操作系统原理

PRINCIPLES OF OPERATING SYSTEM

北京大学计算机科学技术系 陈向群
Department of computer science and Technology
Peking University
2015 春季

第9讲

文件系统1

文件管理

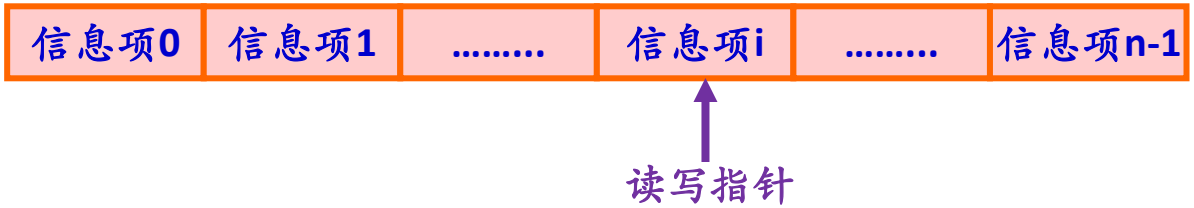
- 文件与文件系统
- 文件的存储介质
- 磁盘空间管理
- 文件控制块及文件目录
- 文件的物理结构
- 文件系统的实现
- 文件系统实例——UNIX

文件的分类、文件的逻辑结构

文件与文件系统

文件是什么？

- 文件 是 对磁盘的 抽象
- 所谓文件 是指 一组带标识（标识即为文件名）的、在逻辑上有完整意义的信息项的序列
- 信息项：构成文件内容的基本单位（单个字节，或多个字节），各信息项之间具有顺序关系
- 文件内容的意义：由文件建立者和使用者解释



如何设计一个文件系统

操作系统角度：

怎样组织、管理文件？

- ✓ 文件的描述、分类
- ✓ 文件目录的实现
- ✓ 存储空间的管理
- ✓ 文件的物理地址
- ✓ 磁盘实际运作方式(与设备管理的接口)
- ✓ 文件系统性能

等等

用户角度：

文件系统如何呈现在用户面前：

- ✓ 一个文件的组织
- ✓ 如何命名？
- ✓ 如何保护文件？
- ✓ 可以实施的操作？

等等

文件管理的需求分析

文件系统

- 操作系统中统一管理信息资源的一种软件，管理文件的存储、检索、更新，提供安全可靠的共享和保护手段，并且方便用户使用

- 统一管理磁盘空间，实施磁盘空间的分配与回收
- 实现文件的按名存取

  名字空间 —映射→ 磁盘空间
- 实现文件信息的共享，并提供文件的保护、保密手段
- 向用户提供一个方便使用、易于维护的接口，并向用户提供有关统计信息
- 提高文件系统的性能
- 提供与I/O系统的统一接口

文件的分类

按文件性质和用途分类（UNIX）

普通文件；目录文件；特殊文件(设备文件)；管道文件；套接字

普通文件(regular)

包含了用户的信息，一般为ASCII或二进制文件

目录文件(directory)

管理文件系统的系统文件

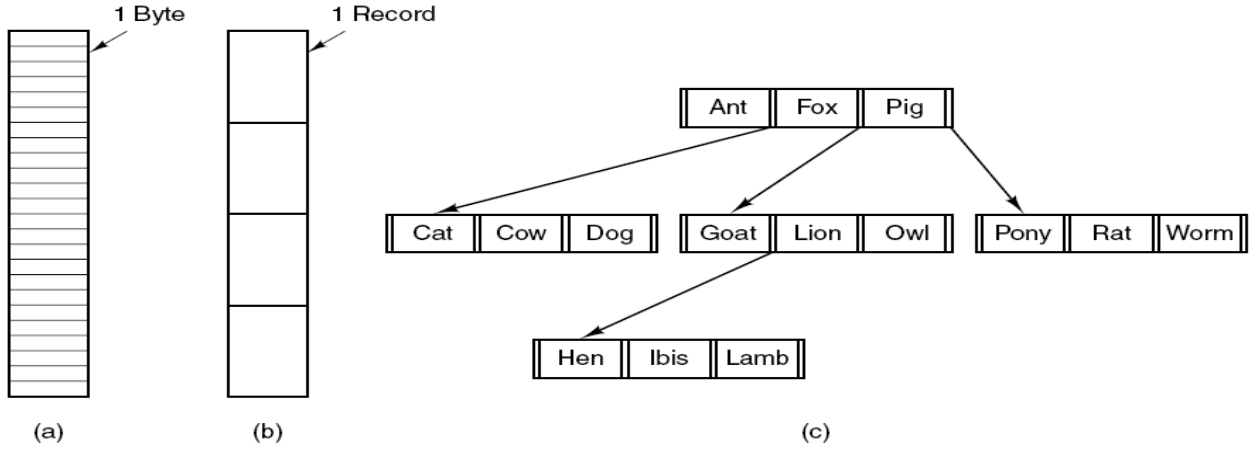
特殊文件(special file)

字符设备文件：和输入输出有关，用于模仿串行I/O设备，例如终端，打印机，网卡等

块设备文件：磁盘

文件的逻辑结构

从用户角度看文件，由用户的访问方式确定



还可以组织成堆、顺序、索引、索引顺序、散列等结构

A. Tanenbaum

典型的文件逻辑结构与文件存取

- 流式文件：构成文件的基本单位是字符

  文件是有逻辑意义、无结构的一串字符的集合

- 记录式文件：文件由若干个记录组成，可以按记录进行读、写、查找等操作

  每条记录有其内部结构

- 顺序存取(访问)
- 随机存取(访问)

  提供读写位置(当前位置)

  例如：UNIX的seek操作

物理块、簇、磁盘结构、扇区

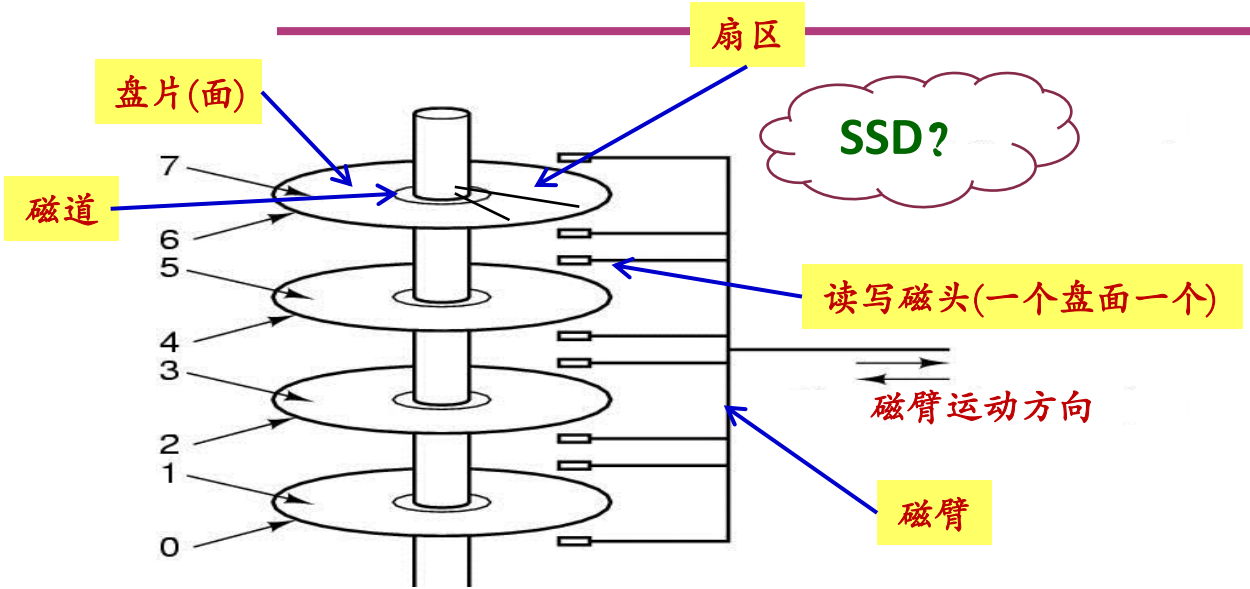
文件的存储介质

存储介质与物理块

- 典型的存储介质

  磁盘(包括固态盘SSD)、磁带、光盘、U盘、……
- 物理块（块block、簇cluster）
  - 信息存储、传输、分配的独立单位
  - 存储设备划分为大小相等的物理块，统一编号

典型的磁盘结构



任何时刻只有一个磁头处于活动状态：输入输出数据流以位串形式出现

物理地址形式：磁头号（盘面号）、磁道号（柱面号）、扇区号

扇区：标题(10字节)、数据(512字节)、ECC纠错信息(12-16字节)

磁盘访问

SSD?

一次访盘请求：

读/写，磁盘地址（设备号，柱面号，磁头号，扇区号），内存地址（源/目）

完成过程由三个动作组成：

- 寻道（时间）：磁头移动定位到指定磁道
- 旋转延迟（时间）：等待指定扇区从磁头下旋转经过
- 数据传输（时间）：数据在磁盘与内存之间的实际传输

磁盘空间管理

有关数据结构

- 位图法
  - 用一串二进制位反映磁盘空间中分配使用情况，每个物理块对应一位，分配物理块为0，否则为1
  - 申请物理块时，可以在位示图中查找为1的位，返回对应物理块号
  - 归还时，将对应位转置1
- 空闲块表
  - 将所有空闲块记录在一个表中，即空闲块表
  - 主要两项内容：起始块号，块数
- 空闲块链表
  - 把所有空闲块链成一个链
  - 扩展：成组链接法 √

磁盘地址与块号的转换

已知块号，则磁盘地址：

柱面号＝[块号/（磁头数×扇区数）]

磁头号＝[（块号mod （磁头数×扇区数））/扇区数]

扇区号＝（块号mod （磁头数×扇区数））mod 扇区数

已知磁盘地址：

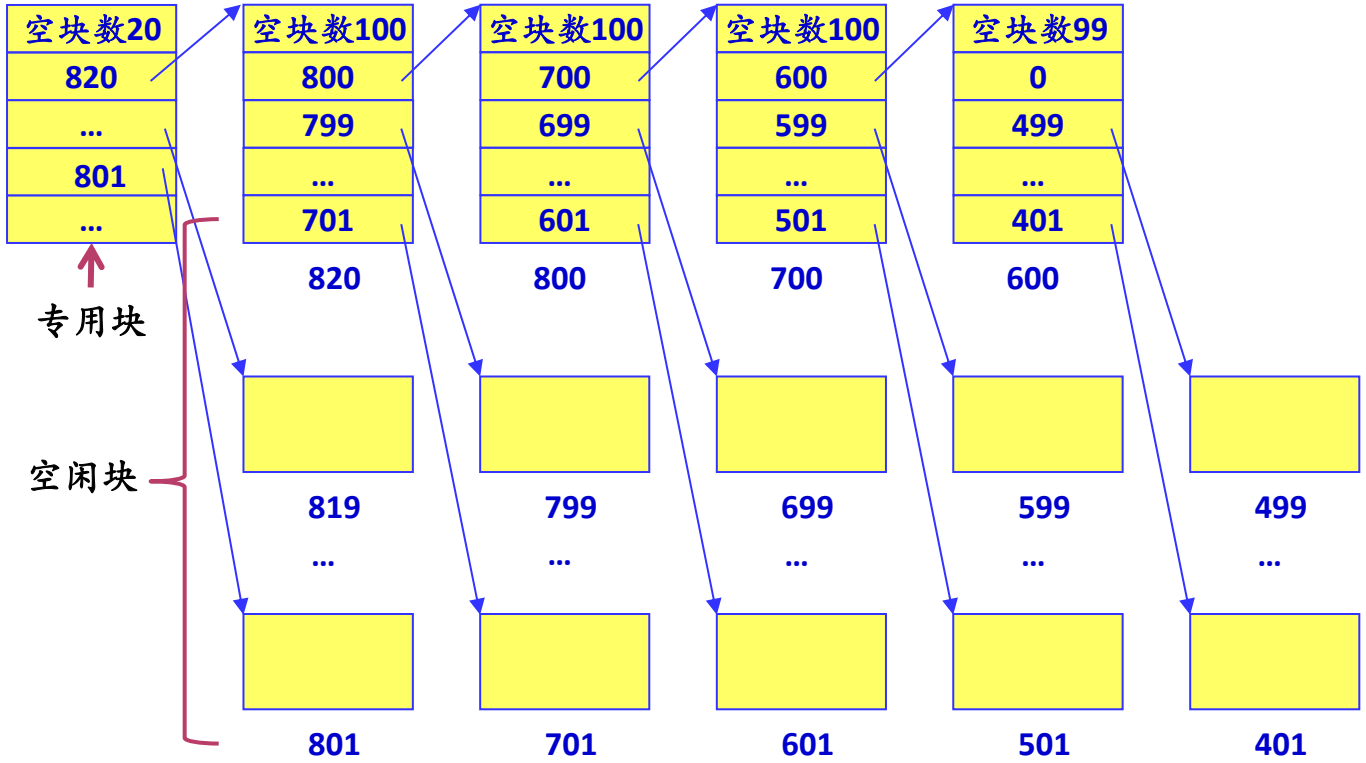
块号＝柱面号×（磁头数×扇区数）＋磁头号×扇区数＋扇区号

位图计算公式：

已知字号i、位号j：块号＝i×字长＋j

已知块号：字号＝[块号/字长]　位号＝块号 mod 字长

成组链接法设计思想


空块数20
820
...
801
...
空块数100
800
799
...
701
空块数100
700
699
...
601
空块数100
600
599
...
501
空块数99
0
499
...
401
820
800
700
600
专用块
空闲块
819
799
699
599
499
...
...
...
...
...
801
701
601
501
401

成组链接法—分配算法

分配一个空闲块

查L单元（空闲块数）：

- 当空闲块数＞1 i＝L＋空闲块数；
  从i单元得到一个空闲块号；
  把该块分配给申请者；
  空闲块数减1；
- 当空闲块数＝1 取出L＋1单元内容（一组的第一块块号或0）；
  其值＝0无空闲块，申请者等待
  其值不等于零，把该块内容复制到专用块；
  该块分配给申请者；

把专用块内容读到内存L开始的区域

成组链接法—回收算法

归还一块：

查L单元的空闲块数；

- 当空闲块数<100 空闲块数加1；

  j:＝ L＋空闲块数；

  归还块号填入j单元。

- 当空闲块数＝100，则把内存中登记的信息写入归还块中；

  把归还块号填入L＋1单元；

  将L单元置成1。

文件属性、树形结构

文件控制块及文件目录

文件属性

- 文件控制块（File Control Block）
  为管理文件而设置的数据结构，保存管理文件所需的所有有关信息
  （文件属性或元数据）

- 常用属性
  文件名，文件号，文件大小，文件地址，创建时间，最后修改时间，最后访问时间，保护，口令，创建者，当前拥有者，文件类型，共享计数，各种标志(只读、隐藏、系统、归档、ASCII/二进制、顺序/随机访问、临时文件、锁)

基本文件操作

- Create
- Delete
- Open
- Close
- Read
- Write
- Append
- Seek
- Get Attributes
- Set Attributes
- Rename
- … …

```
/* File copy program. Error checking and reporting is minimal. */

#include <sys/types.h>                  /* include necessary header files */
#include <fcntl.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>

int main(int argc, char *argv[]);       /* ANSI prototype */

#define BUF_SIZE 4096                   /* use a buffer size of 4096 bytes */
#define OUTPUT_MODE 0700                /* protection bits for output file */

int main(int argc, char *argv[])
{
    int in_fd, out_fd, rd_count, wt_count;
    char buffer[BUF_SIZE];

    if (argc != 3) exit(1);             /* syntax error if argc is not 3 */

    /* Open the input file and create the output file */
    in_fd = open(argv[1], O_RDONLY);    /* open the source file */
    if (in_fd < 0) exit(2);             /* if it cannot be opened, exit */
    out_fd = creat(argv[2], OUTPUT_MODE); /* create the destination file */
    if (out_fd < 0) exit(3);            /* if it cannot be created, exit */
```

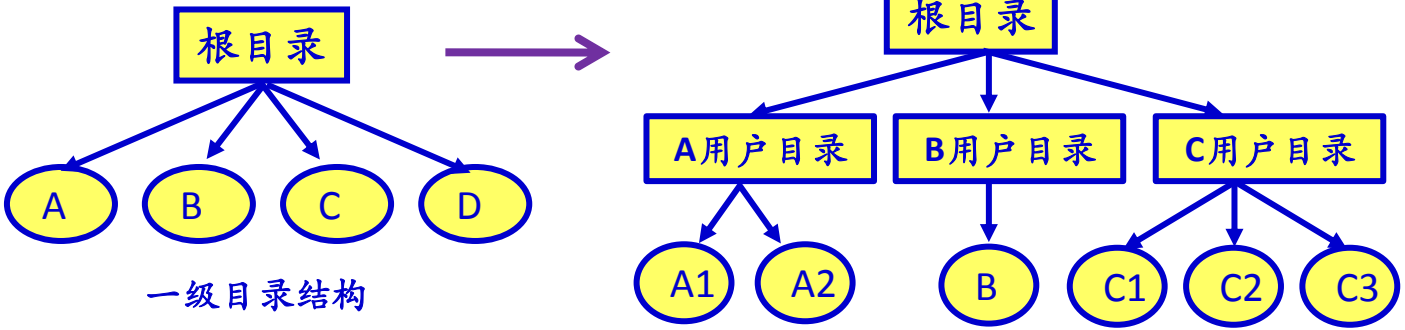
用基本文件操作构造其他操作示例

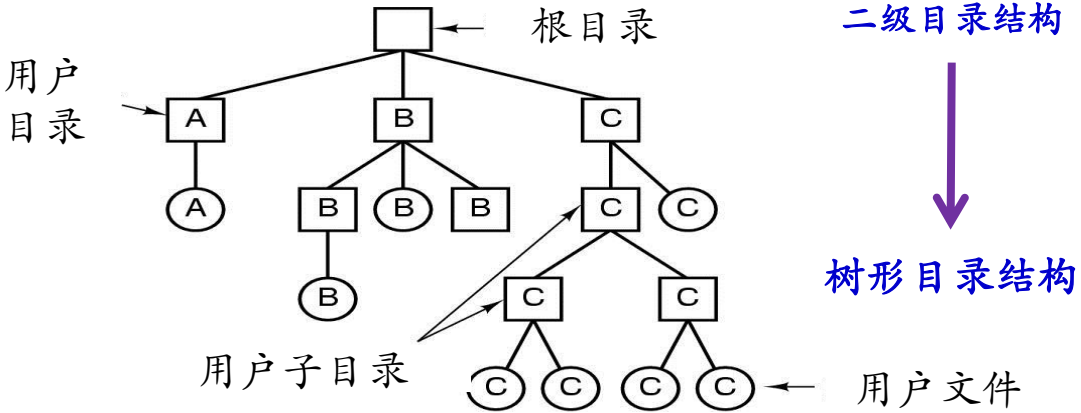
```
    /* Copy loop */
    while (TRUE) {
        rd_count = read(in_fd, buffer, BUF_SIZE); /* read a block of data */
    if (rd_count <= 0) break;                     /* if end of file or error, exit loop */
        wt_count = write(out_fd, buffer, rd_count); /* write data */
        if (wt_count <= 0) exit(4);               /* wt_count <= 0 is an error */
    }

    /* Close the files */
    close(in_fd);
    close(out_fd);
    if (rd_count == 0)                            /* no error on last read */
        exit(0);
    else
        exit(5);                                  /* error on last read */
}
```

文件目录、目录项与目录文件

- 文件目录
  - 统一管理每个文件的元数据，以支持文件名到文件物理地址的转换
  - 将所有文件的管理信息组织在一起，即构成文件目录
- 目录文件
  - 将文件目录以文件的形式存放在磁盘上
- 目录项
  - 构成文件目录的基本单元
  - 目录项*可以*是FCB，目录是文件控制块的有序集合

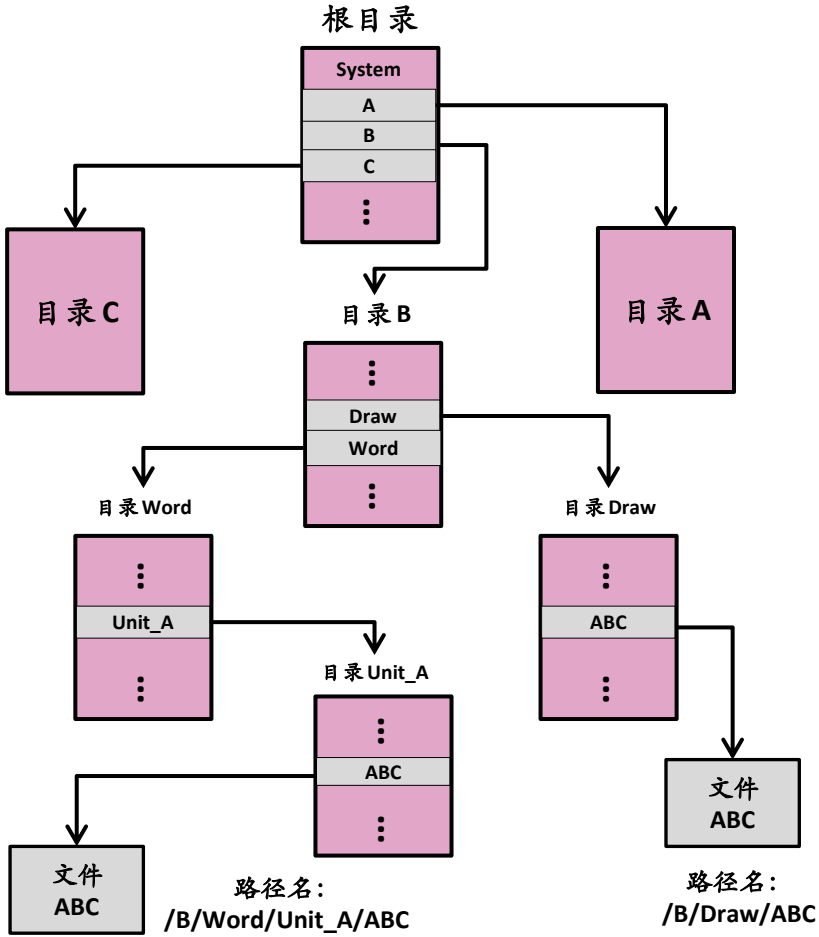
文件目录结构的演化


根目录
A
B
C
D
一级目录结构
根目录
A用户目录
B用户目录
C用户目录
A1
A2
B
C1
C2
C3
二级目录结构


根目录
用户
目录
A
B
C
A
B
B
B
C
C
B
C
C
C
C
C
C
用户子目录
用户文件
树形目录结构

与目录相关的概念

- 路径名（文件名）
  - 绝对路径名：从根目录开始
  - 相对路径名：从当前目录开始
- 当前目录/工作目录
- 目录操作
  - 创建目录、删除目录
  - 读目录、写目录、改名、复制


根目录
System
A
B
C
目录C
目录B
目录A
Draw
Word
目录Word
目录Draw
Unit_A
ABC
目录Unit_A
ABC
文件
ABC
文件
ABC
路径名:
/B/Word/Unit_A/ABC
路径名:
/B/Draw/ABC

目录文件的关联

文件的物理结构

文件的物理结构

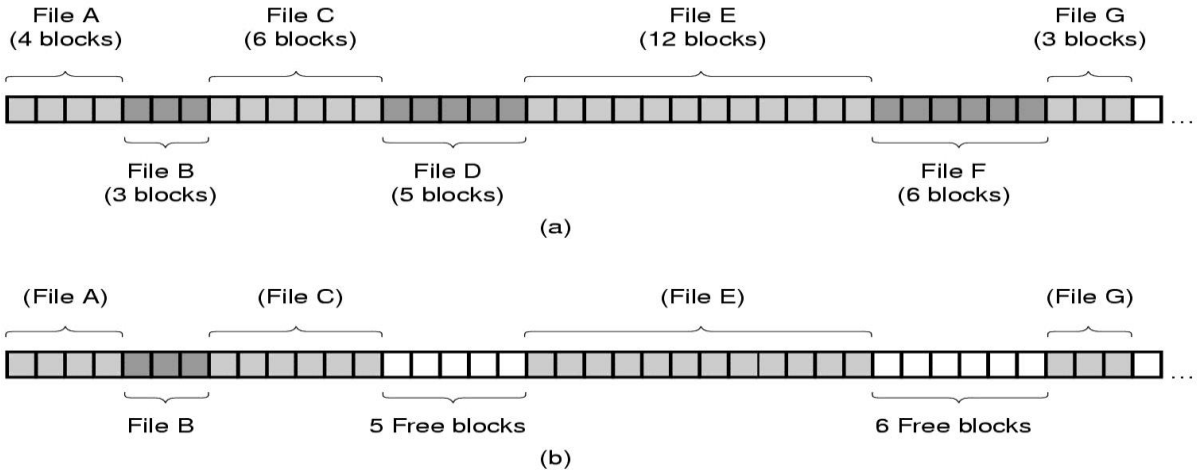
- 文件在存储介质上的存放方式

主要解决两个问题：

- 假设一个文件被划分成N块，这N块在磁盘上是怎么存放的？
- 其地址(块号或簇号)在FCB中是怎样记录的？

连续(顺序)结构

- 文件的信息存放在若干连续的物理块中



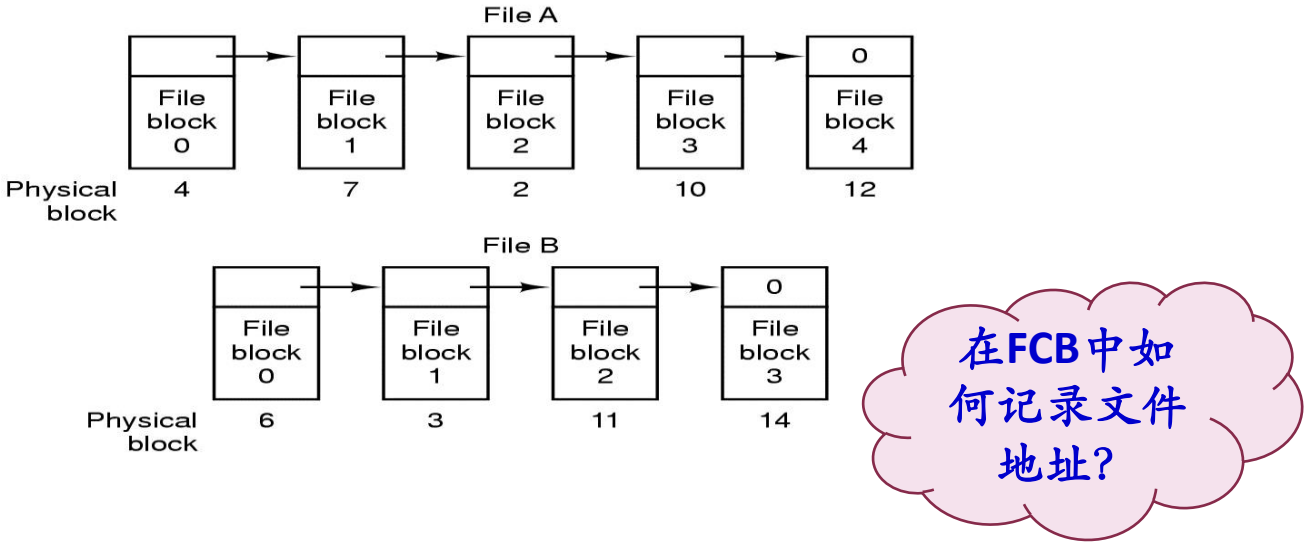
在FCB中如何记录文件地址?

连续结构的优缺点

- 优点
  - 简单
  - 支持顺序存取和随机存取
  - 所需的磁盘寻道次数和寻道时间最少
  - 可以同时读入多个块，检索一个块也很容易
- 缺点
  - 文件不能动态增长
    预留空间：浪费　或　重新分配和移动
  - 不利于文件插入和删除
  - 外部碎片：紧缩技术

链接结构

- 一个文件的信息存放在若干不连续的物理块中，各块之间通过指针连接，前一个物理块指向下一个物理块

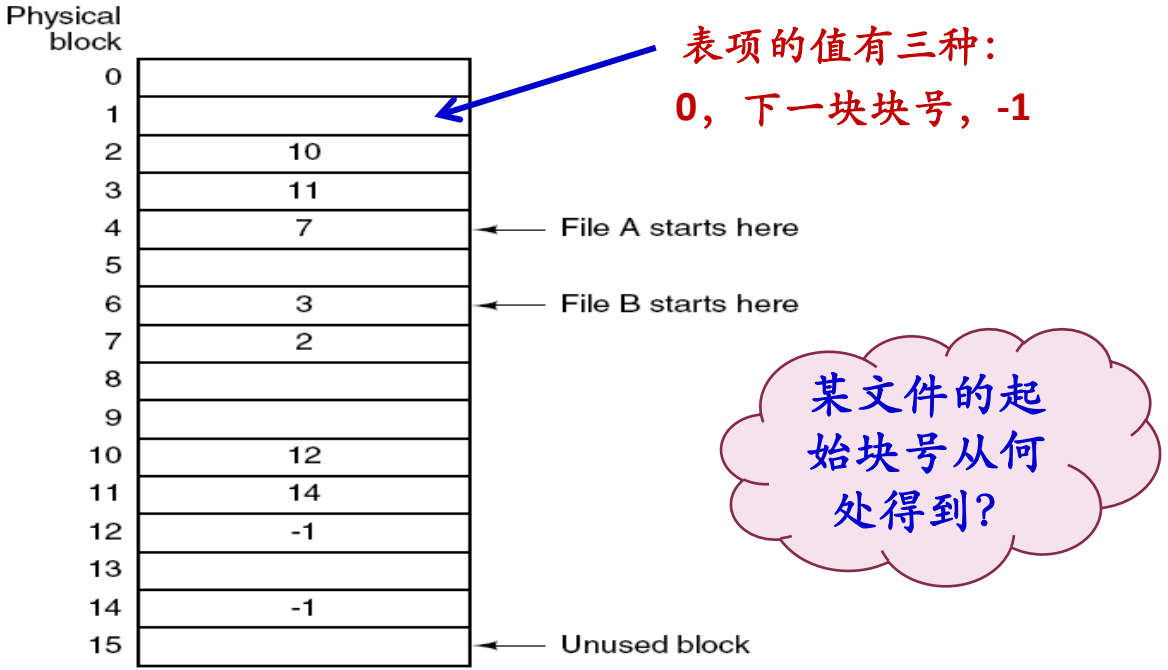


在FCB中如何记录文件地址?

链接结构的优缺点

- 优点
  - 提高了磁盘空间利用率，不存在外部碎片问题
  - 有利于文件插入和删除
  - 有利于文件动态扩充
- 缺点
  - 存取速度慢，不适于随机存取
  - 可靠性问题，如指针出错
  - 更多的寻道次数和寻道时间
  - 链接指针占用一定的空间

文件分配表示意图



表项的值有三种：

0，下一块块号，-1

某文件的起始块号从何处得到？

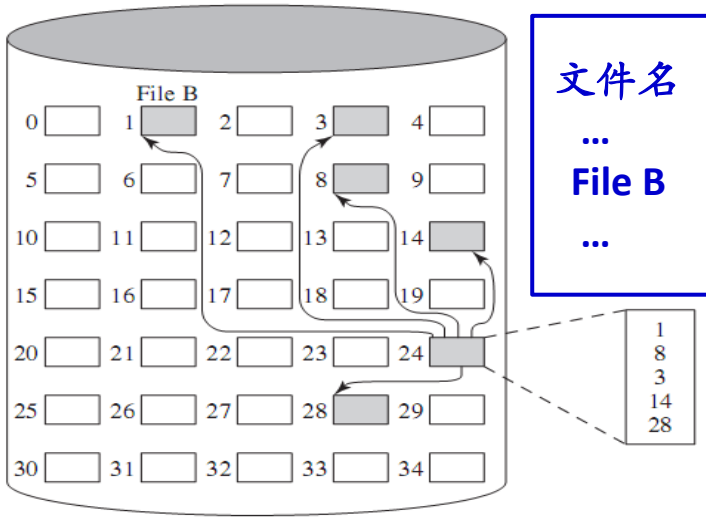
索引结构

- 一个文件的信息存放在若干不连续物理块中
- 系统为每个文件建立一个专用数据结构—索引表，并将这些物理块的块号存放在该索引表中
- 索引表就是磁盘块地址数组，其中第i个条目指向文件的第i块

在FCB中如何记录文件地址?

索引表存放在何处?

索引结构示意



文件名	索引块块号	……
…	…	…
File B	24	…
…	…	…

目录项示意

链接结构的优缺点

- 优点

  保持了链接结构的优点，又解决了其缺点

  - 既能顺序存取，又能随机存取
  - 满足了文件动态增长、插入删除的要求
  - 能充分利用磁盘空间

- 缺点

  - 较多的寻道次数和寻道时间
  - 索引表本身带来了系统开销

    如：内存、磁盘空间，存取时间

索引表的组织方式

- 问题：索引表很大，需要多个物理块存放时怎么办？

- 链接方式

  一个盘块存一个索引表，多个索引表链接起来

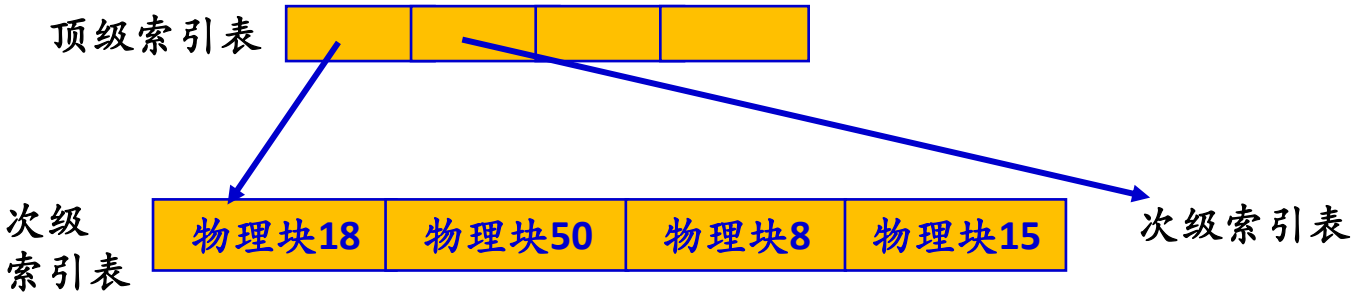
- 多级索引方式

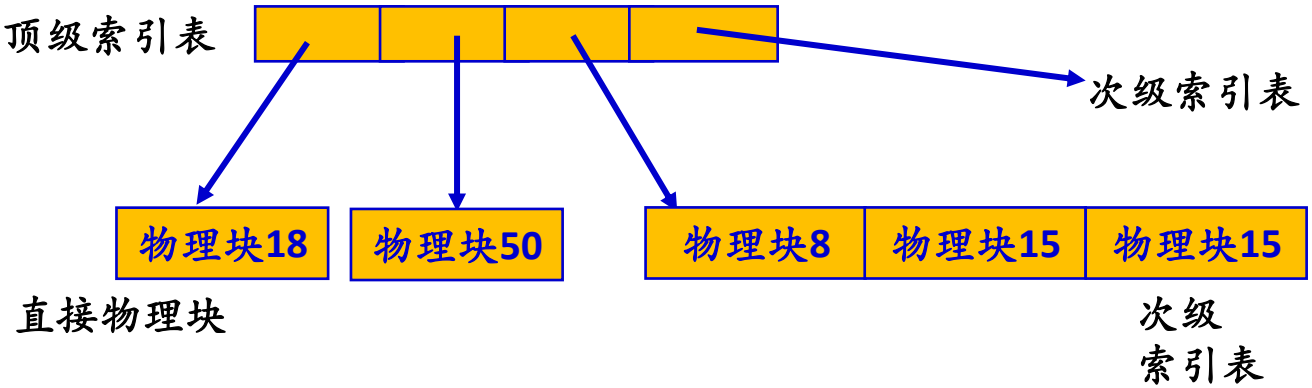
  将文件的索引表地址放在另一个索引表中

- 综合模式

  直接索引方式　与　间接索引方式　结合

多级索引与综合模式


顶级索引表
次级
索引表
物理块18
物理块50
物理块8
物理块15
次级索引表


顶级索引表
次级索引表
物理块18
物理块50
物理块8
物理块15
物理块15
直接物理块
次级
索引表

UNIX的三级索引结构

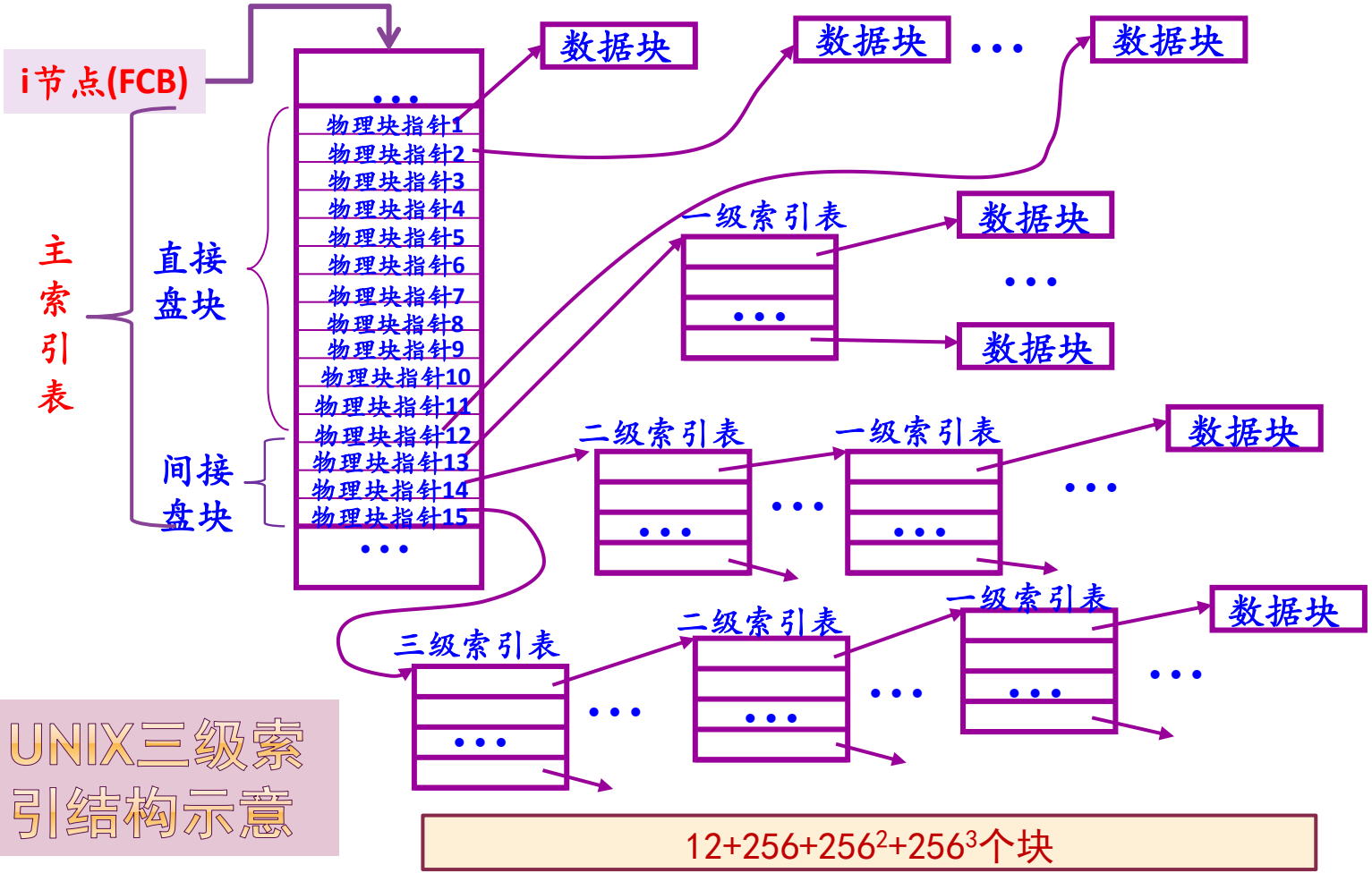
UNIX文件系统采用的是多级索引结构(综合模式)

- 每个文件的索引表有15个索引项，每项2个字节
- 前12项直接存放文件的物理块号（直接寻址）
- 如果文件大于12块，则利用第13项指向一个物理块，在该块中存放文件物理块的块号（一级索引表）

假设扇区大小为512字节，物理块等于扇区块大小，一级索引表可以存放256个物理块号

- 对于更大的文件还可利用第14和第15项作为二级和三级索引表

试问：采用这种结构，一个文件最大可达到？个物理块



UNIX三级索引结构示意

$12+256+256^2+256^3$个块

磁盘上的布局、内存中的数据结构

文件系统的实现1

概述

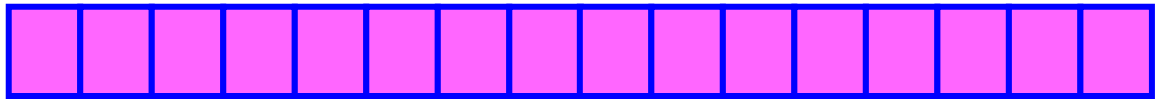
- 实现文件系统需要考虑
  磁盘上 与 内存中 的 内容布局
- 磁盘上
  - ✓ 如何启动操作系统？
  - ✓ 磁盘是怎样管理的？怎样获取磁盘的有关信息？
  - ✓ 目录文件在磁盘上怎么存放？普通文件在磁盘上怎么存放？
- 内存中
  当进程使用文件时，操作系统是如何支持的？
  文件系统的内存数据结构

相关术语

- 磁盘分区(partition)：把一个物理磁盘的存储空间划分为几个相互独立的部分，称为分区
- 文件卷(volume)：磁盘上的逻辑分区，由一个或多个物理块(簇)组成
  - 一个文件卷可以是整个磁盘 或 部分磁盘 或 跨盘（RAID）
  - 同一个文件卷中使用同一份管理数据进行文件分配和磁盘空闲空间管理，不同的文件卷中的管理数据是相互独立的
  - 一个文件卷上：包括文件系统信息、一组文件（用户文件、目录文件）、未分配空间
  - 块（Block）或 簇（Cluster）：一个或多个（2的幂）连续的扇区，可寻址数据块
- 格式化(format)：在一个文件卷上建立文件系统，即建立并初始化用于文件分配和磁盘空闲空间管理的管理数据

元数据

磁盘上的内容

文件卷(分区)  .....

- 引导区

  包括了从该卷引导操作系统所需要的信息

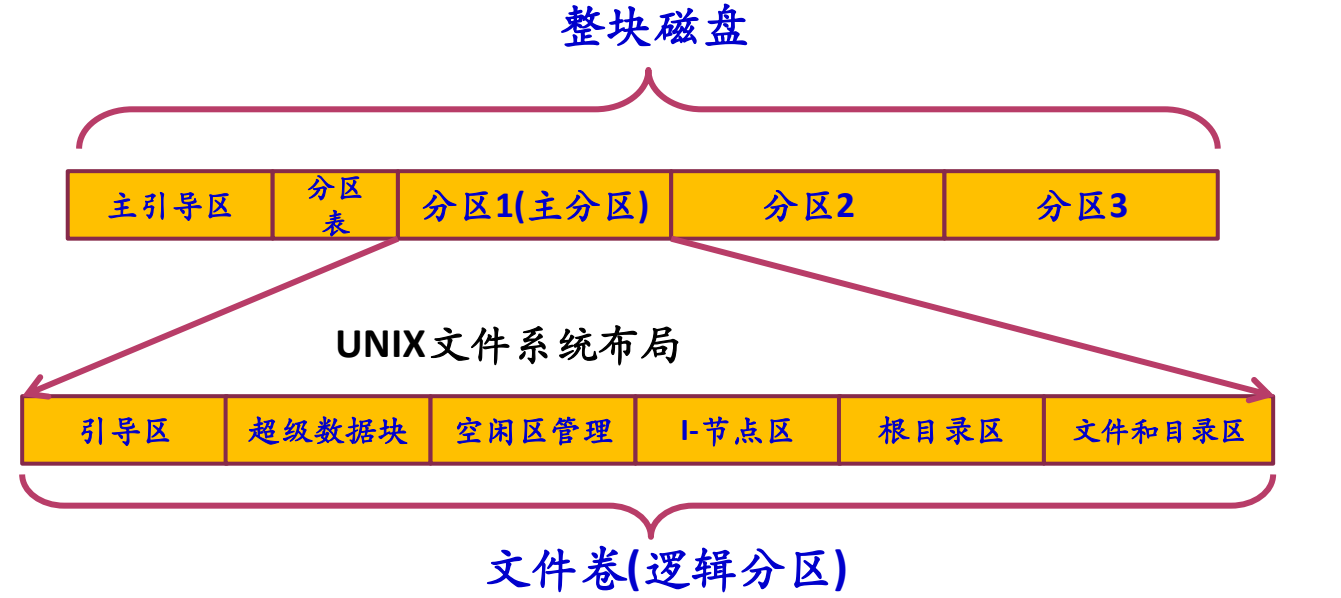
  每个卷（分区）一个，通常为第一个扇区

- 卷（分区）信息

  包括该卷（分区）的块（簇）数、块（簇）大小、空闲块（簇）数量和指针、空闲FCB数量和指针.....

- 目录文件(根目录文件及其他目录文件)
- 用户文件

磁盘上文件系统的布局

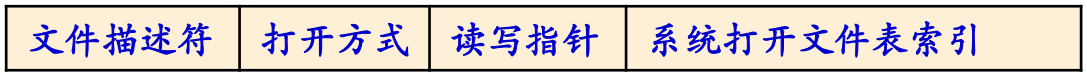


Windows的FAT文件系统布局

内存中所需的数据结构
——以UNIX为例

- 系统打开文件表
  - 整个系统一张
  - 放在内存：用于保存已打开文件的FCB

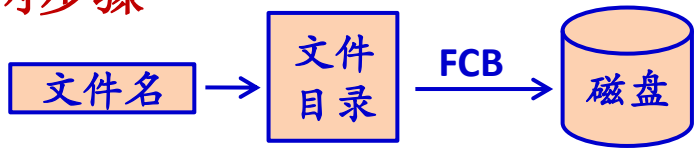
- 用户打开文件表
  - 每个进程一个
  - 进程的PCB中记录了用户打开文件表的位置



文件系统实例——UNIX

文件目录检索

访问一个文件 → 两步骤



- 目录检索

  用户给出文件名 → 按文件名查找到目录项/FCB

  根据路径名检索：

  全路径名：从根开始 \A\B\C\File1

  相对路径：从当前目录开始 C\File1

- 文件寻址

  根据目录项/FCB中文件物理地址等信息，计算出文件中任意记录或字符在存储介质上的地址

目录文件实现时的改进

- 提问：如何加快目录检索？

- 一种解决方案：

  目录项分解法：即把FCB分成两部分

  - 符号目录项

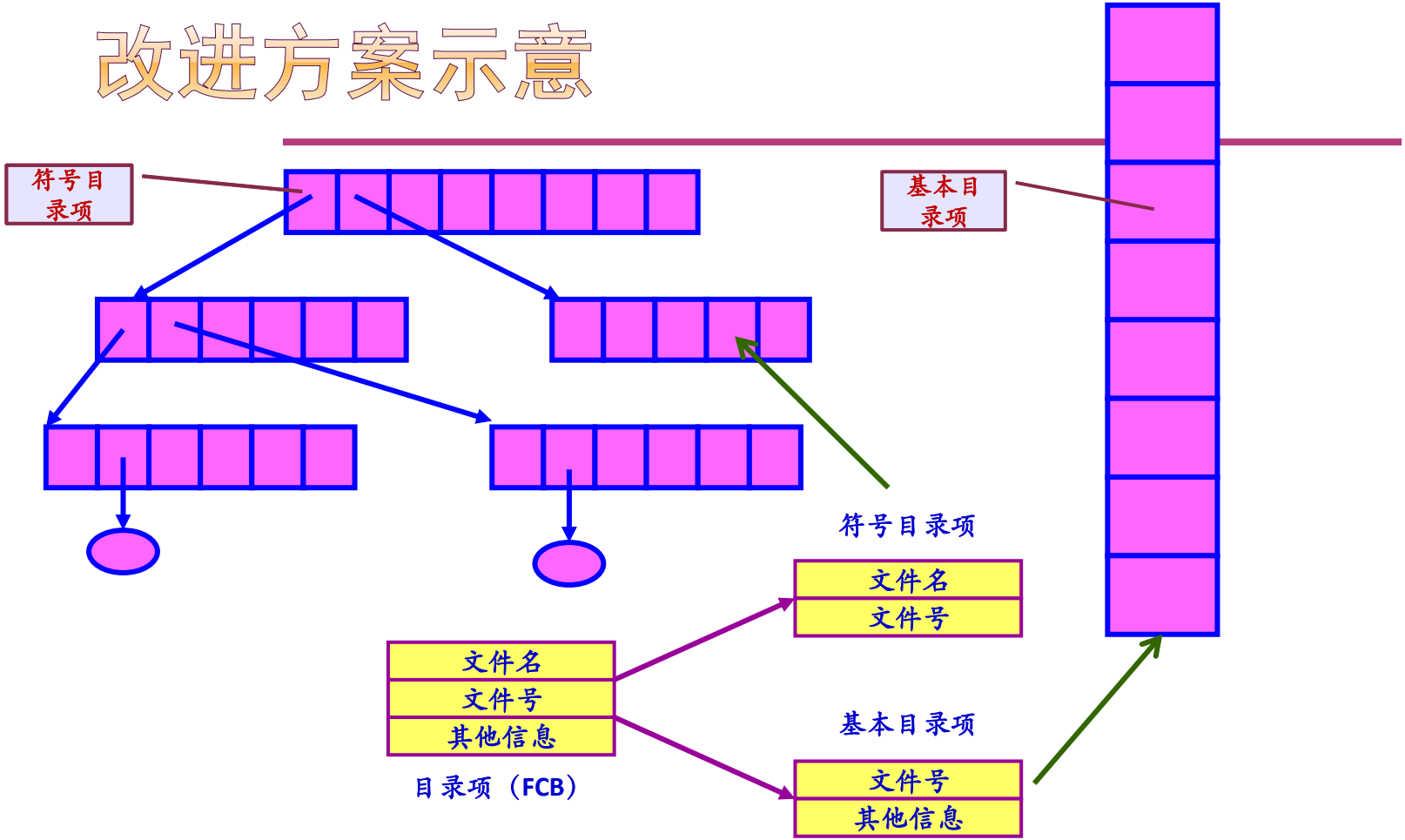
    文件名，文件号

  - 基本目录项

    除文件名外的所有字段

例子：UNIX的I节点（索引节点 或 inode）

改进方案示意



改进后的好处

分解前：占13块
分解后：符号文件占 2 块
基本文件占11块

例子：

假设 一个FCB 占 48 个字节，物理块大小 512 字节

符号目录项占 8 字节（文件名6字节，文件号2字节）

基本目录项占 48 – 6 = 42字节

一个目录文件有128个目录项

查找一个文件的平均访盘次数：

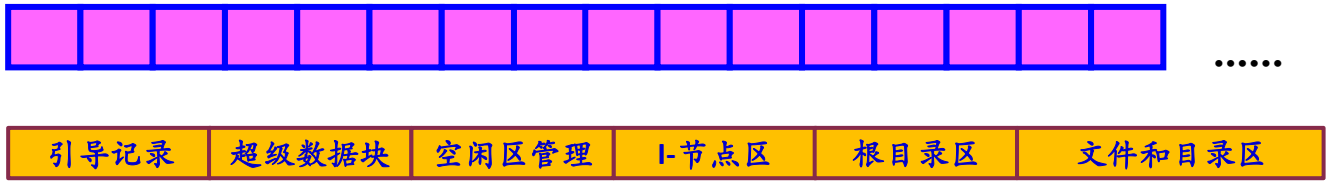
分解前：7次

分解后：2.5次

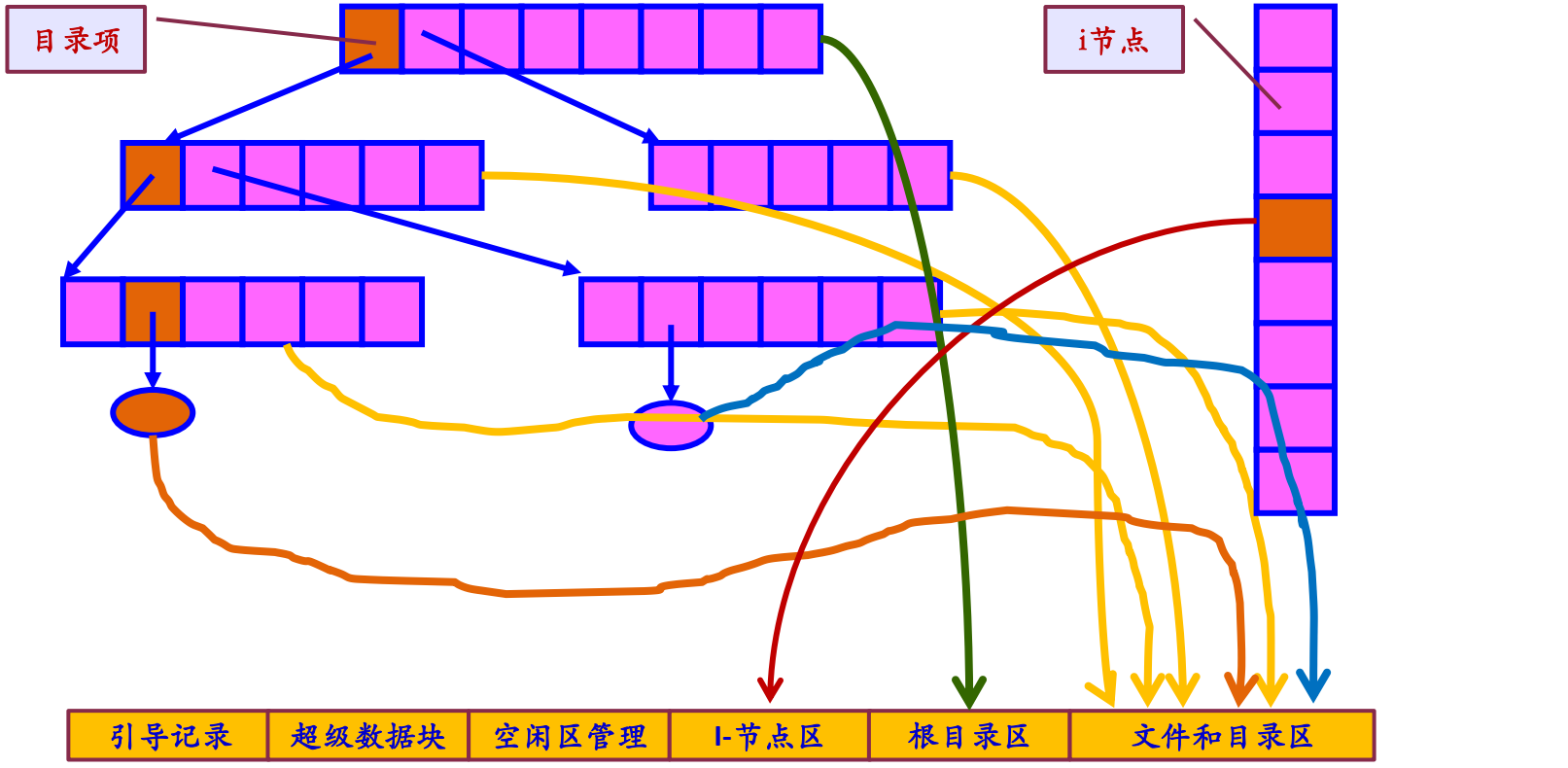
目录文件改进后减少了访盘次数，提高了文件检索速度

UNIX文件系统(1/3)

- FCB = 目录项 + i节点
- 目录项：文件名 + i节点号
- 目录文件由目录项构成
- i节点：描述文件的相关信息
- 每个文件由一个目录项、一个i节点和若干磁盘块构成

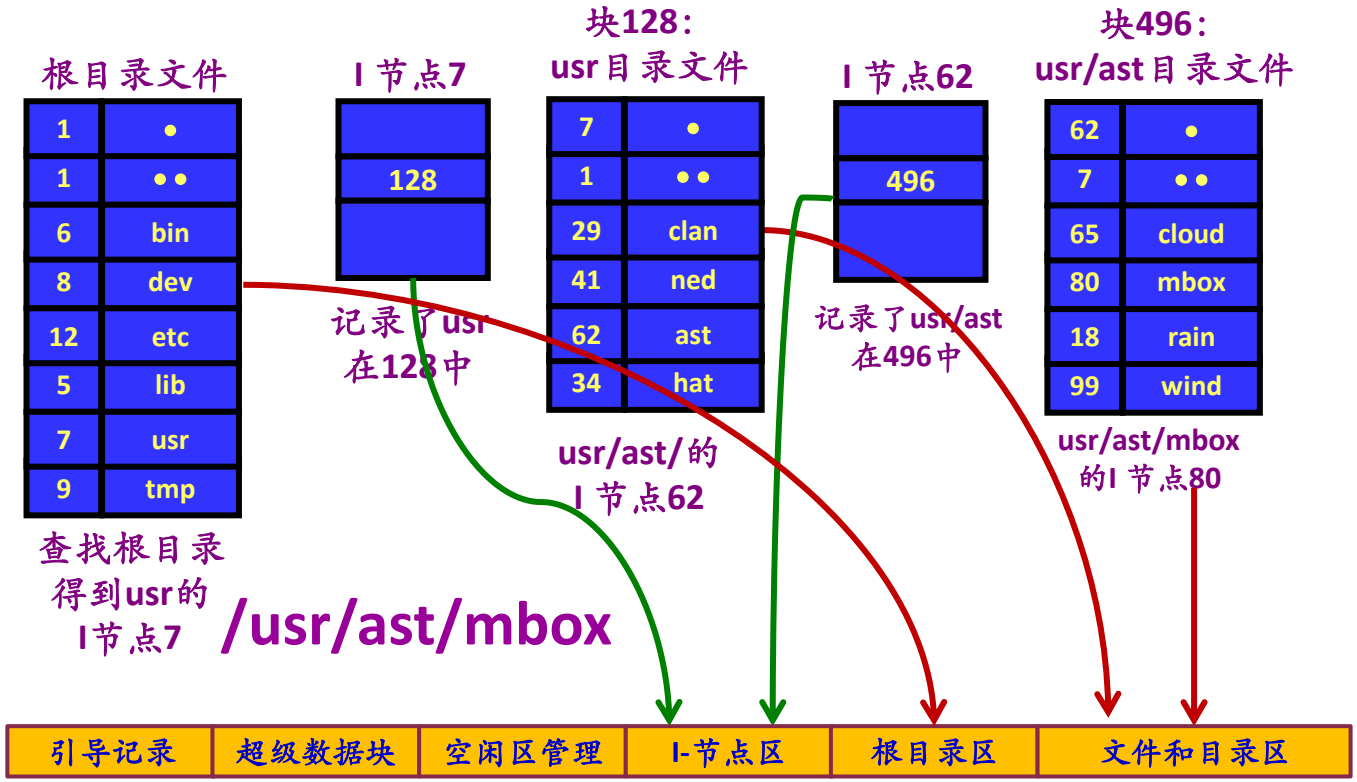


UNIX文件系统(2/3)



UNIX文件系统(3/3)

UNIX的I节点
参考教材
4.5.3



本讲重点

- 掌握文件系统涉及的相关概念
  文件、文件分类、文件的逻辑结构和物理结构
- 掌握文件目录的实现
  文件控制块、目录项、目录文件
- 掌握文件系统的实现
  磁盘布局、内存数据结构
- 了解磁盘空间的管理
  存储介质、扇区、物理块、簇

本周要求

- 重点阅读教材

  第4章相关内容：4.1、4.2、4.3、4.5.3

- 重点概念

文件　文件系统　UNIX文件分类　文件逻辑结构
存储介质(磁盘)　物理块(块、簇)　文件物理结构
文件控制块FCB(文件属性)　文件目录　目录项　目录文件
磁盘上文件系统的布局　内存中数据结构
磁盘空间管理(位图、空闲块表、成组链接法)
目录项分解法

THANKS

The End