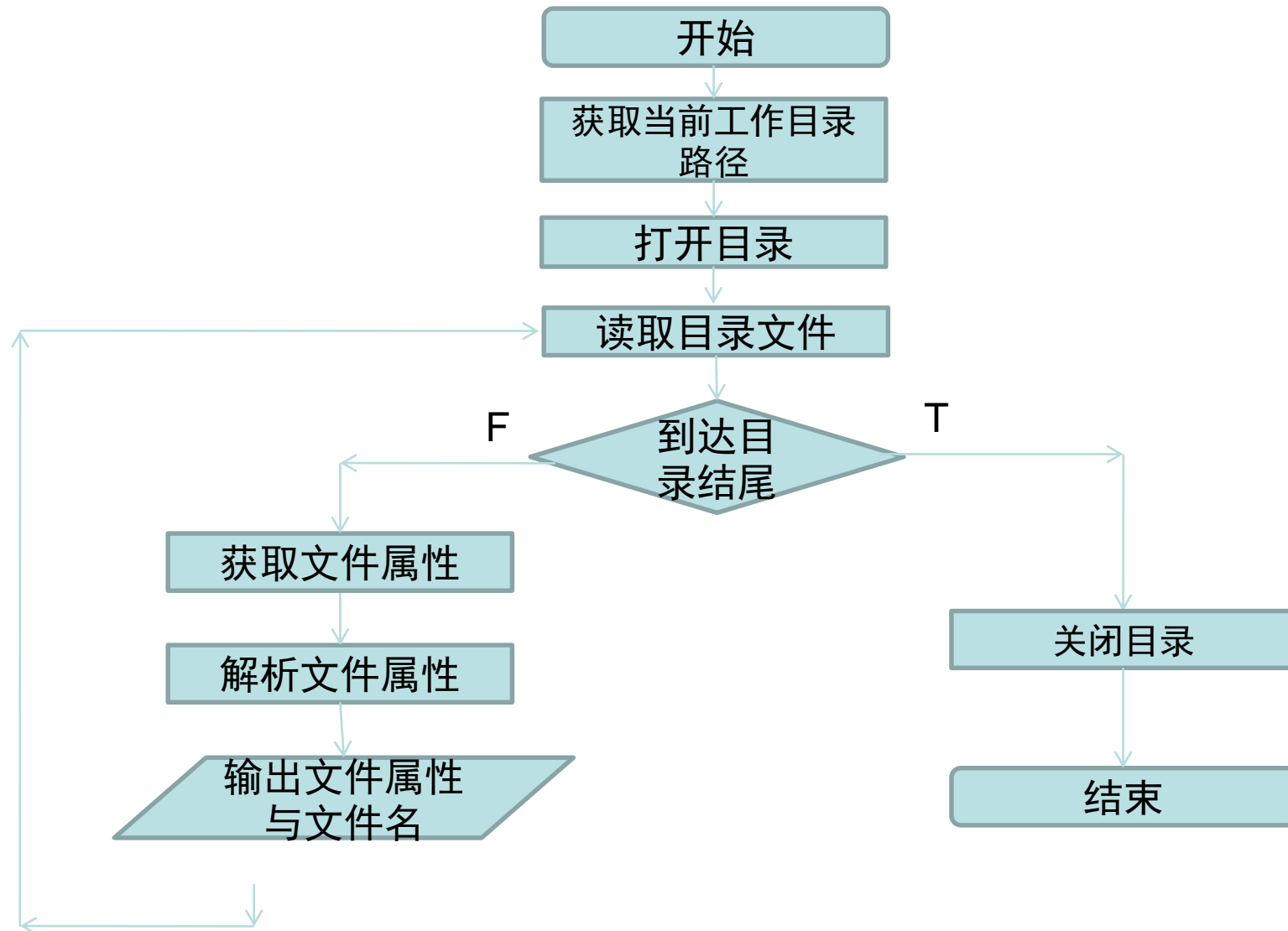


# ls -l功能分析





# Is -I 程序设计







## 目录操作-获取当前工作路径

■ 常用函数: `getcwd`, `get_current_dir_name`

■ 头文件: `unistd.h`

■ 函数定义:

● `char *getcwd(char *buf, size_t size)`

- 将当前的工作目录绝对路径字符串复制到参数buf 所指的缓冲区, 参数size 为缓冲区大小
- 若参数buf 为NULL, 参数size 为0, 则函数根据路径字符串的长度自动分配缓冲区, 并将分配的路径字符串缓冲区指针作为函数返回值 (该内存区需要手动释放)
- 失败返回NULL

● `char *get_current_dir_name(void)`

- 成功返回路径字符串缓冲区指针 (该内存区需要手动释放), 失败返回NULL





## 目录操作-打开关闭目录

- 常用函数: `opendir`, `closedir`
- 头文件: `dirent.h`
- 函数定义:
  - `DIR * opendir(const char * name);`
    - 打开参数`name`指定的目录, 并使一个目录流与它关联
    - 目录流类似于C库函数中的文件流
    - 失败返回`NULL`
  - `int closedir(DIR *dir);`
    - 关闭指定目录流, 释放相关数据结构
    - 成功返回0; 失败返回-1



## 目录操作-读取目录文件

- 常用函数: `readdir`
- 头文件: `sys/types.h`; `dirent.h`
- 函数定义:
  - `struct dirent * readdir(DIR * dir);`
    - 读取目录流标识的目录文件
    - 目录文件是一系列目录项的列表, 每执行一次`readdir`, 该函数返回指向当前读取目录项结构的指针
    - 如果到达目录结尾或者有错误发生则返回`NULL`
- 范例代码 (目录的遍历)

```
1  if((currentdir = opendir(buf)) == NULL)
2  {
3      printf("open directory fail\n");
4      return 0;
5  }
6  else
7  {
8      printf("file in directory include:\n")
9      while((currentdp = readdir(currentdir)) != NULL)
10         printf("%s ", currentdp->d_name);
11  }
```



# 目录操作-读取目录文件

## ■ 重要数据结构

struct dirent

```
{  
    ino_t d_ino; i节点号  
    off_t d_off; 在目录文件中的偏移  
    unsigned short d_reclen; 文件名长度  
    unsigned char d_type; 文件类型  
    char d_name[256]; 文件名  
};
```



```
root@xrxy-virtual-machine:~# ls -al  
total 160  
drwx----- 23 root root 4096 2014-01-02 06:19 .  
drwxr-xr-x 23 root root 4096 2012-02-23 09:56 ..  
-rwxr-xr-x 1 root root 7255 2013-12-31 22:43 a.out  
-rw----- 1 root root 1963 2014-01-01 07:31 .bash_history  
-rw-r--r-- 1 root root 3106 2011-07-08 13:13 .bashrc  
drwx----- 9 root root 4096 2013-12-31 22:39 .cache  
drwx----- 9 root root 4096 2014-01-01 02:41 .config  
drwx----- 3 root root 4096 2012-02-23 10:08 .dbus  
drwxr-xr-x 2 root root 4096 2012-02-23 10:08 Desktop
```



# 文件属性管理-读取文件属性

- 常用函数: `stat`, `lstat`, `fstat`
- 头文件: `sys/stat.h`
- 函数定义:
  - `int stat(const char *path, struct stat *buf);`
  - `int lstat(const char *path, struct stat *buf);`
    - 两个函数参数相同, 功能类似
    - 读取`path`参数所指定文件的文件属性并将其填充到`buf`参数所指向的结构体中
    - 对于符号链接文件, `lstat`返回符号链接的文件属性, `stat`返回符号链接引用文件的文件属性
  - `int fstat(int filedes, struct stat *buf);`
    - 与前两个函数功能类似, 指定文件的方式改为通过文件描述符

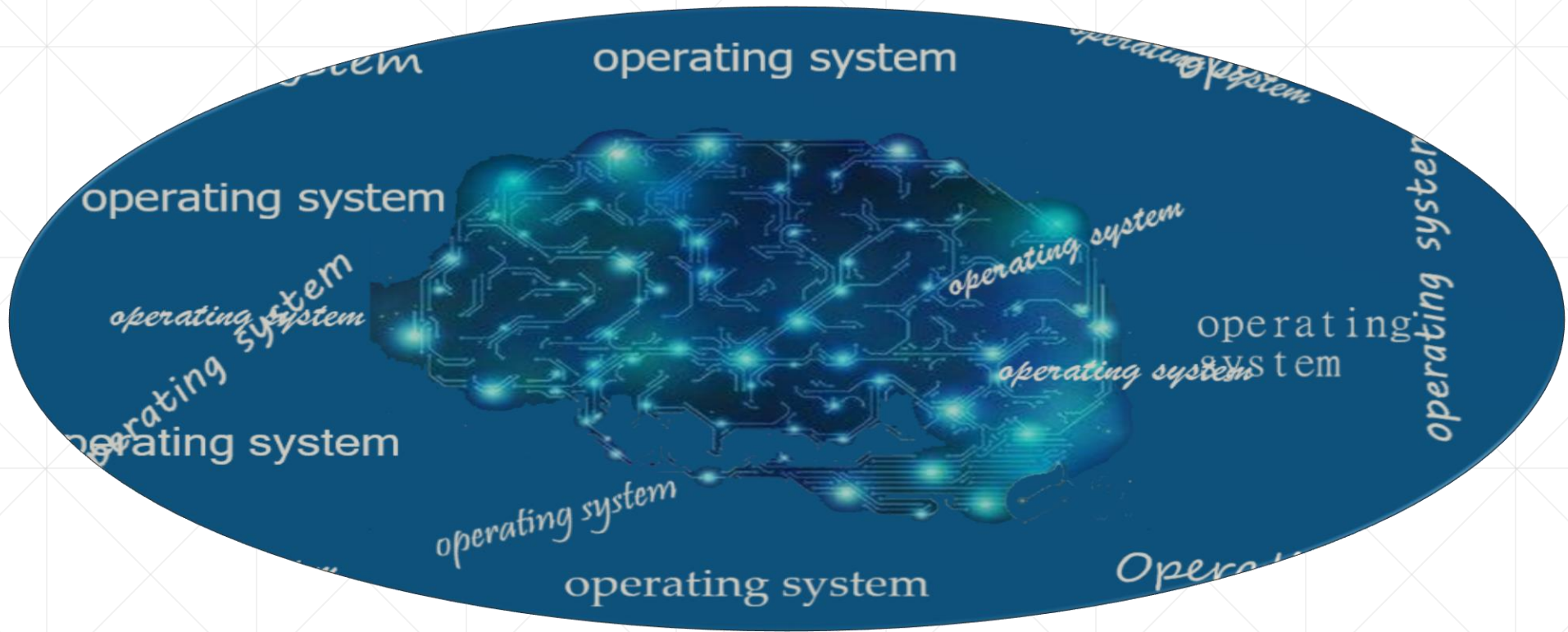


# 文件属性管理-文件属性解析

## ■ 重要数据结构

```
struct stat {  
    mode_t    st_mode;  文件类型与访问权限  
    ino_t     st_ino;   i节点号  
    dev_t     st_dev;   文件使用的设备号  
    dev_t     st_rdev;  设备文件的设备号  
    nlink_t   st_nlink; 文件的硬链接数  
    uid_t     st_uid;   文件所有者用户ID  
    gid_t     st_gid;   文件所有者组ID  
    off_t     st_size;  文件大小（以字节为单位）  
    time_t    st_atime;  最后一次访问该文件的时间  
    time_t    st_mtime;  最后一次修改该文件的时间  
    time_t    st_ctime;  最后一次改变该文件状态的时间  
    blksize_t st_blksize; 包含该文件的磁盘块的大小  
    blkcnt_t  st_blocks; 该文件所占的磁盘块 数  
};
```





**感谢观看!**

---

授课教师:

电子邮箱: