

# 第9章 文件系统

- 定义了磁盘上储存文件的方法、数据结构。
- 操作系统组织、存取和保存信息的重要手段。
- 每种操作系统都支持自己的文件系统
  - **Windows**: FAT16、FAT32、NTFS、CDFS、UDF
  - **LINUX**: ext2、ext3、ReiserFS和btrfs等。

# 文件系统模型

文件系统接口	
对对象操纵和管理的软件集合	逻辑文件系统层
	基本I/O管理程序层（文件组织模块）
	基本文件系统层（物理I/O层）
	I/O控制层（设备驱动程序）
对象(文件、目录及磁盘存储空间)及其属性说明	

**I/O控制层：**负责启动I/O操作及处理设备发来的中断信号。

**逻辑文件系统层：**处理文件及记录的相关操作（访问、保护及目录操作）。

**基本I/O管理程序层：**完成大量与磁盘I/O有关的工作（选择



# 章节安排

**9.1 文件系统的概念**

**9.2 文件的逻辑结构与存取方法**

**9.3 文件的物理结构与存储设备**

**9.4 文件目录管理**

**9.5 文件存储空间管理**

# 9.1 文件系统的概念

- 计算机为什么需要文件？
  - 数量原因——内存无法保存大量信息
  - 时间原因——内存无法永久保存信息
  - 应用原因——内存无法方便实现共享



# 文件系统的功能

- 管理磁盘等辅助存储空间，实施分配与回收。
- 在文件的逻辑结构与物理结构间建立起映射关系
  - **文件逻辑结构**：从用户使用角度组织的文件。
  - **文件的物理结构**：从系统存储角度组织的文件。
- 支持文件的共享和保护。



# 文件系统的特点

- **友好的用户接口**：用户只对文件进行操作，而不管文件结构和存放的物理位置。
- **对文件按名存取**。
- 文件可以被多个用户或进程所**共享**。
- **可存储大量信息**。



# 文件的分类

## ■ 按性质和用途

### ■ 系统文件

- 只允许用户通过系统调用来执行，而不允许读写和修改。
- 由操作系统核心和各种系统应用程序和数据组成。

### ■ 库文件

- 允许用户读取、执行，不允许修改。
- 由各种标准子程序库组成。如 C 语言子程序库。

### ■ 用户文件

- 用户委托文件系统保存的文件。由文件的所有者或所有者授权的用户才能使用。
- 由源程序、目标程序、用户数据库等组成。



# 文件的分类

## ■ 按组织形式

### ■ 普通文件

- 系统文件、用户文件和库函数文件、实用程序文件。
- 组织格式为系统中所规定的最一般格式，例如由字符流组成的文件。

### ■ 目录文件

- 由文件的目录信息构成的特殊文件。
- 文件的内容不是各种程序或应用数据，而是用来检索普通文件的目录信息。

### ■ 特殊文件

- 在 UNIX 系统中，所有输入、输出设备都被看作特殊文件。
- 在使用形式上与普通文件相同，如查找目录、存取操作等





# 文件的分类

- 逻辑结构
  - 流式、记录式、树
- 物理结构
  - 顺序文件（数据连续放）、串联（链接）文件；索引文件
- 信息流向
  - 输入文件、输出文件、以及输入/ 输出文件等。
- 文件的保护级别
  - 只读文件、读写文件、可执行文件和不保护文件等。



# 文件分类的目的

**便于系统对不同的文件进行不同的管理，  
提高处理速度、起到保护与共享的作用。**

**如：系统文件在读入内存时将被放在内存的某一固定区且享受高的保护级别；**

**用户文件只有在内存用户可用区分得相应的空闲区之后才能被调入内存。**



## 9.2 文件的逻辑结构与存取方法

### ■ 文件组织的两种观点

#### ■ 用户观点（逻辑结构）

- 内容的组织形式
- 为用户提供一种结构清晰、使用简便的逻辑组织。独立于物理特性，容易检索和修改。

#### ■ 实现观点（物理结构）

- 数据的存储形式
- 目的是选择一些性能良好、设备利用率高的物理结构。系统按此和外部设备打交道，控制信息的传输。



## 9.2.1 逻辑结构

- **选取文件的逻辑结构应遵循的原则**
  - **访问快速;**
  - **易于修改;**
  - **节约存储空间;**
  - **维护简单;**
  - **可靠性。**



# 文件的逻辑结构

- 字符流式的无结构文件
  - 最简单、最原始的逻辑结构
  - 缺点：增删改查困难
- 记录式的有结构文件
  - 结构化的文件内容组织
  - 曾经流行一时，已经落伍
- 树
  - 最灵活的逻辑结构
  - 便于增量存储和各种操作



# 文件的逻辑结构

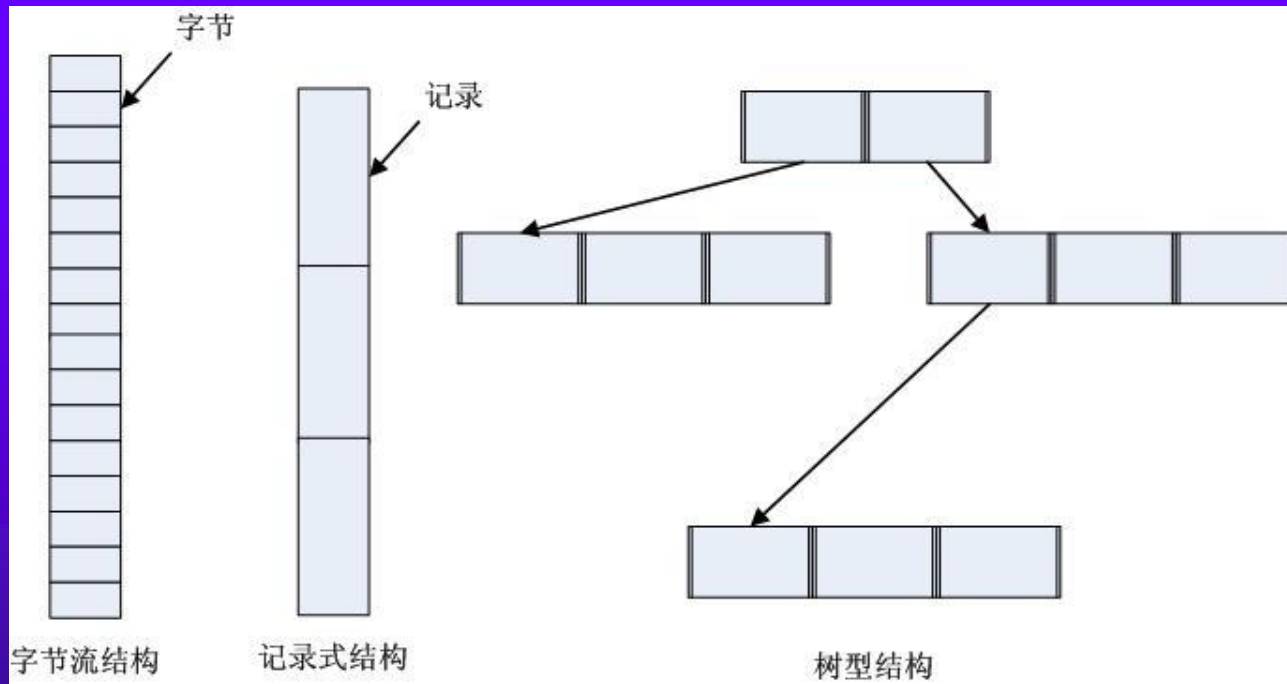


图 三种文件逻辑结构



# 无结构（流式）文件

- 相关信息的有序集合，有一定意义的字符流。长度以字节为单位。
- 大量的源程序、可执行文件、库函数等采用。
- 访问：读写指针来指出下一个要访问的字符。
- 好处
  - 操作系统管理简单，见到的就是字节，其任何意义只在用户程序中解释。
  - 用户可以方便地对其进行操作

**UNIX、MS-DOS、Windows采用**



# 记录式文件

- 由若干个记录组成;
  - **记录**: 一个具有特定意义的信息单位;
  - **主关键字**: 能够唯一地标识记录的数据项
- 
- **五种基本组织**
    - 堆、顺序、索引、索引顺序、直接或散列。
  - **实际系统采用的是其中某个或组合。**





# B 树

- 文件由一棵记录树组成;
- 记录长度不等;
- 大文件或大型的数据库(数据库中组织索引的标准方法)。



## 9.2.3 存取方法

### ■ 顺序存取法

#### ■ 按照文件的逻辑地址

- **记录式文件**：按记录的排列顺序。例如，若当前读取的记录为 $R_i$ ，则下一次读取的记录被自动地确定为 $R_{i+1}$ 。
- **字符流文件**：当前读写指针的变化：在存取完一段信息之后，读写指针自动加或减去该段信息长度。

### ■ 随机存取法(直接存取法)

- 允许用户根据记录的编号来存取文件的任一记录，或者是根据存取命令把读写指针移到相应的位置

### ■ 按键存取法



# 存取方法

## ■ 按键存取的实现

- 用在复杂文件系统，特别是数据库管理系统
- 先搜索到记录的逻辑位置，转换到相应的物理地址后进行存取
- 对文件的搜索
  - 键的搜索：用户给定所要搜索的键名和记录，确定该键名在文件中的位置
  - 记录的搜索：在含有该键的所有记录中查找出所需要的记录。



## 9.3 文件的物理结构与存储设备

- **文件的物理结构：**文件在存储设备上的存放方法。
  - 决定了文件信息的**存储位置**。
  - 决定了文件的**逻辑块号**（逻辑地址）**到物理块号**（物理地址）的变换。



# 物理块和逻辑块

- 以“块”作为分配和传送信息的基本单位
  - 物理块：文件的存储设备划分为若干个大小相等的块，长度为512或1024字节。
  - 逻辑块：把文件信息划分为与物理块大小相等的块



## 9.3.1 文件的物理结构

连续结构（顺序结构）

链接（串联）结构

索引结构

# 连续结构（顺序结构）（1）

- 逻辑上连续的文件信息依次存放到连续的物理块。
- 目录项： 始址、总块数、最后一块字节数。

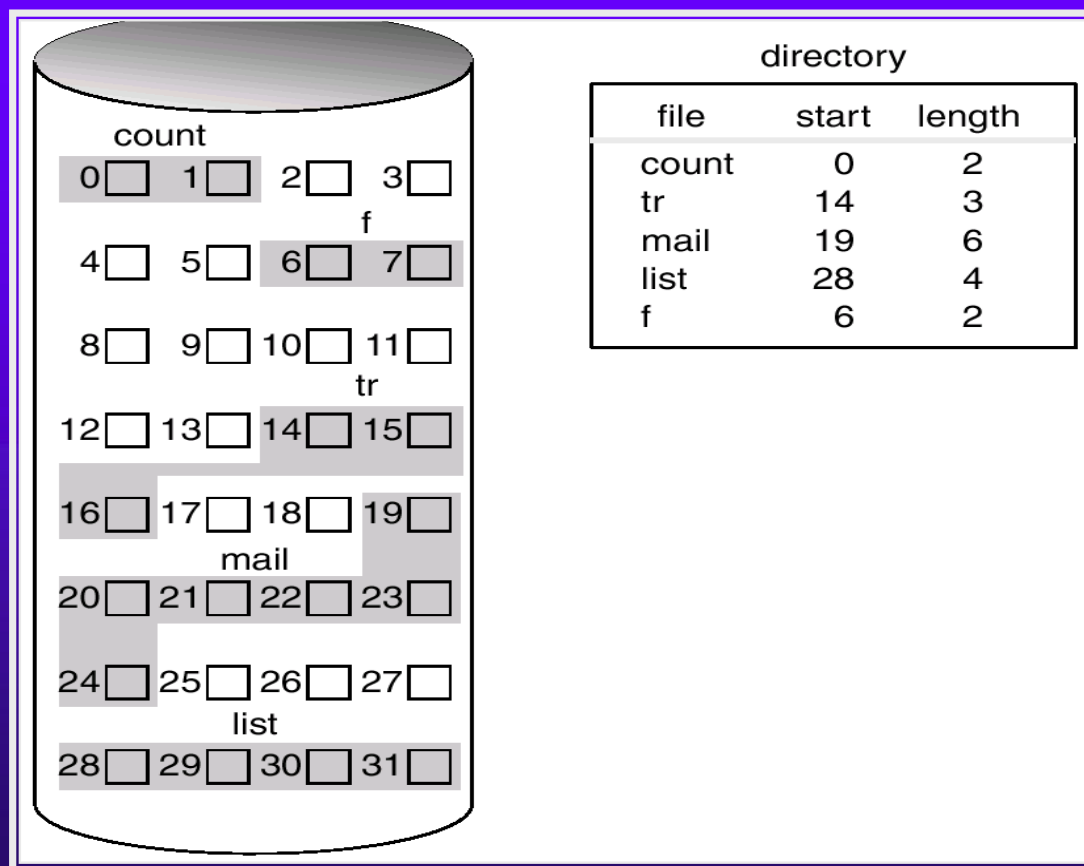


图 11-5 磁盘空间的连续分配



# 连续结构（2）

## ■ 优点

- 知道文件的起始地址和长度，就能很快地进行存取。

## ■ 缺点

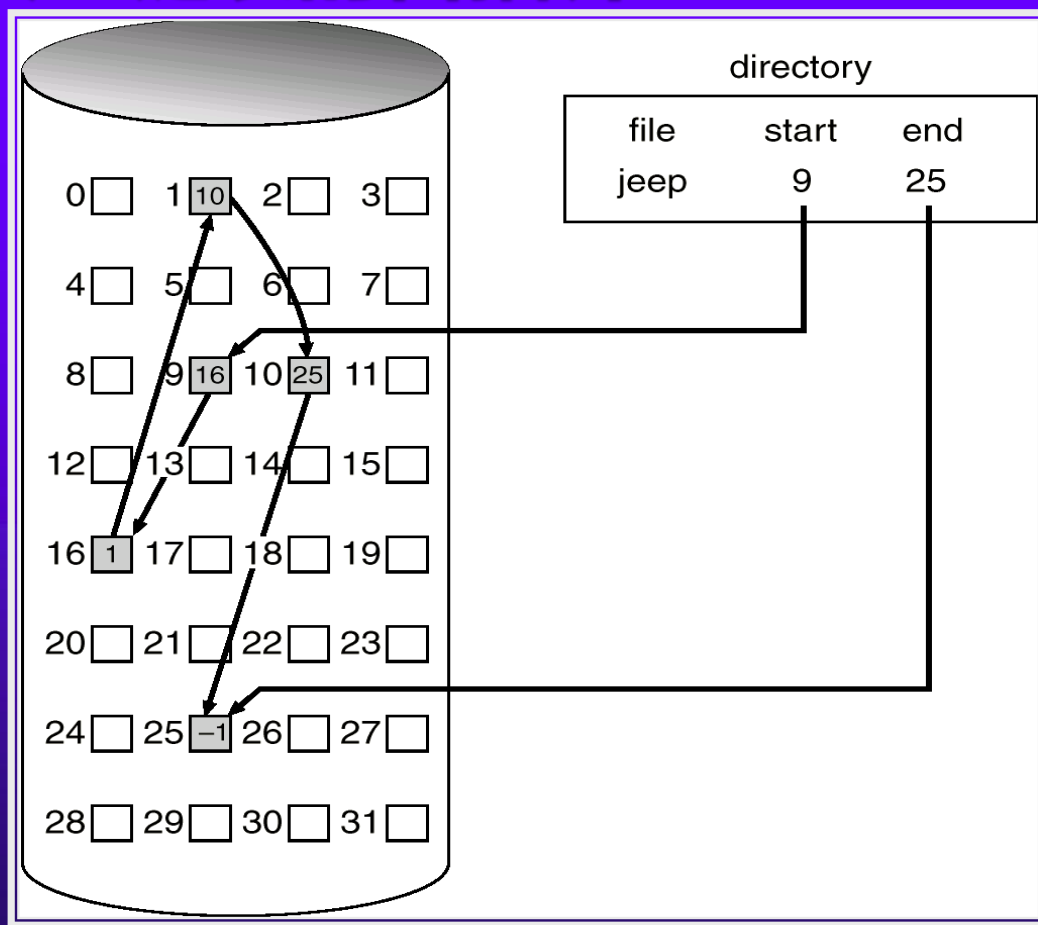
- 建立文件时确定文件长度，且以后不能动态增长。在删除文件的某些部分后，会留下无法使用的零头空间。
- 不宜存放用户文件、数据库文件等经常被修改的文件。
- 用于早期的文件系统，当今的CD-ROM、DVD和其他一些**一次性写入**的光学存储介质中。





# 链接（串联）结构（1）

- 文件信息存放在不连续物理块中，通过指针连接
- 目录项：链表的首指针



块结构

指针

数据

图 11-6 磁盘空间的链接分配

# 链接（串联）结构（2）

## ■ 优点

- 提高了磁盘空间利用率
- 有利于文件动态扩充：插入和删除

## ■ 缺点

- 搜索效率较低
- 适合顺序存取方法、不适于随机存取
- 为读取某个信息块需要更多的寻道次数和寻道时间

DOS系统采用文件分配表（**FAT**）的形式，将所有指针集中到FAT，缓存在内存中。



# 索引结构 (1)

- 文件的信息存放在若干不连续物理块中
- 每个文件建立一张索引表
  - 表项：逻辑块号和对应的物理块号
- 目录项：索引表的物理地址

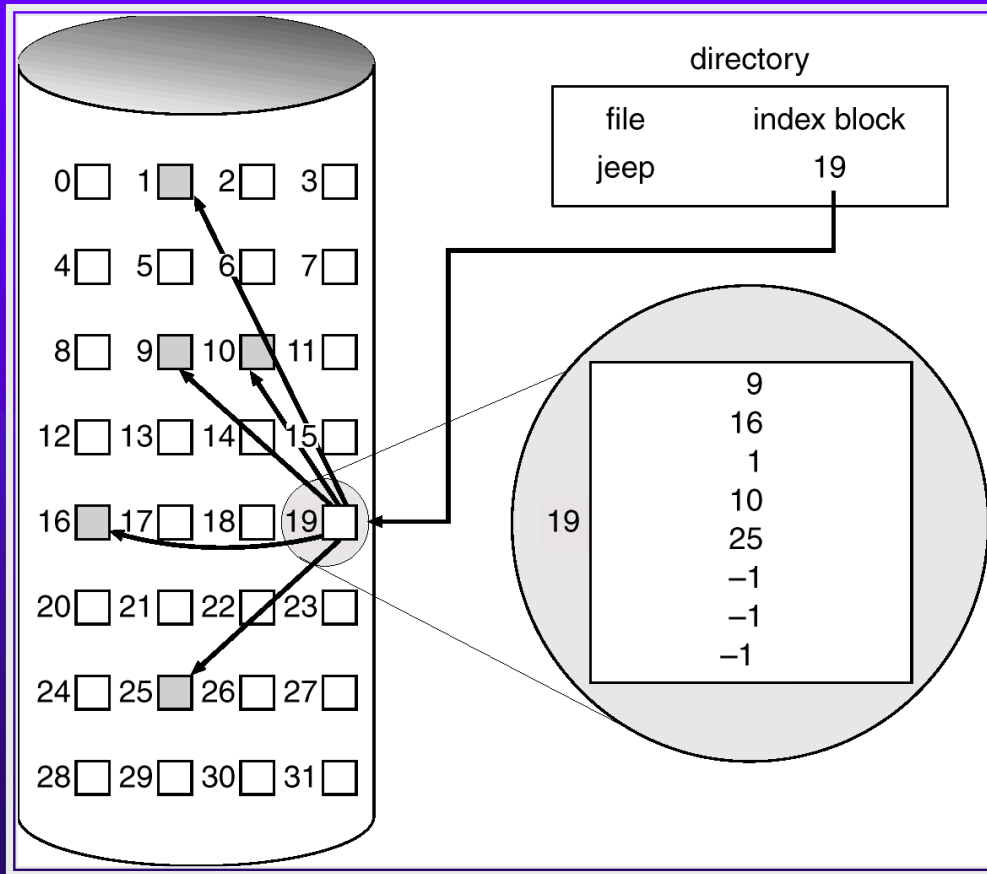


图 11-8 磁盘空间的索引分配

# 索引结构（2）

- 问题：索引表的大小超过了一个物理块？
  - 要决定索引表的物理存放方式，不利于索引表的动态增加；
  - 二重索引
    - 索引表所指的物理块中存放的是装有文件信息的物理块地址



# 索引结构 (3)

- 在实际系统中，索引表的
  - 头几项设计成直接寻址方式：所指的物理块中存放的是文件信息；
  - 后几项：设计成多重索引
  - 在文件较小时，可利用直接寻址方式找到物理块号而节省存取时间
- Linux：多级索引结构



# 多级索引示例

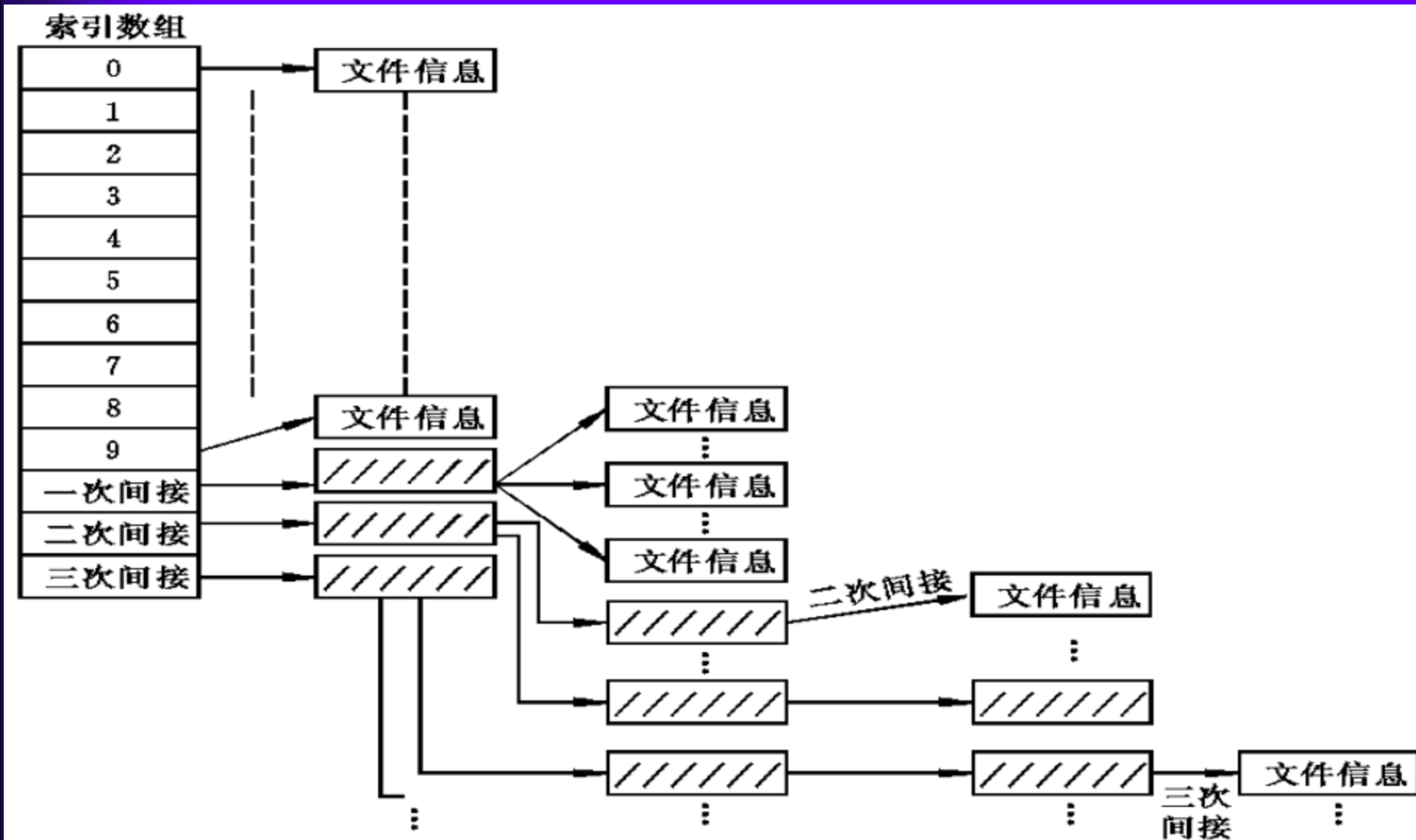


图 Linux系统ext2文件多级索引结构

# 索引结构（4）

## ■ 优点

- 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；
- 充分利用外存空间。

## ■ 缺点

- 索引表增加了存储空间开销
- 在存取文件时，至少访问磁盘二次以上

## ■ 改进的方法

- 对文件进行操作之前，预先将索引表放入内存。
  - 直接在内存通过索引表确定物理地址块号，访问磁盘的动作只需要一次。

最普遍的一种物理结构



## 9.3.2 文件存储设备

### ■ 顺序存取设备

- 前面的物理块被存取访问后，才能存取后续物理块。
- 磁带最典型
  - 为了在存取一个物理块时让磁带机提前加速和不停止在下一个物理块的位置上，两相邻物理块之间设计有一个间隙。
- 特点
  - 容量大
  - 顺序存取方式时存取速度快，按随机方式或按键存取方式，效率低。
  - 适合存放连续文件结构且文件大小确定，修改、增删比较少的文件

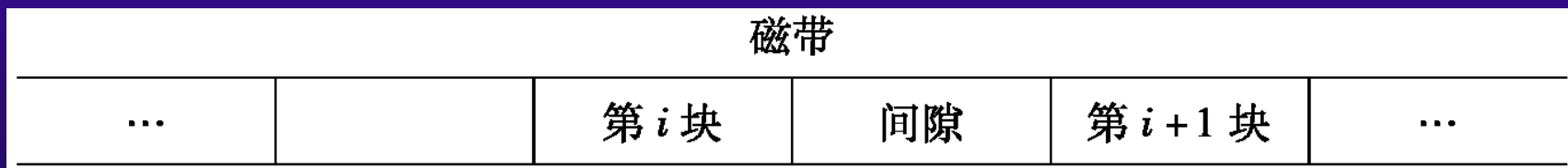


图 磁带的结构





# 文件存储设备

## ■ 直接存取设备

- 磁盘最典型
- 允许直接存取磁盘上的任意物理块。
- 信息记录在磁道上，多个盘片，正反两面都用来记录信息，每面一个磁头
- 柱面：所有盘面中处于同一磁道号上的所有磁道组成
- 物理地址形式
  - 磁头号（盘面号）
  - 磁道号（柱面号）
  - 扇区号

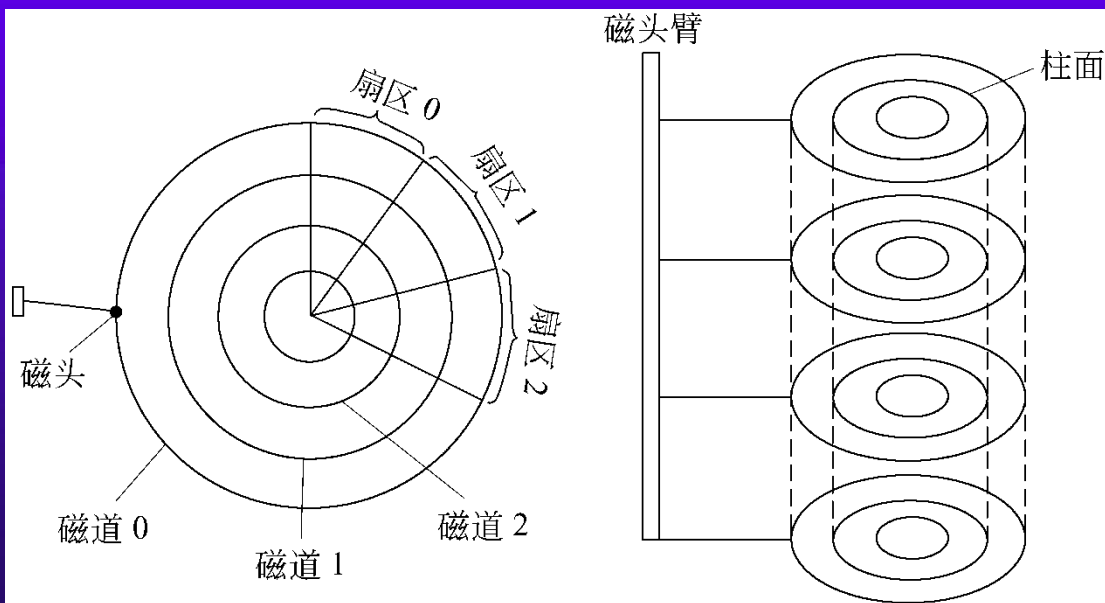


图 磁盘的结构

# 存储设备、存储结构、存取方式间的关系

存储设备	磁 盘			磁 带
存储结构	连续文件	串联文件	索引文件	连续文件
存取方式	顺序、随机	顺序	顺序、随机	顺序



## 9.4 文件目录管理

### 9.4.1 文件的组成

### 9.4.2 目录项的内容

### 9.4.3 目录结构



## 9.4.1 文件的组成

### ■ 文件说明（文件控制块FCB）

#### ■ 管理文件所需所有信息

- ◆ 文件名、与文件名对应的文件内部标识、文件信息第一个物理块的地址。

- 关于文件逻辑结构、物理结构、存取控制和管理信息（访问时间、以及记账信息等）。

#### ■ 文件存在的标志，据此完成对文件的创建、检索以及维护。

#### ■ 组成目录文件。

### ■ 文件体

#### ■ 文件本身的信息，记录式文件或字符流式文件。



## 9.4.2 目录项的内容

### ■ 直接法

目录项 = 文件名 + FCB

- MS-DOS/Windows

### ■ 间接法

目录项 = 文件名 + FCB的地址（索引号）

- Unix (inode)、Linux

### ■ 目录的主要功能

- 文件各类属性的保存
- 从路径名到文件物理位置的转换



## 9.4.3 目录结构

### 单级目录、二级目录和多级目录。

#### ■ 单级目录结构

- 所有文件建立一张目录表，每个文件占有一项，存放文件说明信息。
- 目录表存放在存储设备的某固定区域，在系统启动时或需要时，调入内存。
- 不足
  - 搜索效率低
    - 查找一个文件的范围是整个目录文件中的所有目录项。文件越多，速度越慢
  - 不允许文件重名。只适用于单用户环境。



# 两级目录结构

## ■主目录表 (MFD)

- 整个系统一个
- 给出用户名、用户子目录UFD的物理位置、存取控制信息
- 起间接指示作用

## ■用户目录表 (UFD)

- 每个用户一个
- 包含该用户的所有文件的FCB。



# 两级目录结构

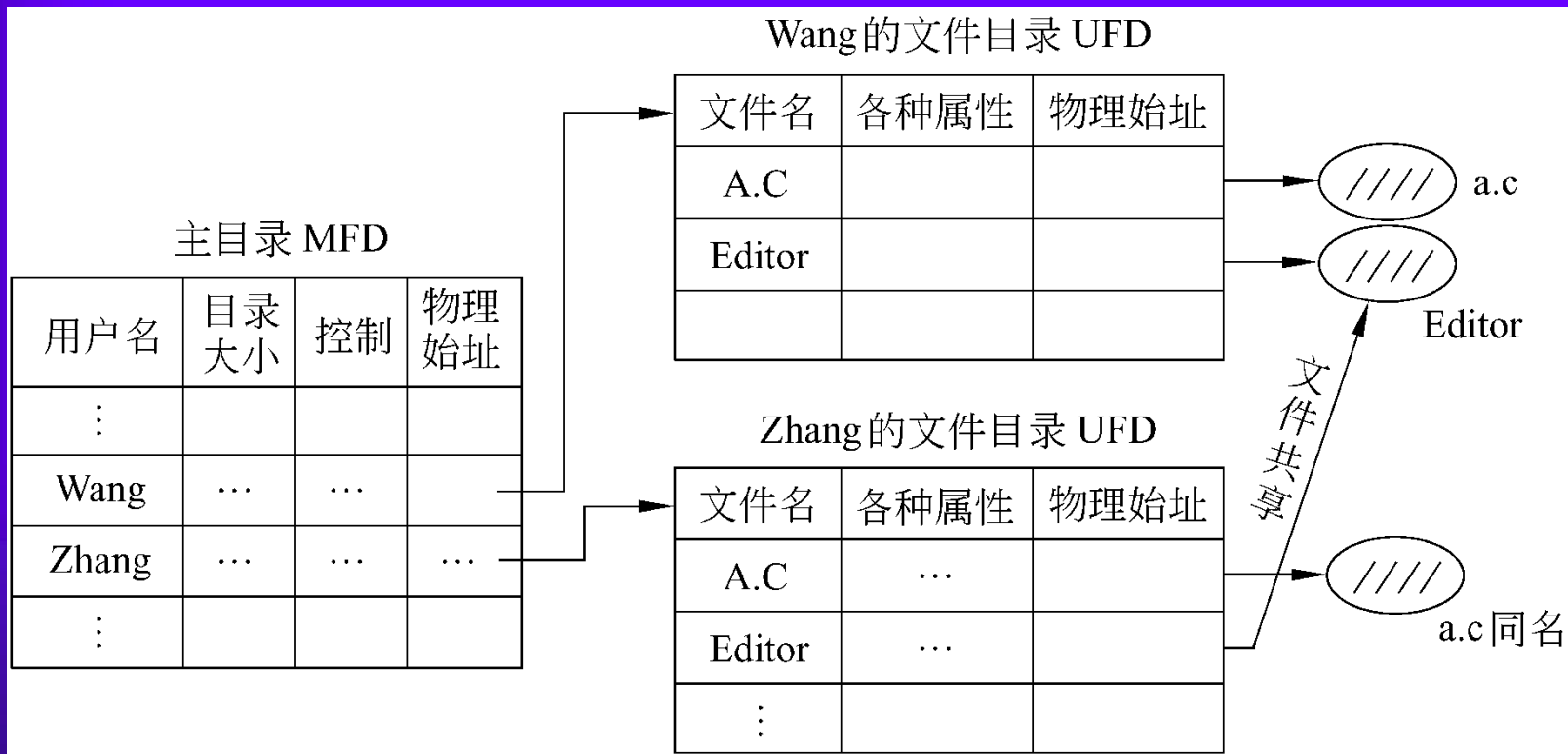


图 二级目录结构



# 两级目录结构

## ■ 优点

### ■ 解决文件重名问题

首先从主目录 MFD 开始搜索，两个不同的用户具有同名文件，系统也能区分。

### ■ 较高的搜索速度

- 单级目录表的长度为  $n$ ，搜索时间与  $n$  成正比；
- 二级目录： $m$  个子集（用户个数）， $r$  是每个用户的文件的个数，搜索时间与  $m + r$  成正比。一般有  $m + r \leq n$ 。

### ■ 支持文件共享

## ■ 缺点

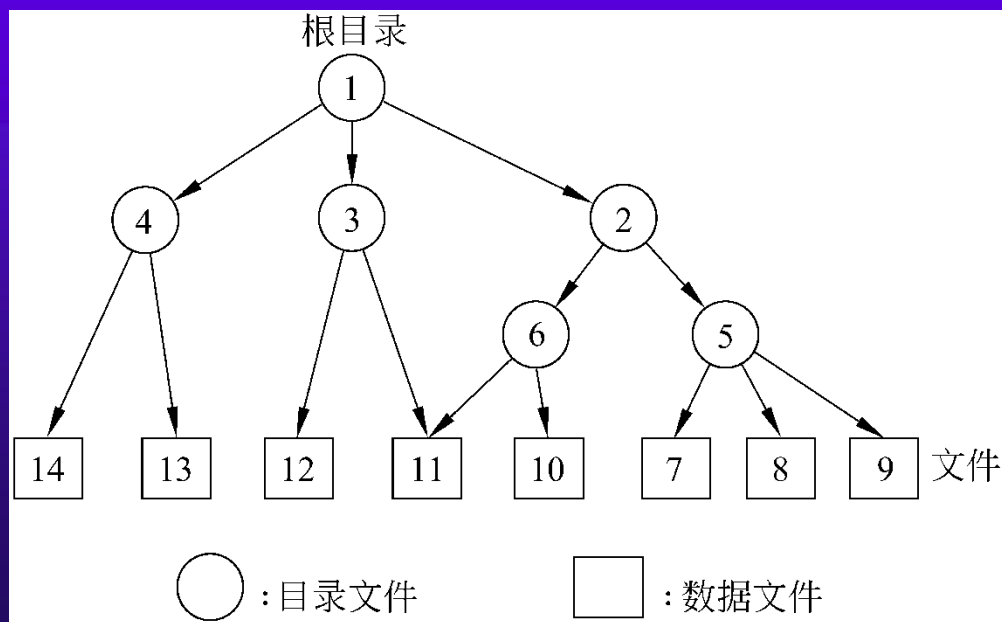
- 不太适合大量用户和大量文件的大系统。

早期的多用户系统



# 树型目录结构（多级目录）

- 第一级为系统目录，是树的根结点，根目录
- 最低一级的物理块中装有文件信息，
- 其它每一级目录：下一级目录或文件的说明信息。
- 产生于UNIX操作系统，现代操作系统广泛采用。



# 树型目录结构（多级目录）

## ■ 特点

### ■ 层次清楚

- 由于分支结构，不同性质、不同用户的文件可以构成不同的子树，便于管理。
- 不同层次、不同用户的文件可以被赋予不同的存取权限，有利于文件的保护

### ■ 解决了文件重名问题

- 只要在同一子目录下的文件名不重复，就不会引起混乱。

### ■ 查找搜索速度快

- 每次只查找目录的一个子集



## 9.5 文件存储空间管理

- 保证多个用户共享文件存储设备，实现文件的按名存取。
- 空闲块的组织、分配与回收等。
- 空闲块管理方法
  - 空闲文件目录 (索引)
  - 空闲块链 (链)
  - 位示图 (连续的矩阵)



# 空闲块管理方法—空闲文件目录

- 放在一个物理块中
- 表项：一个由多个空闲块构成的空闲区
  - 空闲块个数、第一个空闲块号等。
- 动态分区的分配和释放算法，稍加修改
- 适用于连续文件结构



# 空闲块管理方法—空闲块链

- 较常用
- 把文件存储设备上的所有空闲块链接在一起
- 常用空闲块链的链接方法
  - 按空闲区大小顺序链接
  - 按释放先后顺序链接
  - 按成组链接法



# 空闲块管理方法一位示图法

- 在内存中为每个文件存取设备建一张位示图
- 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
  - “1”：对应的物理块已分配
  - “0”：对应的块未分配

