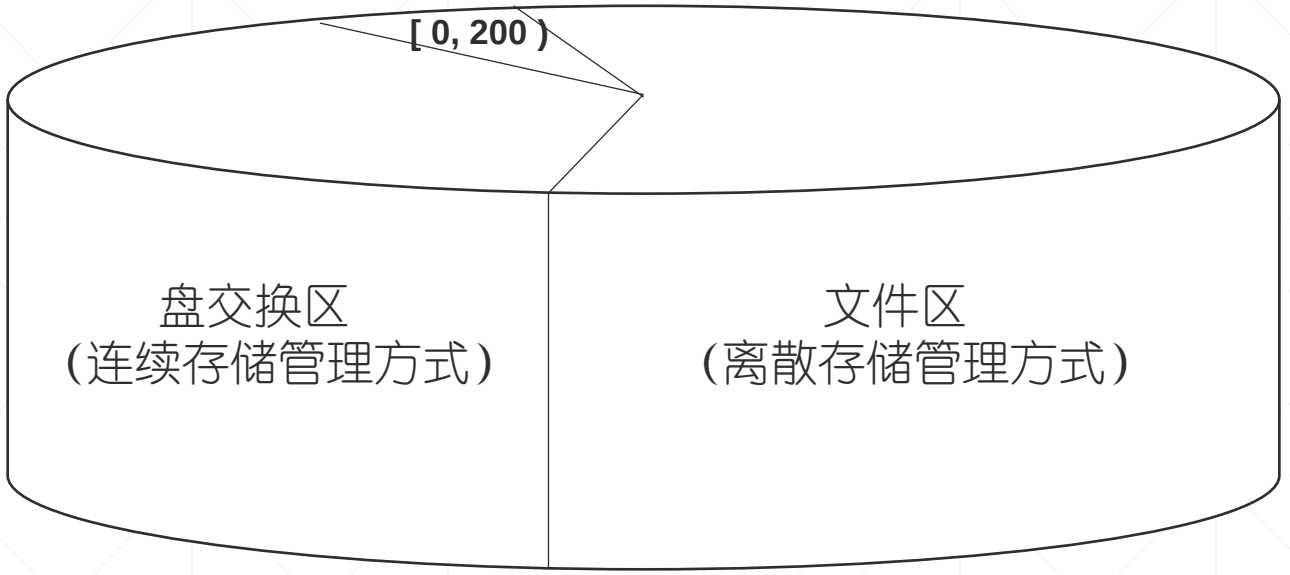
操作系统　第六章　文件管理

6.1 Unix V6++的文件系统静态结构

同济大学计算机系

一、磁盘 c.img



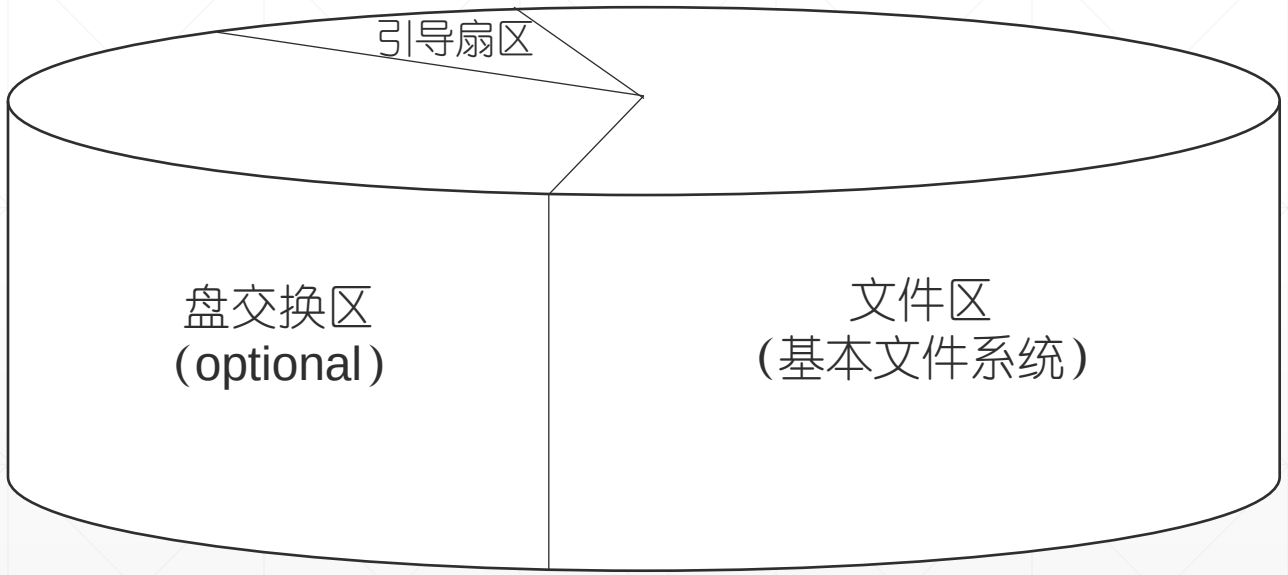
盘交换区放进程图像，连续存放。位置 [18000，20000)。

文件区存放文件。位置 [200，18000)。文件分块，逻辑块的大小与磁盘物理块相等。文件离散存放，相邻逻辑块物理上可以不相邻，但连续存放一定可以提升文件访问性能。

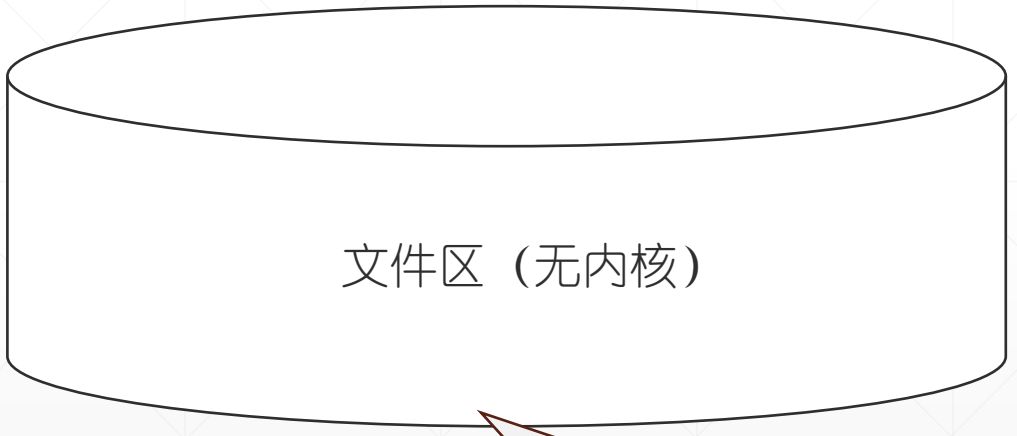
0#扇区，引导扇区，boot程序，负责装载 kernel.exe
[1，200)，内核 kernel.exe

一般而言，磁盘

主硬盘



普通的文件卷



以下，我们考虑Unix V6++格式的普通文件卷

Unix V6++格式的普通文件卷

0，1


```
class SuperBlock
{
    int     s_isize;        /* Inode区尺寸，数据块数量 */
    int     s_fsize;        /* 磁盘数据块总数 */

    int     s_nfree;        /* 直接管理的空闲盘块数量 */
    int     s_free[100];    /* 直接管理的空闲盘块索引表 */
    int     s_flock;        /* 空闲盘块索引表的锁 */

    int     s_ninode;       /* 直接管理的空闲外存Inode数量 */
    int     s_inode[100];   /* 直接管理的空闲外存Inode索引表 */
    int     s_ilock;        /* 空闲Inode表的锁 */

    int     s_fmod;         /* 内存super block副本的修改标志，卸载时需要写回磁盘 */
    int     s_ronly;        /* 本文件系统只能读出 */
    int     s_time;         /* 最近一次更新时间 */
    int     padding[47];    /* 填充使SuperBlock块大小等于1024字节，占据2个扇区 */
};
```

磁盘空闲资源管理：

空闲盘块号栈
空闲Inode号栈

Unix V6++格式的普通文件卷

超级块 SuperBlock


```
class SuperBlock      //  1024字节，   0#、1#扇区
{
   int      s_isize;          /* Inode区尺寸，数据块数量 */
   int      s_fsize;          /* 磁盘数据块总数 */

   int      s_nfree;          /* 直接管理的空闲盘块数量 */
   int      s_free[100];      /* 直接管理的空闲盘块索引表 */
   int      s_flock;          /* 空闲盘块索引表的锁 */

   int      s_ninode;/* 直接管理的空闲外存Inode数量 */
   int      s_inode[100];     /* 直接管理的空闲外存Inode索引表 */
   int      s_ilock;          /* 空闲Inode表的锁 */

   int      s_fmod;           /* 内存super block副本的修改标志，卸载时需要写回磁盘 */
   int      s_ronly;          /* 本文件系统只能读出 */
   int      s_time;           /* 最近一次更新时间 */
   int      padding[47];      /* 填充使SuperBlock块大小等于1024字节，占据2个扇区 */
};
```

磁盘空闲资源管理：

空闲盘块号栈
空闲Inode号栈

Inode 区

0	8						8n
1	9						8n+1
……	……			……			……
7	15						8n+7

n = s_isize – 1

分配单位，64字节

```
class DiskInode  // 64字节
{
   public:
   unsigned int      d_mode;     /* 文件类型 和 访问控制位 */
            int      d_nlink;    /* 硬联结计数，即该文件在目录树中不同路径名的数量 */
          short      d_uid;      /* 文件所有者的uid*/
          short      d_gid;      /* 文件所有者的gid */

            int      d_size;     /* 文件长度，字节为单位 */
            int      d_addr[10]; /* 地址映射表，登记逻辑块和物理块之间的映射关系 */

           int       d_atime;    /* 最后访问时间 */
           int       d_mtime;    /* 最后修改时间 */
};
```

文件区

存放普通文件数据块，目录文件数据块，文件的索引块

- 普通文件数据块，文件数据
- 目录文件数据块，16个元素的目录项数组，每个元素对应一个等长目录项，32字节
- 文件索引块，128个元素的整数数组，每个元素对应一个逻辑块，其内容是一个分配给这个逻辑块的磁盘物理块号。0表示逻辑块是空的，尚无数据。

分配单位，数据块（512字节）

普通磁盘文件

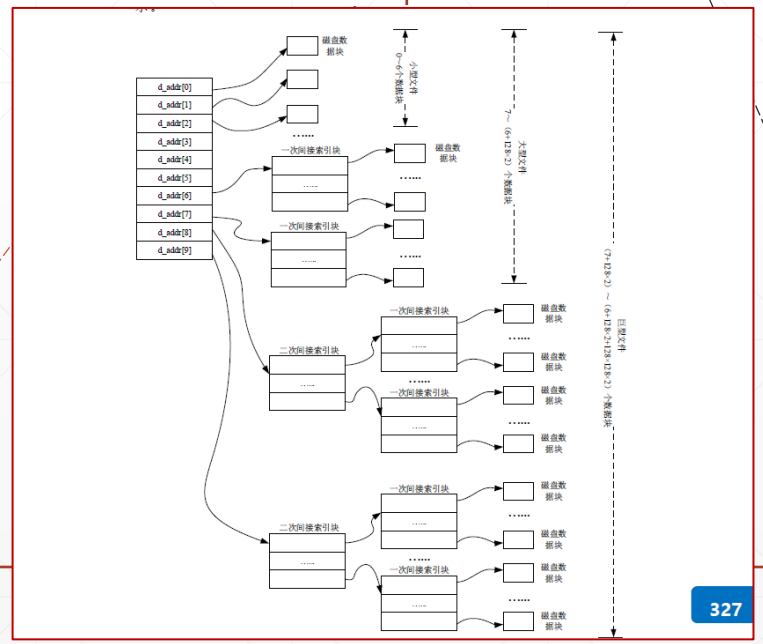
一个目录项 + 一个 Inode + 若干磁盘数据块

例1：磁盘上的8#文件 foo

- 目录项在父目录文件里。
- 文件的 ID 是分配给这个文件的 DiskInode 的 ID。所以，foo 文件的 DiskInode 存放在 8号 inode的位置：3#扇区，0~63字节。
- 分配给这个文件的磁盘数据块 组成一棵混合索引树，叶子节点装文件数据，中间节点装索引块。根是DiskInode中的地址映射表 d_addr。

父目录的一个扇区

```
class DiskInode
{
public:
    unsigned int  d_mode;
    int           d_nlink;
    short         d_uid;
    short         d_gid;
    int           d_size;
    int           d_addr[10];
    int           d_atime;
    int           d_mtime;
};
```



foo文件的目录项

“foo\0”	8

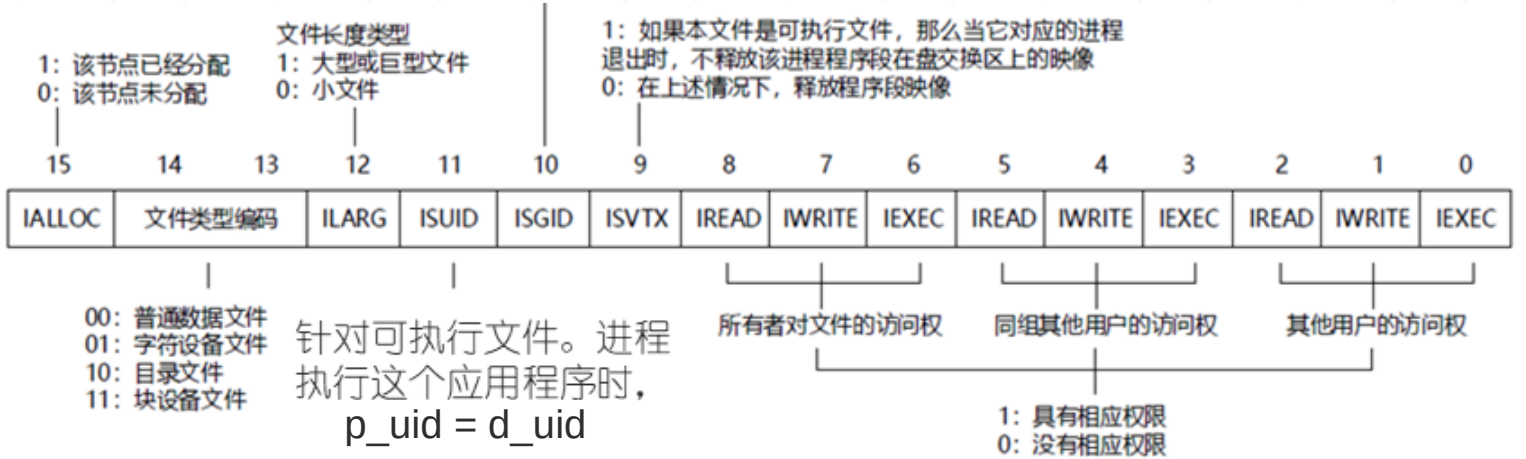
普通磁盘文件的DiskInode

```
class DiskInode
{
public:
    unsigned int  d_mode;
    int           d_nlink;
    short         d_uid;
    short         d_gid;
    int           d_size;
    int           d_addr[10];
    int           d_atime;
    int           d_mtime;
};
```

d_uid = 执行 create 系统调用创建该文件的进程的 p_uid

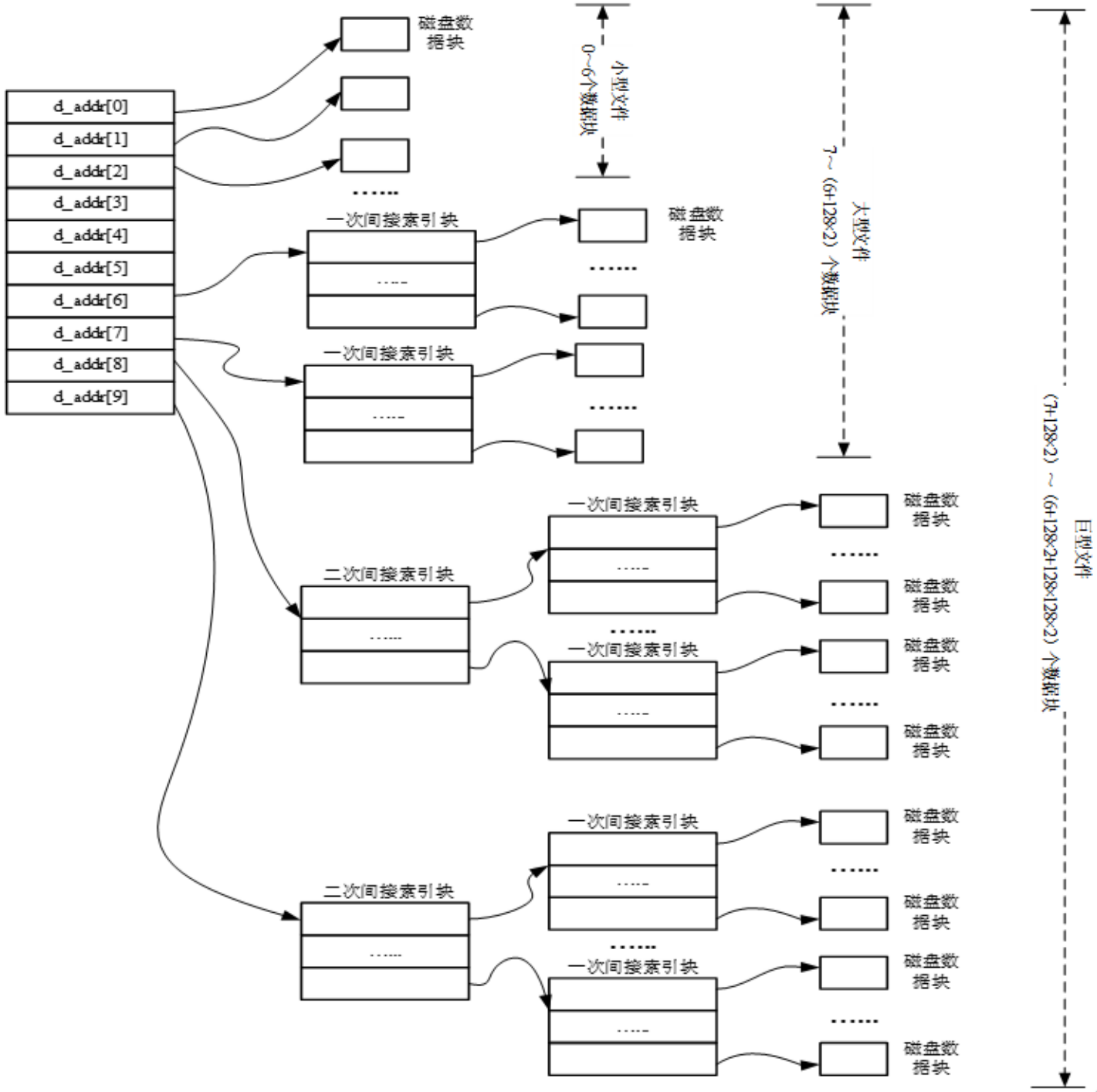
$creat(name, mode);$

RWXRWXRWX

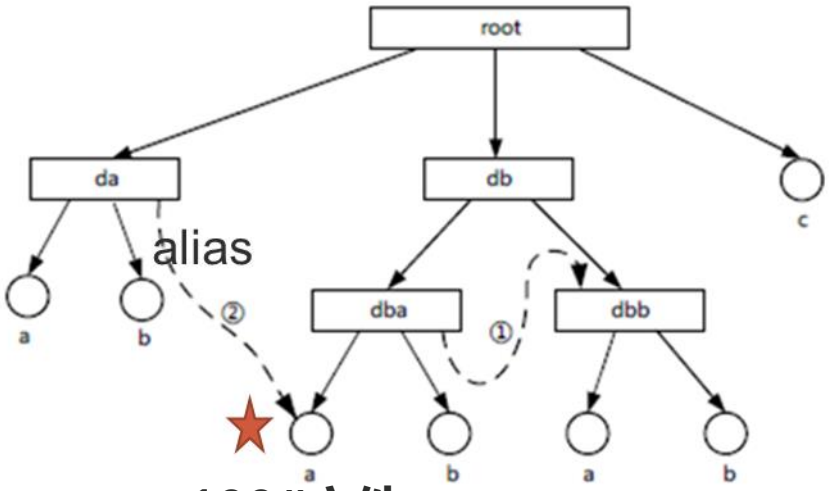


文件的混合索引树

```
class DiskInode
{
public:
    unsigned int  d_mode;
    int           d_nlink;
    short         d_uid;
    short         d_gid;
    int           d_size;
    int           d_addr[10];
    int           d_atime;
    int           d_mtime;
};
```



文件的硬链接数 d_nlink



100#文件

da目录文件中的目录项

“alias\0”	100

dba目录文件中的目录项

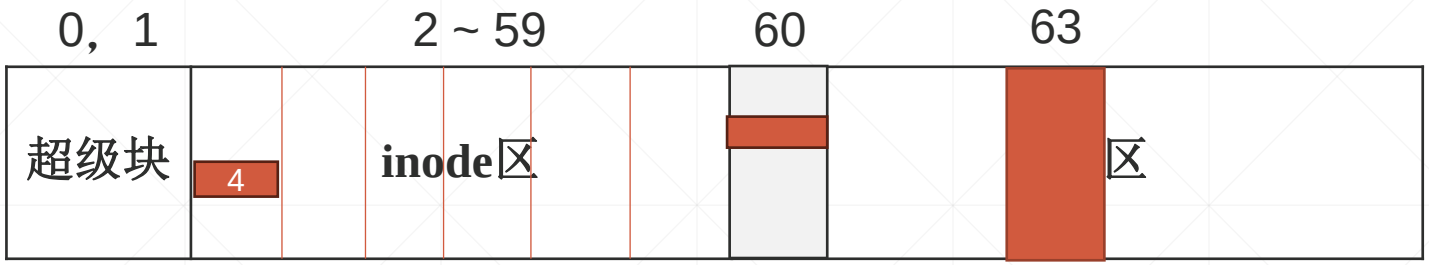
“a\0”	100

100#inode

d_link
(2)

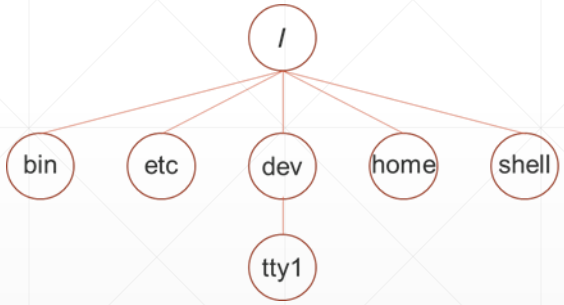
2个绝对路径名（1）/da/alias (2) /db/dba/a

目录文件 /dev




```
class DirectoryEntry
{
    int m_ino;                  /* Inode号 */
    char m_name[DIRSIZ];        /* 路径名 */
};
```

```
class DiskInode
{
public:
    unsigned int d_mode;    10
    int          d_nlink;
    short        d_uid;     0
    short        d_gid;
    int          d_size;
    int          d_addr[10];   d_addr[0] = 63
    int          d_atime;
    int          d_mtime;
};
```



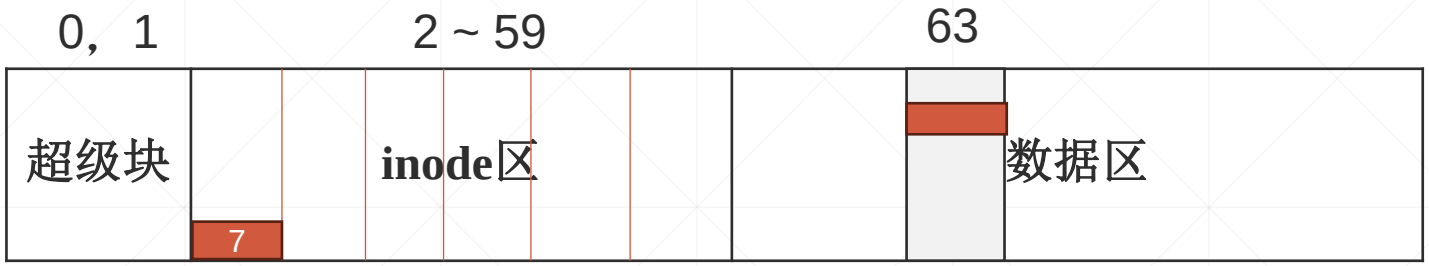
60#扇区

1	.\0
1	..\0
2	bin\0
3	etc\0
4	dev\0
5	home\0
6	shell\0
0	0
…… 0	…… 0

63#扇区

4	.\0
1	..\0
7	tty1\0
0	0
…… 0	…… 0

特殊文件：字符设备文件 /dev/tty1




```
class DeviceManager
{
    BlockDevice *bdevsw[MAX_DEVICE_NUM];
    CharDevice  *cdevsw[MAX_DEVICE_NUM];
};
```

```
class DiskInode
{
public:
    unsigned int d_mode;   01
    int          d_nlink;
    short        d_uid;    0
    short        d_gid;
    int          d_size;
    int          d_addr[10];
    int          d_atime;  d_addr[0] = major，minor
    int          d_mtime;
};
```

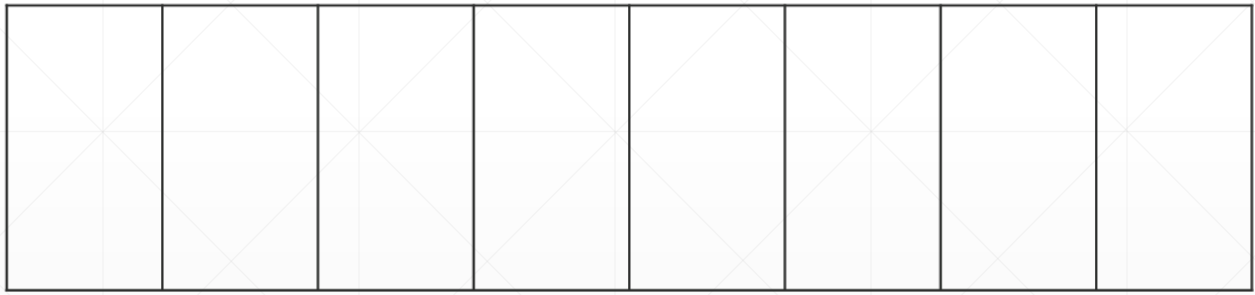
63#扇区(/dev目录文件)

4	.\0
1	..\0
7	tty1\0
0	0
…… 0	…… 0

```
class CharDevice
{
public:
    CharDevice();
    virtual ~CharDevice();
    /*
     * 定义为虚函数，由派生类进行override实现设备
     * 特定操作。正常情况下，基类中函数不应被调用到。
     */
    virtual void Open(short dev, int mode);
    virtual void Close(short dev, int mode);
    virtual void Read(short dev);
    virtual void Write(short dev);
    virtual void SgTTy(short dev, TTy* pTTy);

public:
    TTy* m_TTy;      /* 指向字符设备TTy结构的指针 */
};
```

磁盘空闲资源

0	8						8n
1	9						8n+1
……	……			……			……
7	15						8n+7



空闲 Inode 可以分配给新文件 或 新目录
分配：create，mkdir ……
释放：delete，rmdir ……

空闲盘块可以分配给 文件 或 目录
分配：write（文件），create、mkdir（目录）
释放：unlink（文件），unlink、rmdir（目录）

磁盘空闲资源管理


```
class SuperBlock
{    ……
   int      s_nfree;          /* s_free中空闲盘块数量。s_free[-- s_nfree]是出栈操作 */
   int      s_free[100];      /* 空闲盘块号栈的首部 */
   int      s_flock;          /* 空闲盘块号栈的锁 */

   int      s_ninode;         /* 空闲 DiskInode 数量， s_inode[-- s_ninode]是出栈操作 */
   int      s_inode[100];     /* 空闲Inode栈 ， 可以存放100个空闲 DiskInode号*/
   int      s_ilock;          /* 空闲Inode栈的锁 */
     ……
};
```

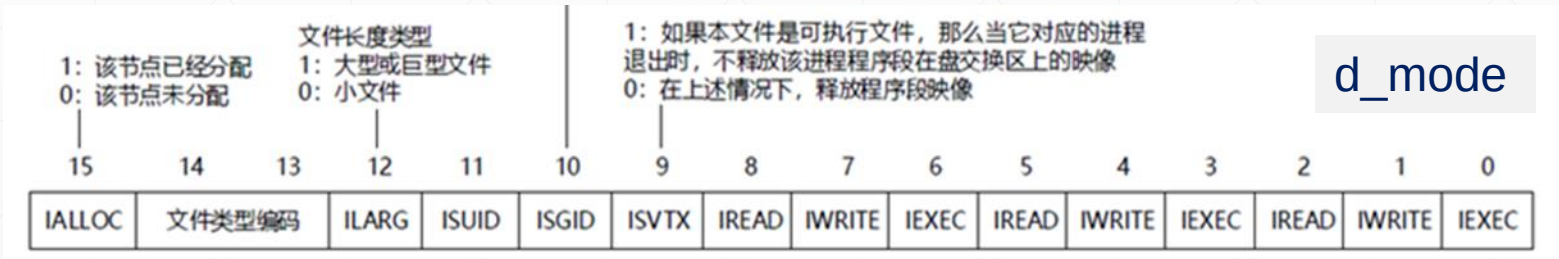
磁盘空闲资源管理

超级块	Inode区	文件区

```
class SuperBlock
{     ......
    int       s_nfree;
    int       s_free[100];
    int       s_flock;

    int       s_ninode;
    int       s_inode[100];
    int       s_ilock;
      ......
};
```

空闲盘块号栈很长，记录磁盘上所有的空闲盘块。
空闲Inode栈很小，只能存100个空闲 inode。

两者之间的差异，在于是否有办法从内容物判断一个单元是否空闲。



DiskInode空闲的判断条件：IALLOC是0 & 内存Inode池中没有这个Inode。

空闲 inode 管理

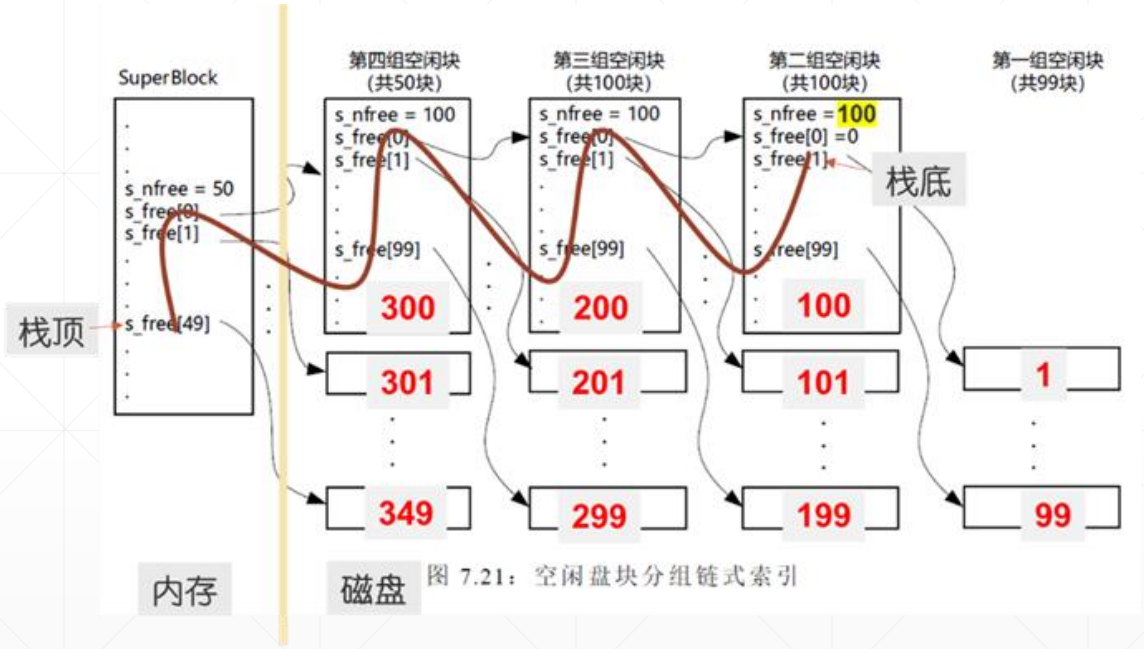
FileSystem::IAlloc(dev)

```
分配i节点：ialloc( dev)，取空闲i节点栈的栈顶节点
again: if (s_ninode)
           return(s_inode[--s_ninode]);
       else {
          get next 100 free inodes from disk;
          goto again; }
```

FileSystem::IFree(dev, num)

```
回收num#的i节点: ifree(dev,num)
if (s_ninode！=100)
       s_inode[s_ninode++]=num;
```

空闲盘块管理



利用Super Block和空闲盘块本身存放空闲盘块号栈
不消耗额外磁盘空间

FileSystem::Alloc(dev)

```
1、n = s_ free[--s_nfree];      // pop
2、if ( s_nfree==0 )
       将n#扇区开头的404字节复制到 SuperBlock,
       覆盖  s_nfree和s_free ;
3、return(n) ;
```

FileSystem::Free(dev, num)

```
if (s_nfree==100) //新组长空闲块num，装入SuperBlock中的链接信息
{
   将 SuperBlock 中, s_nfree 和 s_free、s_nfree复制 到num#扇区 ;
   s_nfree=0 ;
}
 s_ free[s_nfree++] = num;    // pop
```

空闲资源管理 位示图（bit map）

Unix 卷

- IB: inode bitmap（1个bit，1个inode。 M 个bit ）
- DB: data bitmap（1个bit，1个物理块。N个bit）

M是inode的总数
N是磁盘数据块的总数

操作系统　第六章　文件管理

6.2 Unix V6++文件系统的使用

同济大学计算机系

Part 1　普通文件的使用　1

文件描述符

fd = open(文件名，mode)；// 用前打开。mode是文件打开方式
（1）读 FREAD （2）写 FWRITE（3）读写 FREAD | FWRITE

文件访问

- count = read(fd，&array，nbytes);
- count = write(fd，&array，nbytes);
- seek(fd，offset，ptrname);

close(fd);　// 用完关闭

2、文件的读写指针

一次文件访问会话

fd = open(文件名，mode);

文件访问

- count = read(fd，&array，nbytes);
- count = write(fd，&array，nbytes);
- seek(fd，offset，ptrname);

close(fd);　// 用完关闭

进程用 fd 标识文件访问会话

每个文件访问会话有一根读写指针 f_offset

- open 返回时，f_offset == 0 。
- read / write 系统调用从读写指针当前位置开始，向后连续读/写nbytes个字符。读写操作完成之后 f_offset += count 。

seek（lseek），调整读写指针的值

- ptrname==0，f_offset = offset
- ptrname==1，f_offset += offset
- ptrname==2，f_offset = d_size + offset

3、顺序读写 和 随机读写

（1）顺序读写。程序不使用seek系统调用改变读写指针。read/write 在上次结束的位置往后读/写。

fd = open(file，mode);

文件访问

- count = read(fd，&array，nbytes);

……

- count = read(fd，&array，nbytes);

……

close(fd);　// 用完关闭

（2）随机读写。程序使用seek系统调用设置下次read/write 系统调用的起始偏移量

fd = open(file，mode);

文件访问（交织）

- count = read(fd，&array，nbytes);
- count = write(fd，&array，nbytes);
- seek(fd，offset，ptrname);

close(fd);　// 用完关闭

例：顺序读

```
fd = open( file，mode);
count = read( fd，&array，1000);    // [0,1000)
        处理array中读到的文件数据
count = read( fd，&array，500);    // [1000,1500)
        处理array中读到的新数据
close( fd );    // 用完关闭
```

例：随机读

```
fd = open( file，mode);
count = read( fd，&array，1000);    // [0,1000)
        处理array中读到的文件数据
seek( fd，5000，0);
count = read( fd，&array，500);    // [5000,5500)
        处理array中读到的新数据
close( fd );    // 用完关闭
```

4、读写指针 是 会话 的属性

假设foobar.txt文件的内容是字符串“1234567890”。
请问，这个程序的输出是什么?

```
int main()
{
    int fd1, fd2;
    char c;

    fd1 = Open("foobar.txt", O_RDONLY, 0);
    fd2 = Open("foobar.txt", O_RDONLY, 0);
    Read(fd1, &c, 1);
    Read(fd2, &c, 1);
    printf("c = %c\n", c);
    exit(0);
}
```

open，打开文件、开启会话
create，创建新文件、开启会话
close，关闭会话

父进程创建子进程（fork），子进程继承父进程已开启的会话，共享 f_offset（一份）

成熟的exec系统调用。有些会话系统调用完成后会保持，有些需关闭。fd位图对此进行描述。

5、打开文件结构

```
class User
{     ……
    OpenFiles u_ofiles;  // 进程的打开文件表
      ……
}
```

```
class OpenFiles
{   ……
   File *ProcessOpenFileTable[NOFILES];
}
// 15，进程可以同时访问的文件上限。文件可以相同
```

```
class File
{
    unsigned int   f_flag;     // 文件读写方式
    int            f_count;    // 引用计数，是File结构的入边
    Inode*         f_inode;    // 指向分配给这个文件的内存Inode
    int            f_offset;   // 文件读写指针
};
```

（1）读 FREAD （2）写 FWRITE
（3）读写 FREAD | FWRITE

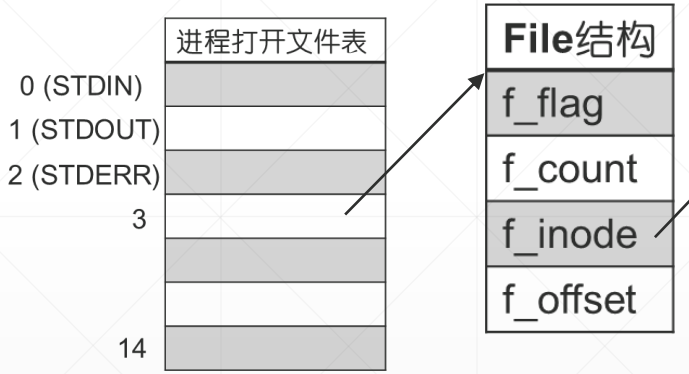
```
class Inode
{
    short i_dev;
    int i_number;

    unsigned int i_flag;     /* 状态的标志位，定义见enum INodeFlag */
    int i_count;             /* 引用计数 */

    int i_lastr;             /* 最近读过的逻辑块号，用于判断是否需要预读 */
    static int rablock;      /* 预读块的物理块号 */

    unsigned int i_mode;     /* 文件工作方式信息 */
    int i_nlink;             /* 文件联结计数，即该文件在目录树中不同路径名的数量 */
    short i_uid;             /* 文件所有者的用户标识数 */
    short i_gid;             /* 文件所有者的组标识数 */
    int i_size;              /* 文件大小，字节为单位 */
    int i_addr[10];          /* 用于文件逻辑块好和物理块好转换的基本索引表 */
};
```

DiskInode所在的磁盘和ID

Inode的使用状态

DiskInode的内存复本

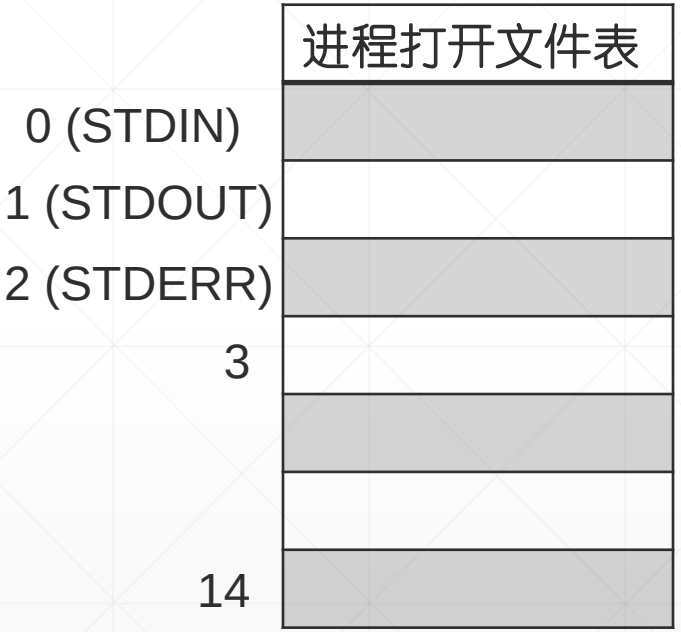
进程的打开文件结构




```
class Inode
{
    short i_dev;            /* 外存inode所在存储设备的设备号 */
    int i_number;           /* 外存inode区中的编号 */

    unsigned int i_flag;    /* 状态的标志位，定义见enum INodeFlag */
    int i_count;            /* 引用计数 */

    int i_lastr;            /* 最近读过的逻辑块号，用于判断是否需要预读 */
    static int rablock;     /* 预读块的物理块号 */

    unsigned int i_mode;    /* 文件工作方式信息 */
    int i_nlink;            /* 文件联结计数，即该文件在目录树中不同路径名的数量 */
    short i_uid;            /* 文件所有者的用户标识数 */
    short i_gid;            /* 文件所有者的组标识数 */
    int i_size;             /* 文件大小，字节为单位 */
    int i_addr[10];         /* 用于文件逻辑块好和物理块好转换的基本索引表 */
};
```

文件描述符是进程打开文件表的下标

进程打开文件表（进程的私有结构）



open()系统调用,create()系统调用在打开文件表中为文件分配一个表项，首次适应，第1个非空表项。返回值fd是打开文件表的下标。

fd是文件描述符，标识进程访问的第fd个文件。

- 0，STDIN。进程的标准输入
- 1，STDOUT。进程的标准输出
- 2，STDERR。进程的标准错误输出（V6++没有）

- 这三个文件不是进程（应用程序）自己打开的。它们，用户登录（login）时打开，fork时继承自父进程（shell进程）
- V6没有登录过程，系统初始化时main0打开这3个文件

文件打开后，对该文件实施的read、write系统调用，直接使用打开文件描述符fd。

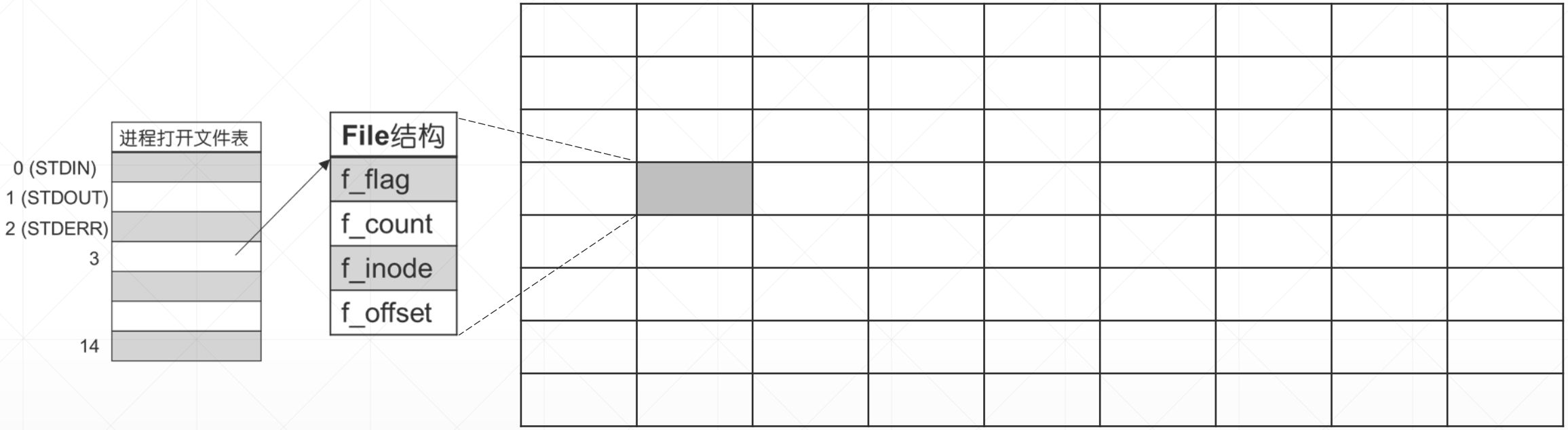
例：

（1）fd1，fd2的值是几？

（2）下面程序的输出是什么？解释程序的输出。

```
int main()
{
    int fd1, fd2;

    fd1 = Open("foo.txt", O_RDONLY, 0);
    Close(fd1);
    fd2 = Open("baz.txt", O_RDONLY, 0);
    printf("fd2 = %d\n", fd2);
    exit(0);
}
```

File结构（系统范围内，供多个进程共享）

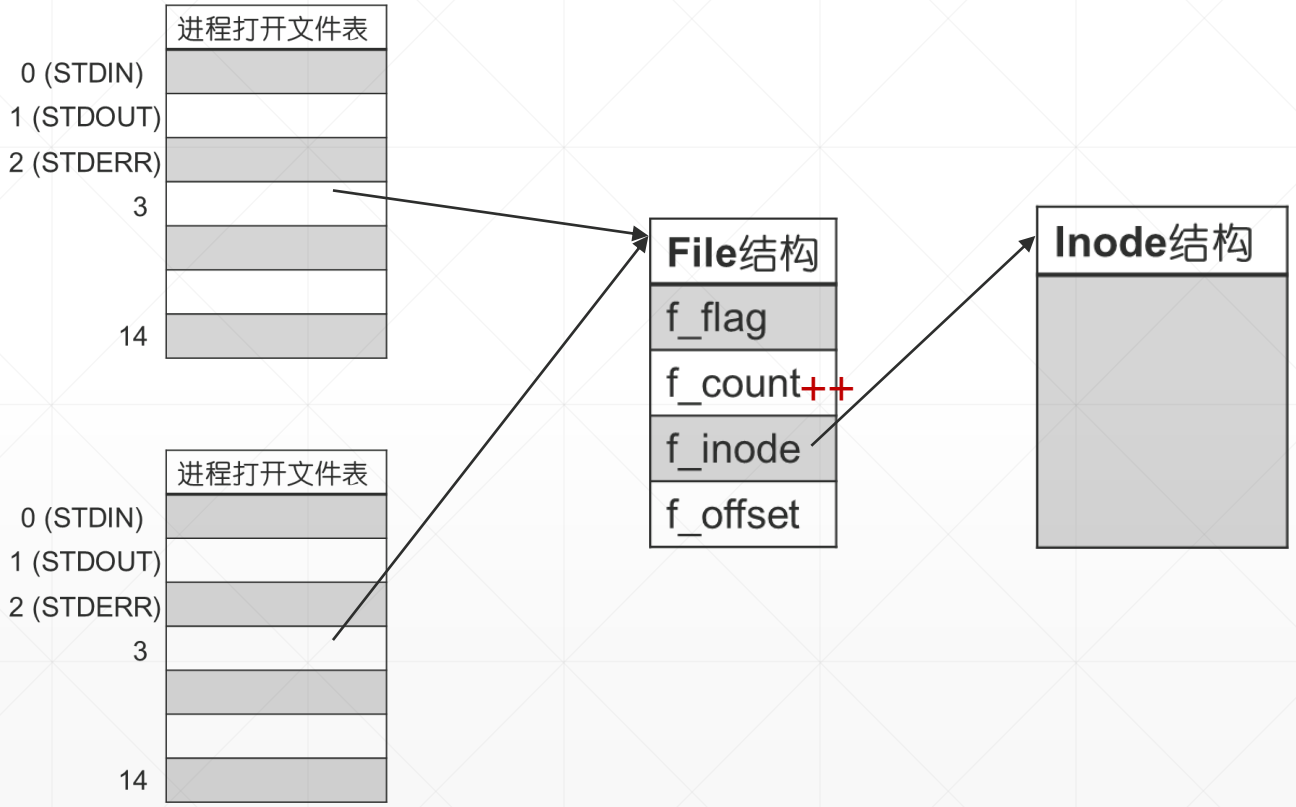


f_count==0，空闲项

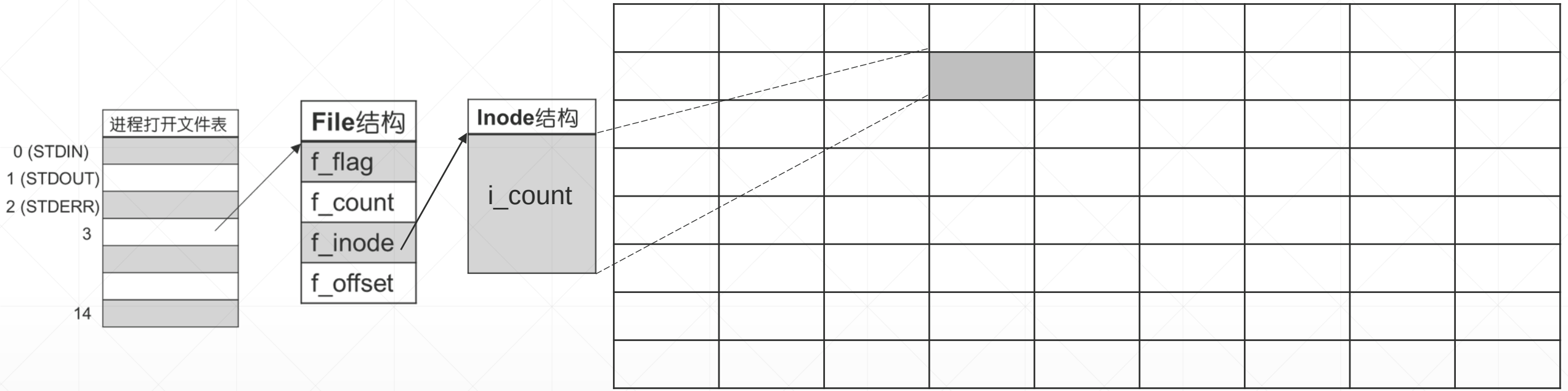
open、create会分配一个空闲File结构

```
class OpenFileTable
{
    File m_File[NFILE];      // 系统打开文件表，100个元素
}
```

Fork，父子进程引用同一个File结构



Inode结构（系统范围内，访问同一个文件的所有进程共享）



i_count==0，空闲项

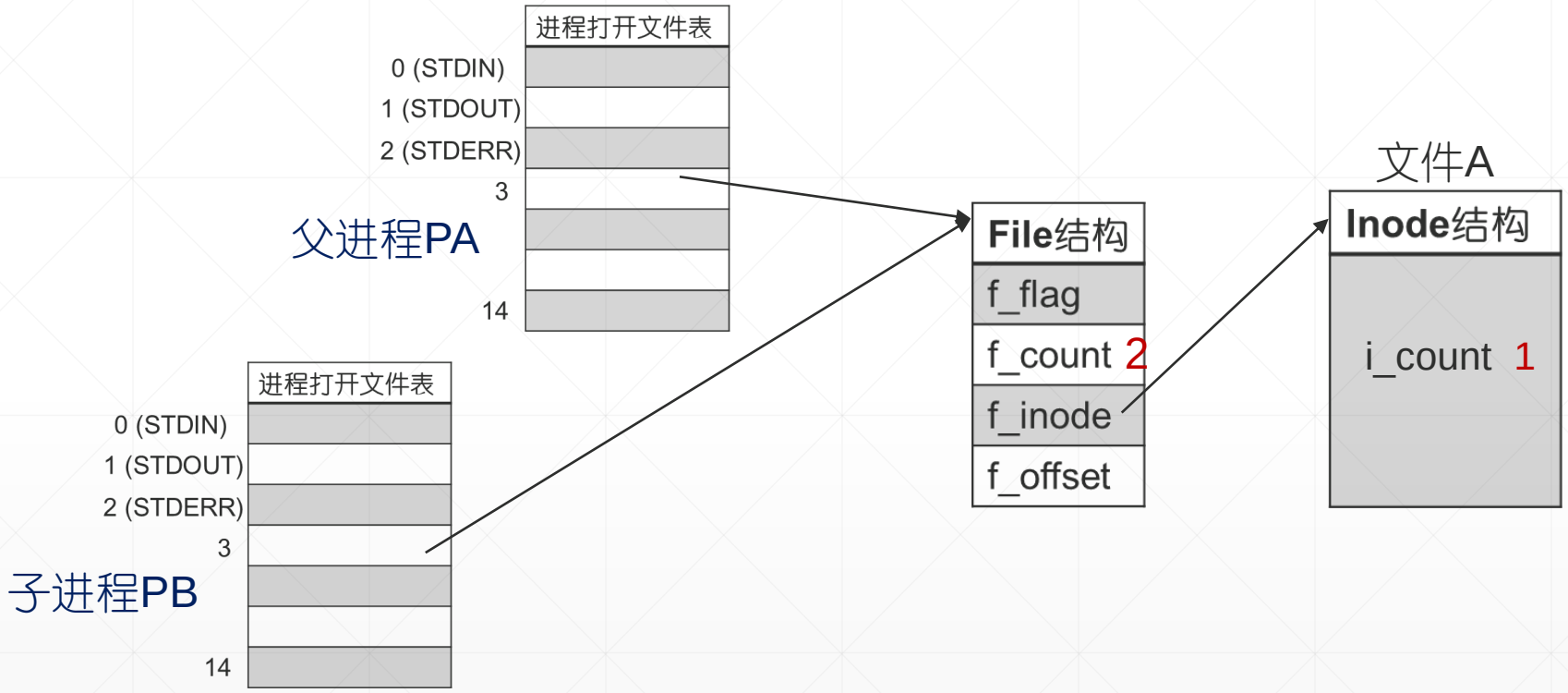
open、create、exec

- 目标文件不命中，分配一个空闲Inode结构
- i_count ++

```
class InodeTable
{
    Inode m_Inode[NINODE]  // 内存Inode表， 100个元素
}
```

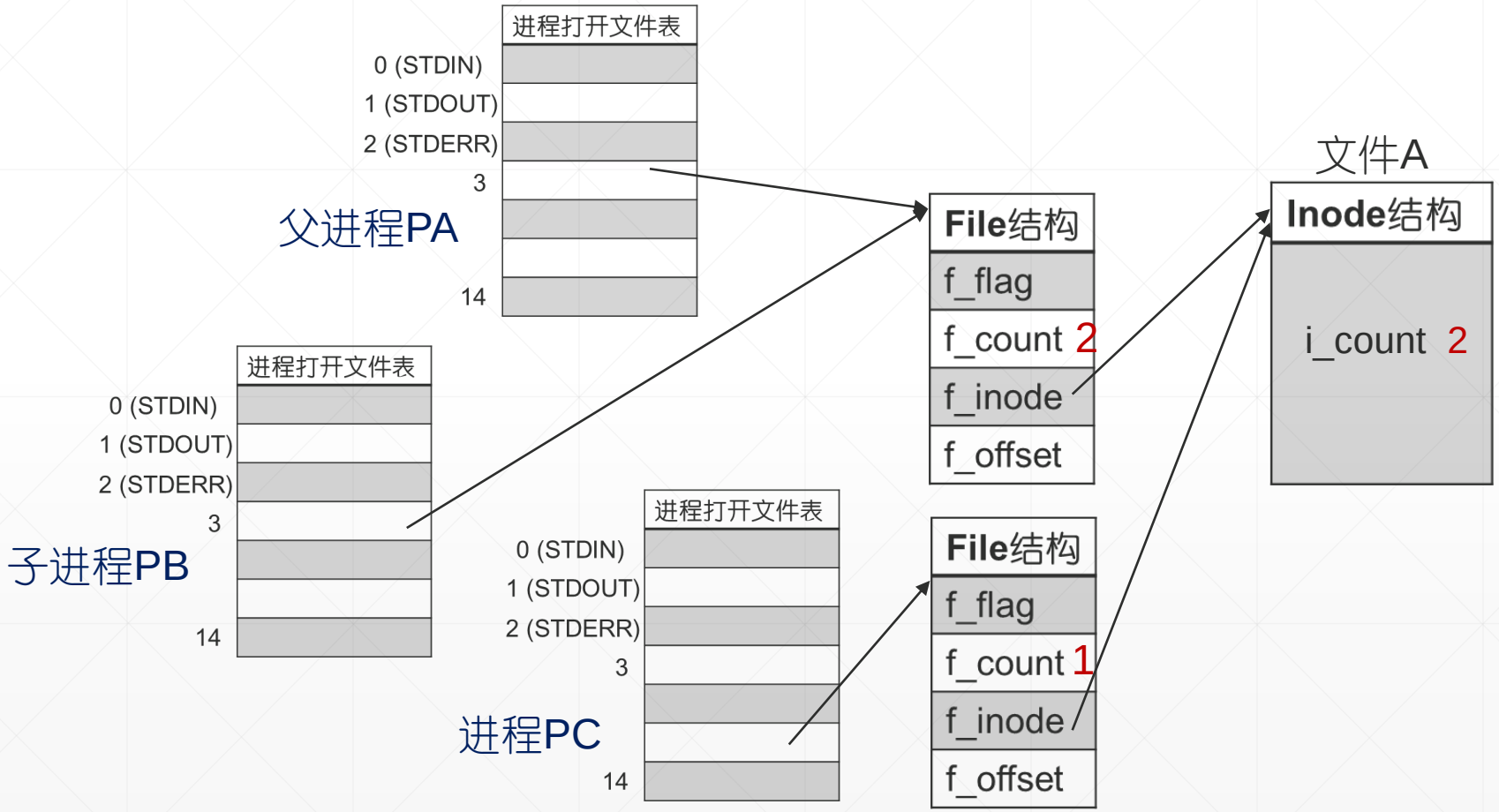
访问同一个文件的进程共享内存打开文件结构 1

父进程 open(文件 A) 之后创建子进程PB



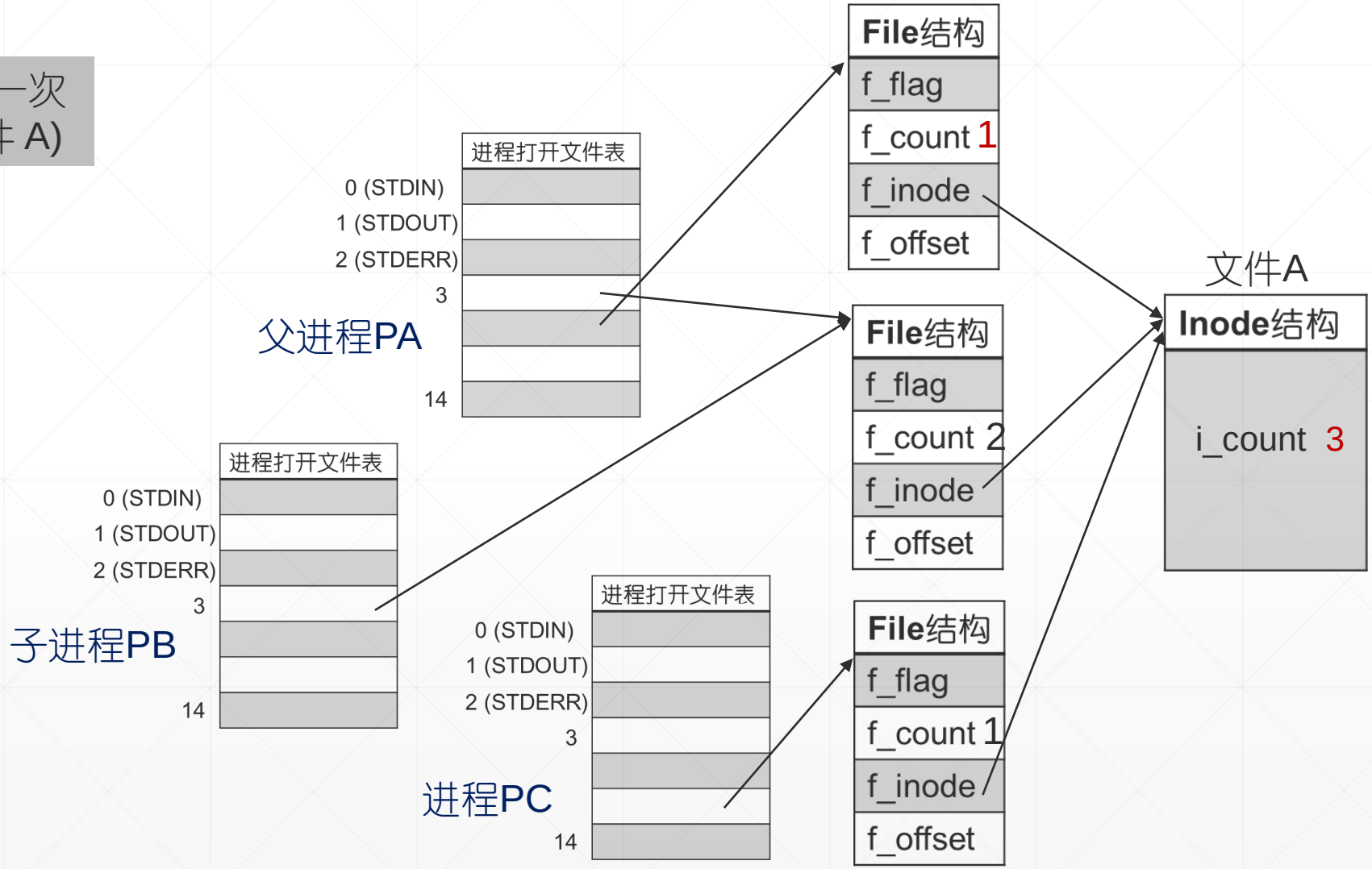
访问同一个文件的进程共享内存打开文件结构 2

进程PC执行系统调用 open(文件 A)



访问同一个文件的进程共享内存打开文件结构 3

进程PA，又执行了一次系统调用 open(文件 A)



6、open系统调用

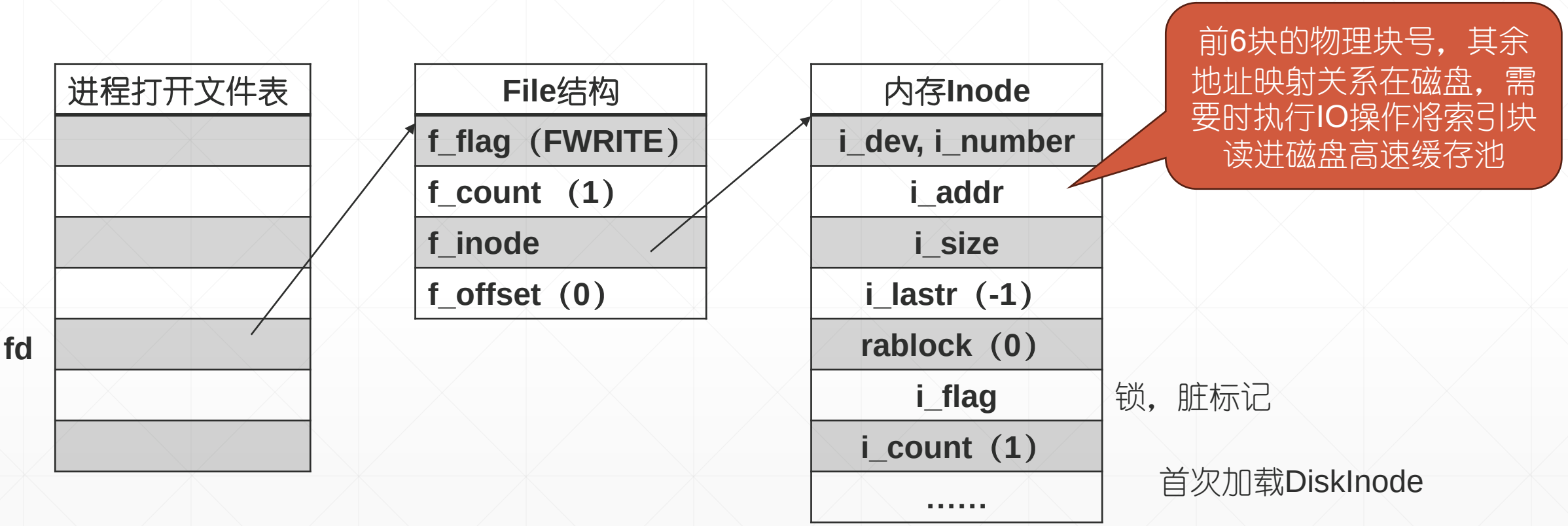
$$fd = open(name, mode);$$

- 目录搜索，确定文件 name 的 DiskInode 号。文件不存在，报错，返回。
- 为DiskInode分配内存Inode结构（用DiskInode 号搜索内存Inode表）
  - 命中，i_count++
  - 不命中，分配空闲Inode，读入磁盘Inode，初始化。
- 检查文件访问权限。Inode中，RWX不支持mode，报错，返回。
- 创建打开文件结构
  - 分配File结构，分配fd，建立fd→File→Inode勾连关系，设置引用计数器
- 返回文件描述符 fd

```
class Inode
{
    short i_dev;            /* 外存inode所在存储设备的设备号 */
    int i_number;           /* 外存inode区中的编号 */

    unsigned int i_flag;    /* 状态的标志位，定义见enum INodeFlag */
    int i_count;            /* 引用计数 */

    int i_lastr;            /* 最近读过的逻辑块号，用于判断是否需要预读 */
    static int rablock;     /* 预读块的物理块号 */

    unsigned int i_mode;    /* 文件工作方式信息 */
    int i_nlink;            /* 文件联结计数，即该文件在目录树中不同路径名的数量 */
    short i_uid;            /* 文件所有者的用户标识数 */
    short i_gid;            /* 文件所有者的组标识数 */
    int i_size;             /* 文件大小，字节为单位 */
    int i_addr[10];         /* 用于文件逻辑块好和物理块好转换的基本索引表 */
};
```

Open 对打开文件结构的初始化

$$fd = open(name, mode);$$



7、read系统调用

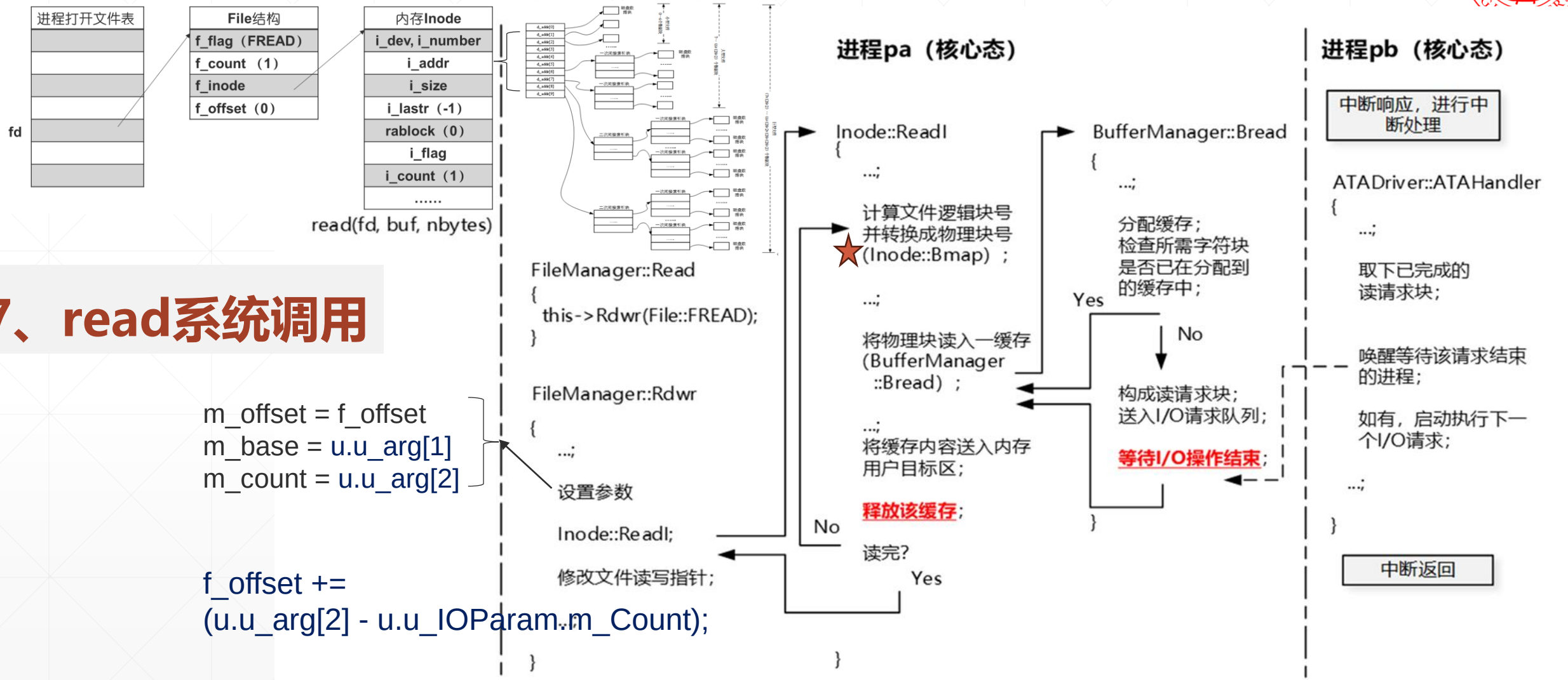


图 7.38：系统调用 read 的基本执行过程

8、write系统调用

write(fd，buf，nbytes)

系统调用传参

```
FileManager::Write( )
{
   this->Rdwr(File::FWRITE);
}
```

```
FileManager::Rdwr( )
{
   …;
   设置IO参数;
   Inode::WriteI;

   修改文件读写指针
   …;
}
```

进程pa（核心态）

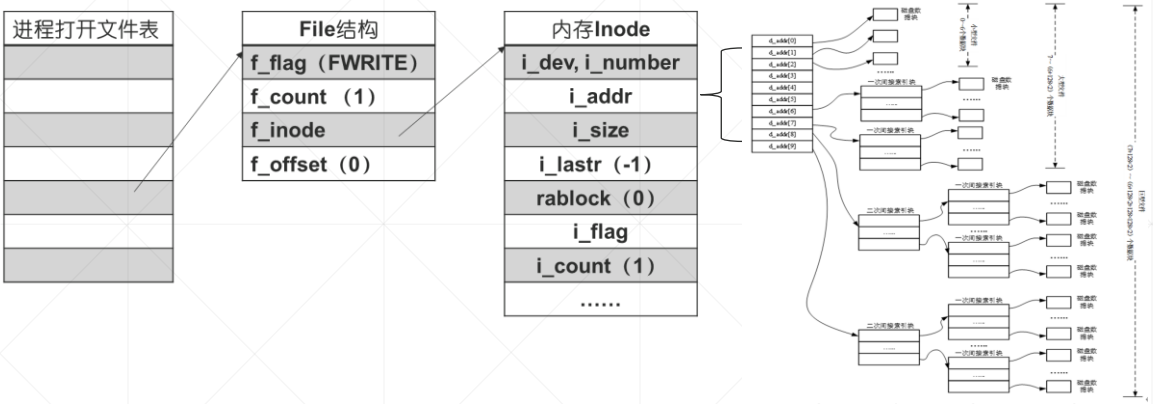
```
Inode::WriteI( )
{
   …;
   dn = Bmap(bn)，必要时为新数据块bn分配物理块dn
   需要先读?  是→ BufferManager::Bread( )
      否
   GetBlk()
   将用户区中的数据送入缓存块
   写到数据块底部?  是→ 清缓存块脏标记，构造异步写请求块，送io队尾 (BaWrite)
      否
   打脏标记，释放缓存块 (Bdwrite)
   若文件长度增加，修改。置Inode脏
   写完?  否→ 回到dn = Bmap(bn)
      是
}
```

```
BufferManager::Bread( )
{
   …;
   锁住缓存池中分配给dn的缓存块（BufferManager::GetBLK）
   数据可用?  是→ }
      否
   构成读请求块，送io队尾 (Strategy)
   等待IO完成 (BufferManager::IOWait)
}
```

进程pb
（中断发生时的现运行进程）

```
ATADriver::ATAHandler( )
{
   …;
   摘除io队首的缓存块

   置io完成标识B_DONE

   同步块?
   Y：唤醒等待先读操作的进程
   N：释放缓存块

   启动io队列中的下一个io请求（若队列不空）
}
```

8、write系统调用




```
FileManager::Write( )
{
    this->Rdwr(File::FWRITE);
}
```

m_offset = f_offset
m_base = u.u_arg[1]
m_count = u.u_arg[2]

```
FileManager::Rdwr( )
{
    ...;
    设置IO参数;
    Inode::WriteI;
    修改文件读写指针
    ...;
}
```

f_offset +=
(u.u_arg[2] - u.u_IOParam.m_Count);

进程pa（核心态）

```
Inode::WriteI( )
{
    ...;
    dn = Bmap(bn)，必要时为新数据块bn分配物理块dn
    需要先读?  是 → BufferManager::Bread( )
        否
    GetBlk()
    将用户区中的数据送入缓存块
    写到数据块底部  是 → 清缓存块脏标记，构造异步写请求块，送io队尾 (BaWrite)
        否
    打脏标记，释放缓存块 (Bdwrite)
    若文件长度增加，修改。置Inode脏 i_size, IUPD位
    写完?  否 → 回到 dn = Bmap(bn)
        是
}
```

```
BufferManager::Bread( )
{
    ...;
    锁住缓存池中分配给dn的缓存块（BufferManager::GetBLK）
    数据可用?  是 → }
        否
    构成读请求块，送io队尾 (Strategy)
    等待IO完成 (BufferManager::IOWait)
}
```

作业：一定要会写

分析代码7.11中所示实例的详细执行过程：

```
int fd = open("/usr/ast/Jerry",2);  //以可读可写方式打开文件
char data[300];
seek(fd, 500, 0);//将文件读写指针定位到第500字节
int count = read (fd, data, 300);//从文件读300字节到data
count = write(fd, data, 300);//从data写300字节到文件
```

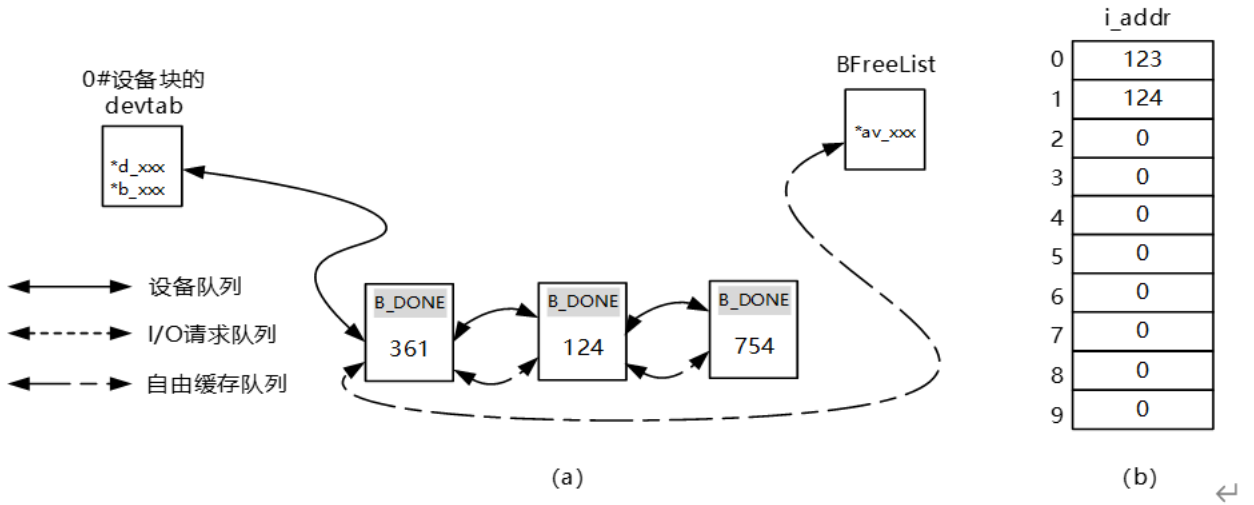


图 7.39：读写操作的初始状态

图示所有缓存自由、不脏