

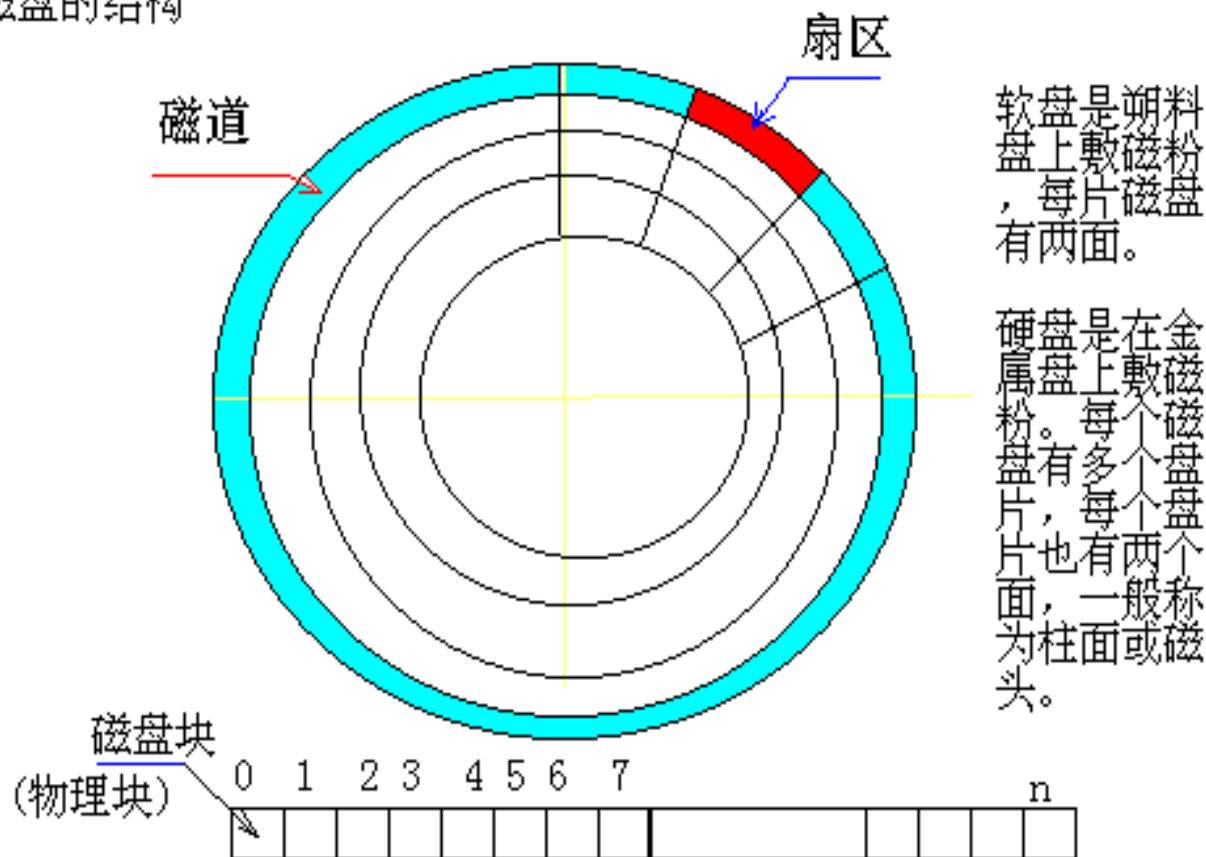
# 第八章 磁盘存储器的管理

# 8.1 外存的组织方式

- ◆ 一个文件存储介质，格式化后就分成许多大小相等的单位——存储块（物理盘块），在现代计算机系统中。
- ◆ 一般来说，每个物理块是一个磁盘的扇区，512字节。并给每个存储块有个编号，称为物理块号。
- ◆ 常用的外存分配方式有连续分配，链接分配和索引分配三种。

# 文件存储空间的分配——文件的物理结构

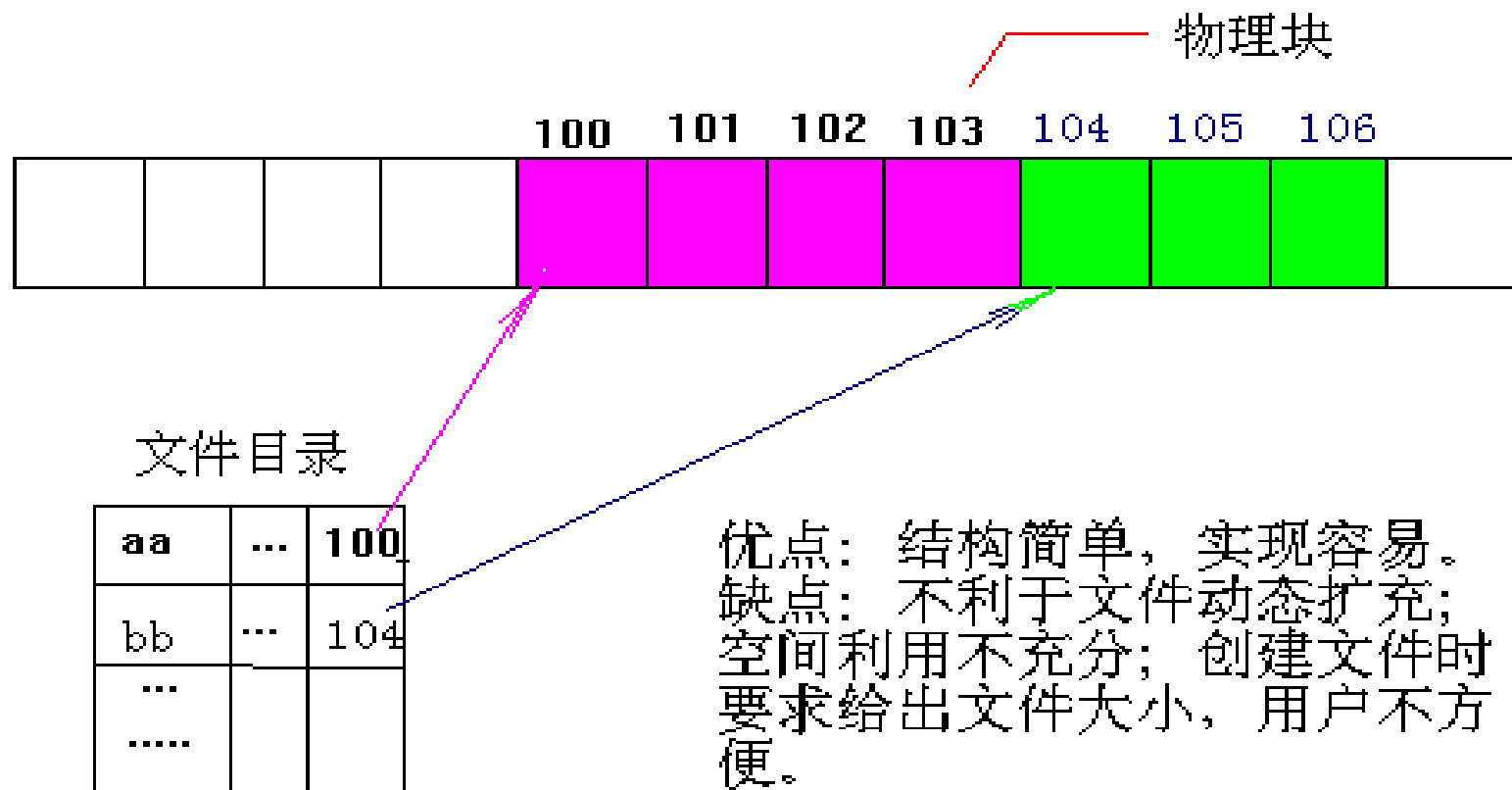
磁盘的结构



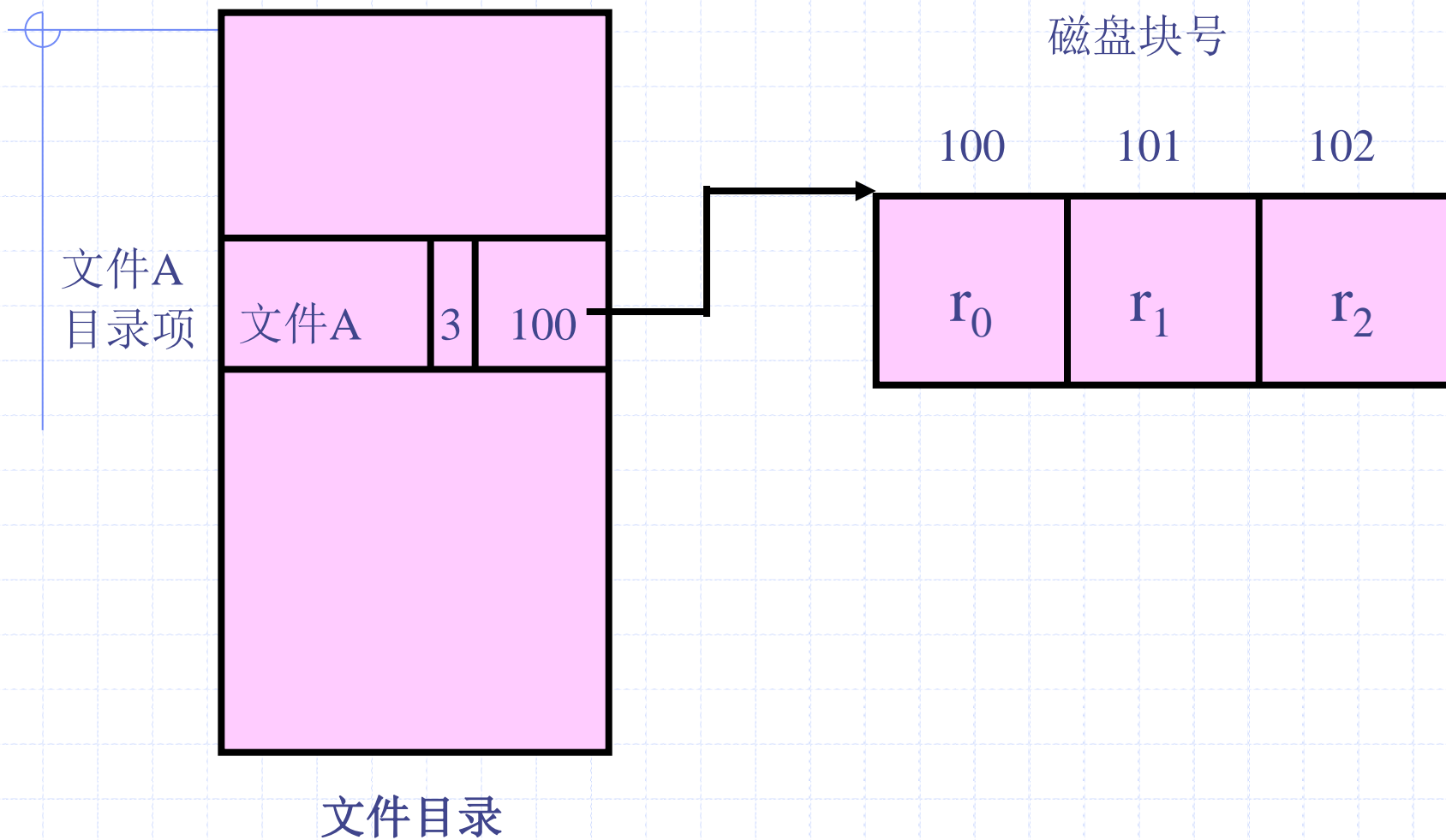
## 8.1.1 连续组织方式

### 1. 连续文件

一个连续文件是由一组分配在磁盘连续区域的物理块组成的，



# 1. 连续分配



## 2. 连续分配方式的特点

- ◆ 优点：结构简单，实现容易，不需要额外的开销。
- ◆ 缺点：
  - 用户创建文件时要给出文件的大小；
  - 不利于文件的动态增加和修改；

## 2. 连续分配方式的特点

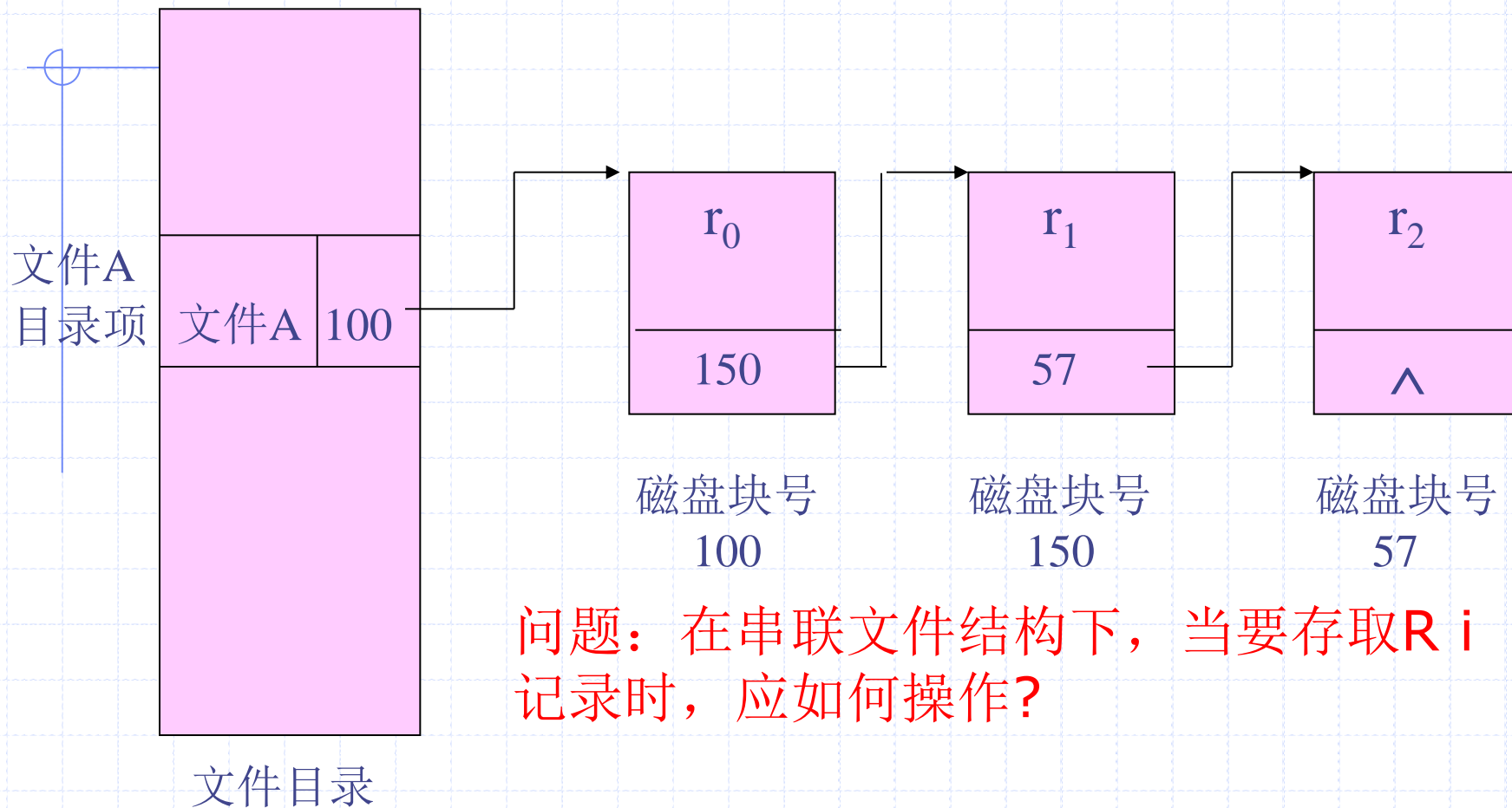
- ◆ 连续分配的优点是在顺序存取时速度较快，一次可以存取多个盘块，改进了I/O性能。
- ◆ 所以，它常用于存放系统文件，因为这类文件往往被从头到尾一次存取。另外，也很容易直接存取文件中的任意一块
- ◆ 例如，要访问从b块开始的第i块，可以直接从b+i块开始读取，因此，连续结构方式支持顺序访问和直接访问。

## 8.1.2 链接组织方式

- ◆ 链接分配的文件也称之为**是串联文件**
- ◆ 串联文件结构是按顺序由串联的块组成的，即文件的信息存于若干块物理块中，每个物理块的最末一个字作为**链接字**，它指出后继块的物理地址。
- ◆ **文件的最后一块的链接字为结束标记“^”，**它表示文件至本块结束。
- 类似数据结构的**链表**



# 链接结构



问题：在串联文件结构下，当要存取 $R_i$ 记录时，应如何操作？

## 链接结构文件的特点

- ◆ 这种文件结构不要求连续存放。
- ◆ 对于记录式文件一块中可包含一个逻辑记录或多个逻辑记录
- ◆ 也可以若干物理块包含一个逻辑记录。

# 链接结构文件的特点

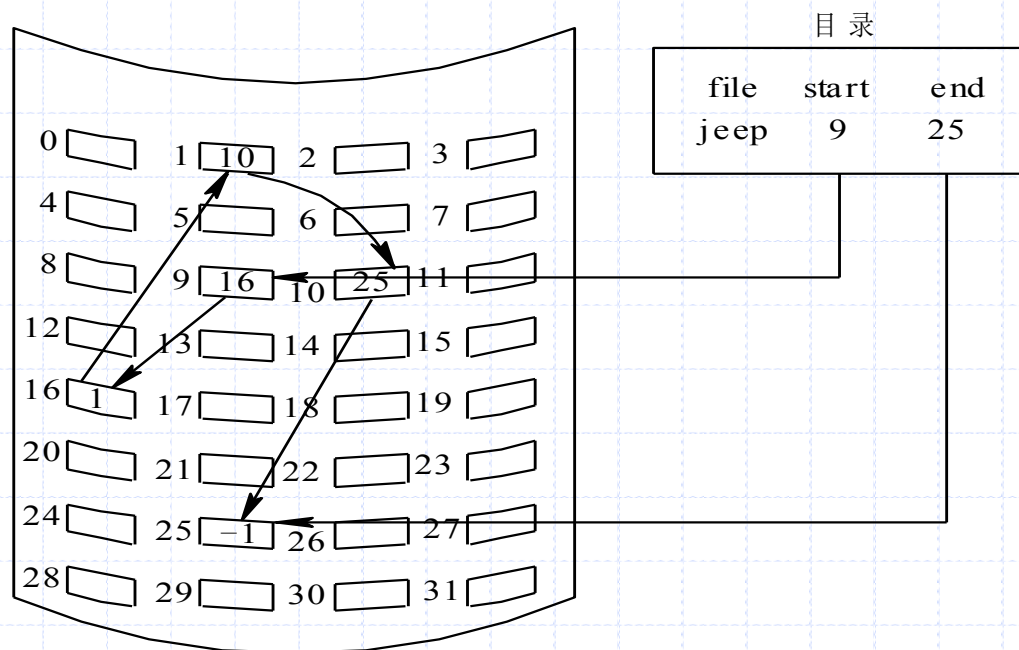
## ◆ 优点：

- ◆ 1. 存储空间利用率高；
- ◆ 2. 文件创建时用户不必指出文件的大小；
- ◆ 3. 文件动态扩充和修改容易。

◆ 缺点：只能按队列中的指针顺序搜索，随机存取效率太低，如果访问文件的最后的内容，实际上是要访问整个文件。

# 链接分配的两种形式:

## 1. 隐式链接



- 在采用隐式链接分配时，在文件目录的每个目录项中，都须含有指向链接文件的第一个盘块和最后一个盘块的指针。
- 而在每个盘块中都含有一个指向下一个盘块的指针。

## 2. 显式链接

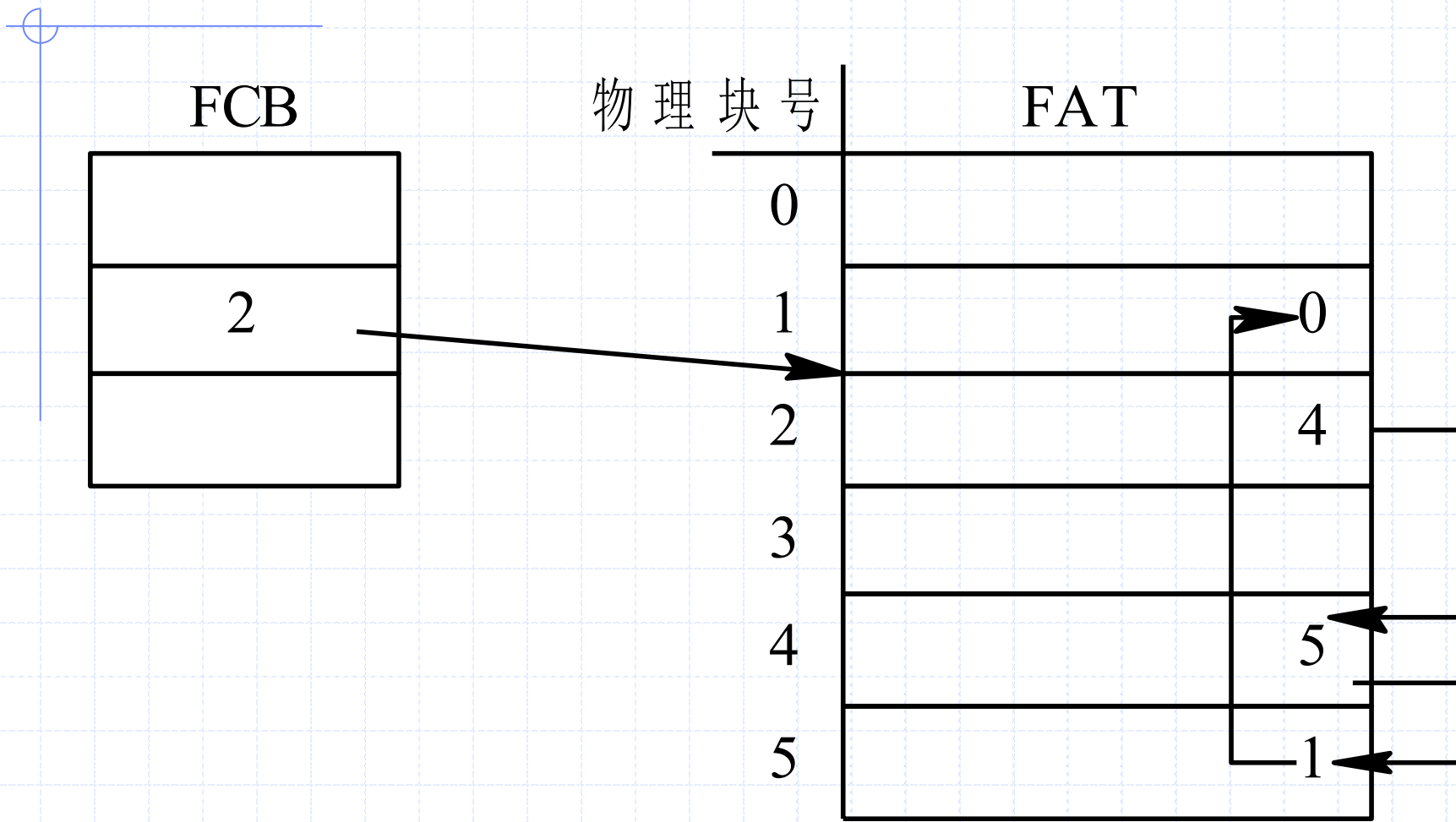


图 8-3 显式链接结构

## 8.1.3 FAT技术

### FAT表

FAT表是为每个逻辑磁盘设置一张，每一个该磁盘空间的物理块都有一项，其中存放的是与该物理块链接的下一个物理块的块号。

**FAT表大小=表项数\*表项大小**

逻辑磁盘空间的物理块数

取决于物理块号占的二进制位数

(FAT表表项的小必须是4位二进制的整数倍。)

例如：1.2MB的软盘，盘块大小512B。其FAT表多大。

物理块数： $1.2\text{MB}/512\text{B}=1.2*2^{11}$

$$2^{11}=1*2^{11}<1.2*2^{11}<2*2^{11}=2^{12}$$

所以，物理块号用12位二进制信息表示

FAT表表项大小占12位二进制信息，即 $12/8=1.5\text{B}$

FAT表大小= $1.5\text{B}*(1.2*2^{11})=3.6\text{KB}$

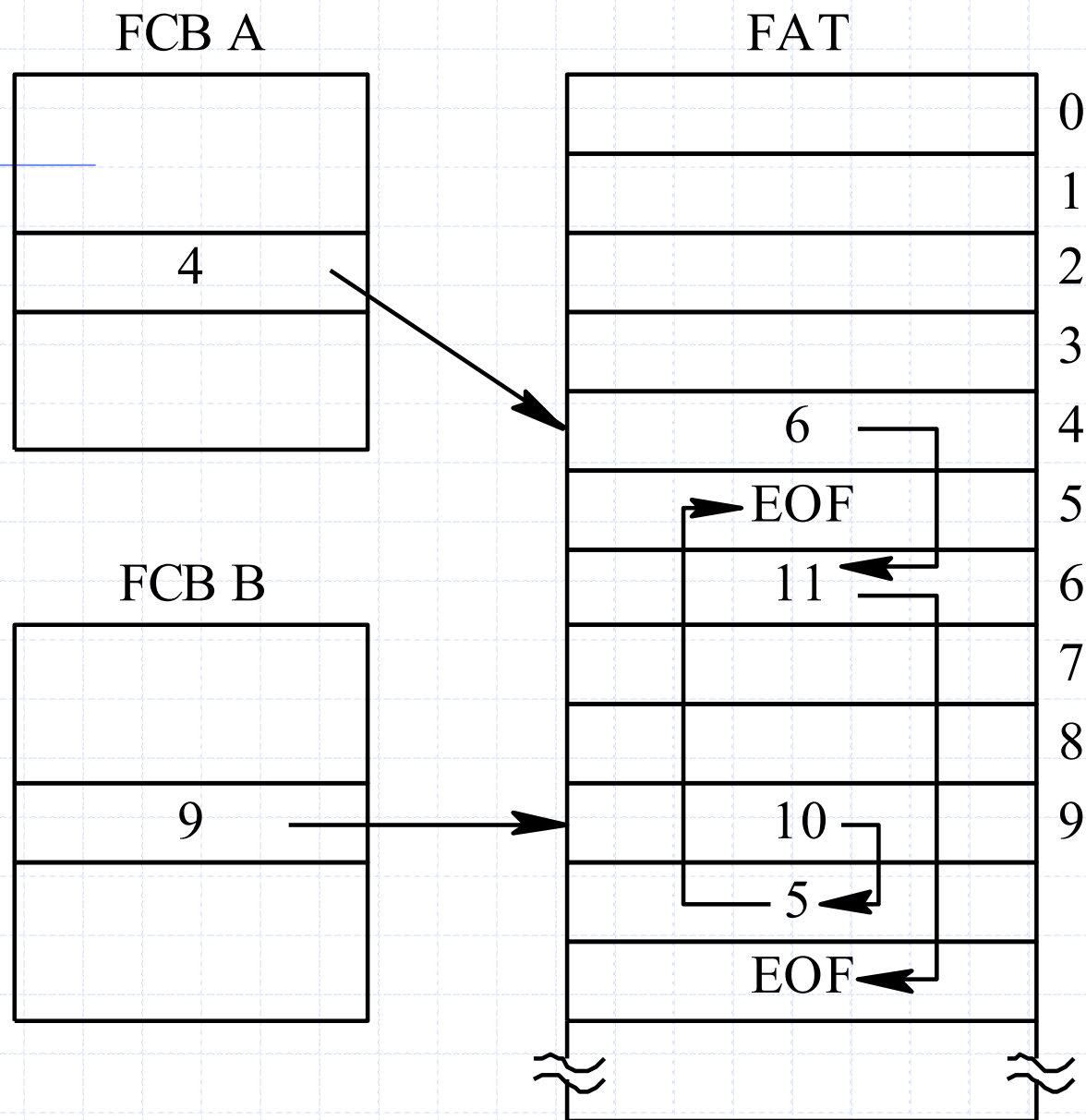


图 6-10 MS-DOS 的文件物理结构



# 例题:

- ◆ 假定盘块的大小是1KB,硬盘的大小为500MB,采用显式链接分配方式时,其FAT需占用多少存储空间? 如果文件A占用硬盘的第11, 12, 16, 14四个盘块,试画出文件A中各盘块的链接情况及FAT的情况。

物理块数:  $500\text{MB}/1\text{KB}=500\text{K块}=500 \times 2^{10}\text{块}$

物理块号用19位二进制信息表示

FAT表表项大小  $20\text{b}=20/8\text{B}=2.5\text{B}$

FAT表大小  $=2.5\text{B} \times 500\text{K}=1250\text{KB}$

# 例题：

◆ 假设盘块大小为1KB，盘块号需占4个字节。请分别解释在连续分配方式，隐式链接分配方式和显式链接分配方式中如何将文件的字节偏移量3500转换为物理块号和块内位移量。

## 1、连续式

$$3500/1024=3\ldots\ldots 428$$

逻辑块号 块内偏移

由文件目录项知道文件的起始块号若为a0,则其所在具体物理块号为a0+3,块内偏移428B。

## 2、隐式链接

$$3500/(1024-4)=3\ldots\ldots 440$$

逻辑块号 块内偏移

由文件目录项知道文件起始块号若为a0,读块号为a0的盘块内容知道和其相链接的下一个盘块为a1,读块号为a1的盘块内容

知道和其相链接的下一个盘块为a2,读块号为a2的盘块内容知道和其相链接的下一个盘块为a3,a3即为其所在的盘块号,块内偏移440B。

## 3、显示链接

$$3500/1024=3\ldots\ldots 428$$

逻辑块号 块内偏移

由文件目录项知道文件的起始块号若为a0,查FAT表，若a0对应表项中存放的为a1，a1对应表项中存放的为a2，a3对应表项中存放的为a3，a3即为其所在的盘块号，块内偏移428B。

## 8.1.3 FAT技术

**FAT12**

**FAT16**

**FAT32**

## 8.1.4 NTFS的文件组织方式

64位磁盘地址

支持长文件名

系统容错功能

保证系统中的数据一致性

## 8.1.5 索引组织方式

- ◆ 链接结构解决了连续分配的外部碎片和大小声明的问题，但是，链接结构不能有效地支持直接访问，这是因为块指针与块一起分布在整个磁盘，且必须按顺序读出。
- ◆ 索引结构解决了这个问题。索引分配要求系统为每个文件建立一张索引表。
- ◆ 索引结构创建的文件也称之为索引文件

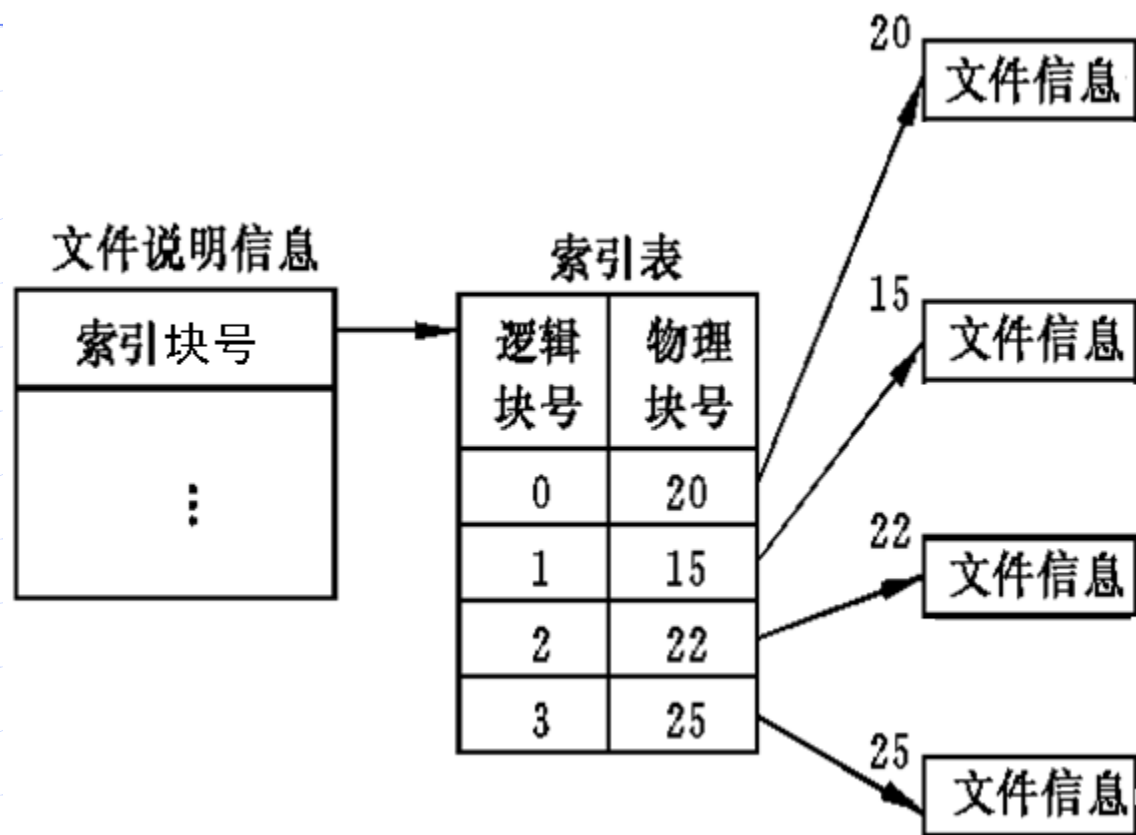
## 8.1.5 索引组织方式

- ◆ 索引结构文件是另一种形式的非连续文件，文件数据存放的存储介质上的物理块号与文件的逻辑块号一一对应，并建立这样对应关系的数据结构——文件索引表

## 8.1.5 索引组织方式

- ◆ 访问文件时，根据文件的逻辑块号查文件索引表，找到对应的物理块号，然后，进行访问。
- 文件由索引表和数据文件构成。这种文件称为索引文件。
- 非常类似于书本，它由书目录和正文组成

# 1.单级索引





例题：某文件系统采用单级索引文件结构，假定文件索引表的每个表项占3个字节，即用3B存放一个磁盘块的块号（磁盘块的大小为512B）。则文件逻辑偏移1000B所在的物理块块号和块内偏移是多少？

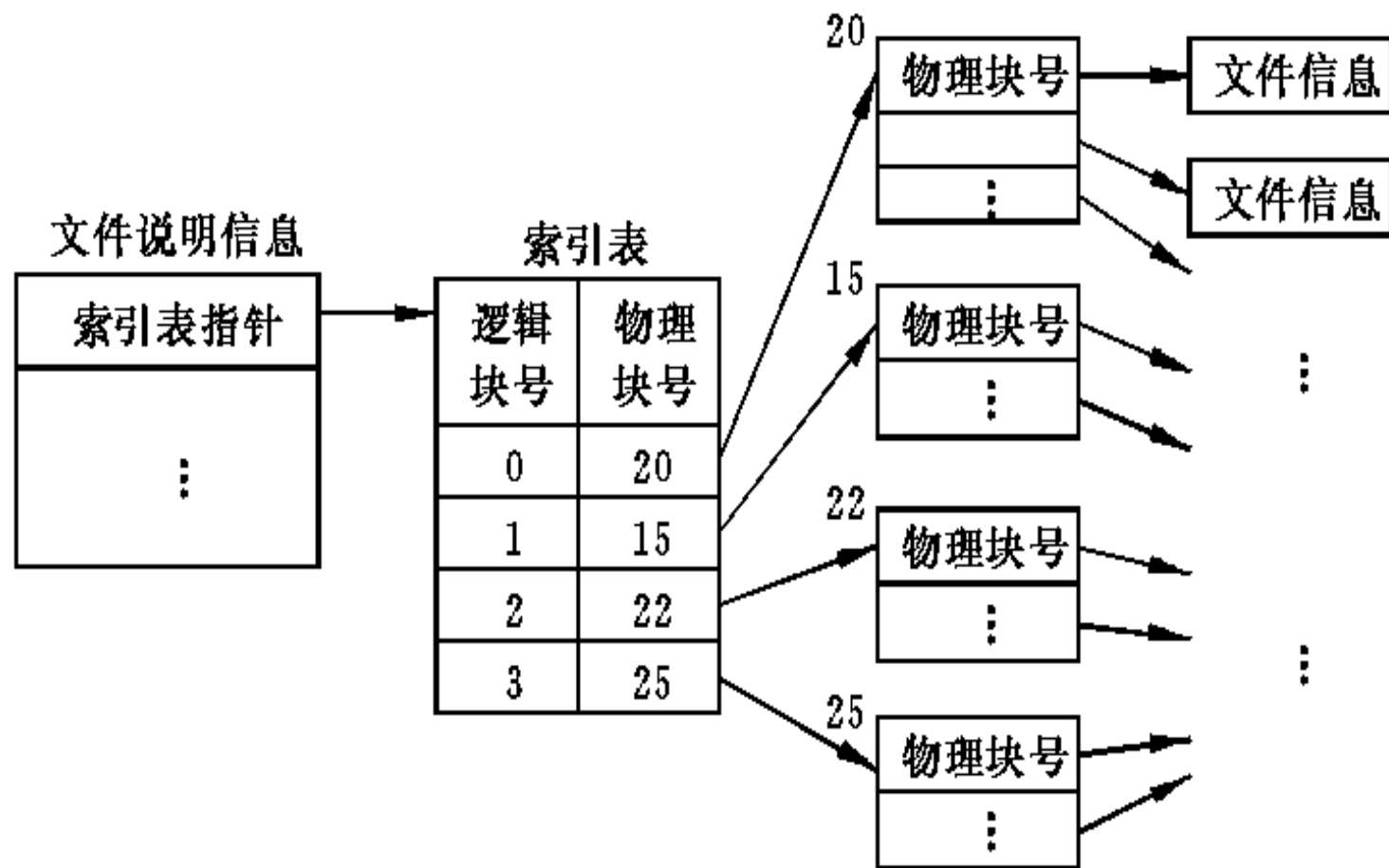
每个索引块中可以存放的物理块数： $512/3=170$ 个

$1000/512=1\ldots 488$

逻辑块号 块内偏移

若目录项中给出的块号为a0(索引块号)，读块号为a0的盘块内容，其中存放的第2个块号若为b1，则b1即为其所在的具体的物理块号，块内偏移488B。

## 2. 多重索引



例题：某文件系统采用两级索引文件结构，假定文件索引表的每个表项占3个字节，即用3B存放一个磁盘块的块号（磁盘块的大小为512B）。  
则文件逻辑偏移150000B所在的物理块块号和块内偏移是多少？

每个索引块中可以存放的物理块数： $512/3=170$ 个

$150000/512=292\ldots W$

逻辑块号 块内偏移

$292/170=1\ldots 122$

分组号 组内偏移

若目录项中给出的块号为a0(索引的索引所在的块号)，  
读块号为a0的盘块内容，其中存放的第2个块号若为b1，  
读盘块号为b1的盘块内容，其中存放的第123个块号即为其  
所在的具体的物理块号，块内偏移W。

## 例题：

- ◆ 某文件系统采用索引文件结构，假定文件索引表的每个表项占3个字节，存放一个磁盘块的块号（磁盘块的大小为512B）。试问
- ◆ 1) 该文件系统能管理的最大磁盘空间是多少字节
- ◆ 2) 若采用2级或3级索引该文件系统能管理的最大磁盘空间又是多少字节？

# 分析

- ◆ 由于索引表占用一个大小为512B的磁盘，所以该文件系统的索引表可以管理 $512/3=170$ 个表项，而每一个表项对应一个物理块，因此该文件系统可以管理的最大磁盘空间为 $170*512B=87040B=85K$
- ◆ 若采用二级索引，则是： $170*170*512B=7225KB$
- ◆ 若采用三级索引，则是： $170*170*170*512B=2456500KB=2398.93M$

# 索引文件结构

- ◆ 索引文件在存储区中占两个区：索引区和数据区。索引区存放索引表，数据区存放数据文件本身。
- ◆ 访问索引文件需要**两步操作**——
  - 查文件索引，由逻辑块号查得物理块号
  - 由此磁盘物理块号而获得所要求的信息。

# 索引文件结构

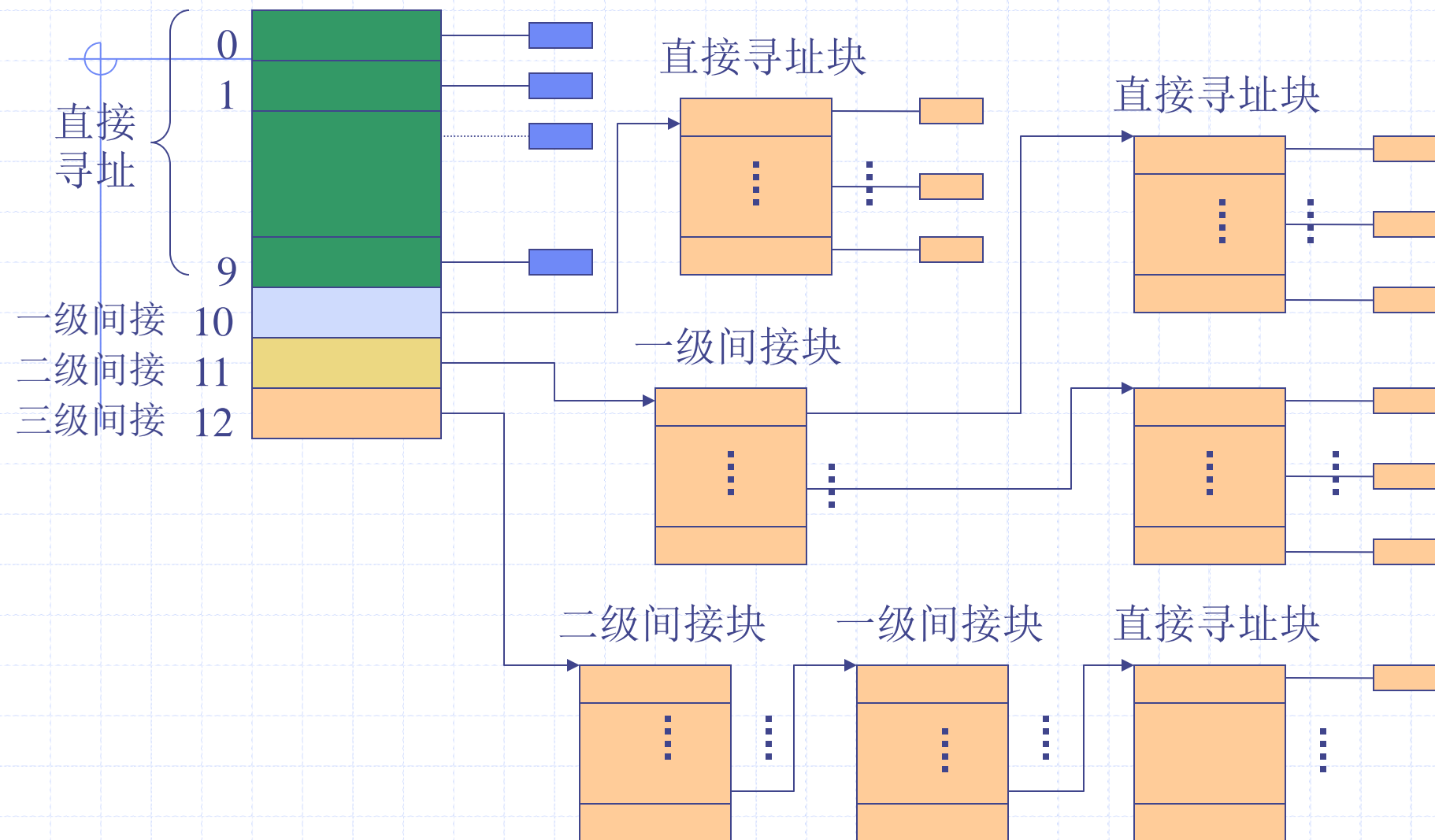
## ◆索引文件的特点

- 易于文件的增删
- 直接读写任意记录

## ◆索引表的组织——多级索引

### 3. 增量式索引组织方式（混合索引方式）

#### 索引文件实例分析——UNIX文件索引方式





# 例题：

- ◆ 存放在某个磁盘上的文件系统采用混合索引分配方式，其索引结点中共有13个地址项（ $i\_addr[0] \sim i\_addr[12]$ ），第0—9个地址项为直接地址，第10个地址项为一次间接地址，第11个地址项为二次间接地址，第12个地址项为三次间接地址。如果每个盘块的大小为512字节，若盘块号需要用3个字节来描述。则：
  - （1）该文件系统允许文件的最大长度是多少？
  - （2）将文件的字节偏移量5000，15000和150000转换为物理块号和块内偏移量。

# 分析

1、每个索引块中可以存放的物理块数： $512/3=170\ldots 2$ ，即可以存放170个块号  
能够管理的文件块数：

直接寻址+一次间接+二次间接+三次间接

$$=10+170+170\times 170+170\times 170\times 170=835239080\text{块}$$

$$\text{能够管理的文件大小：}835239080\times 512\text{B}=417619540\text{KB}$$

## 2、逻辑地址5000

$$5000/512=9\ldots 392$$

逻辑块号 块内偏移

because:  $9 < 10$

So：直接寻址方式

若  $i\_addr[9]=a9$ ，则  $a9$  即为其所在的具体的物理块号，块内偏移392字节。

## 3、逻辑地址15000

$$15000/512=29\ldots 152$$

逻辑块号 块内偏移

because:  $10 \leq 29 < 10+170$

So：一次间接接寻址方式

$$29-10=19$$

若  $i\_addr[10]=a10$ ，则读盘块号

为  $a10$  的物理块的内容，其中存放的第20个块号即为其所在的具体的物理块号，块内偏移152字节。

## 4、逻辑地址150000

$$150000/512=292\ldots 496$$

逻辑块号 块内偏移

because:  $10+170 \leq 292 < 10+170+170^2$

So：二次间接接寻址方式

$$292-10-170=112$$

$$112/170=0\ldots 112$$

若  $i\_addr[11]=a11$ ，则读盘块号为  $a11$  的物理块的内容，其中存放的第1个块号若为  $b0$ ，读盘块号为  $b0$  的物理块的内容，其中第113个块号即为其所在的具体的物理块号，块内偏移496字节。

## 8.2 文件存储空间的管理

- ◆ 存储空间管理是文件系统的重要任务之一。只有有效地进行存储空间管理，才能保证多个用户共享文件存储设备和得以实现文件的按名存取。
- ◆ 由于文件存储设备是分成若干个大小相等的物理块，并以块为单位来交换信息的，因此，文件存储空间的管理实质上是一个空闲块的组织和管理问题，它包括空闲块的组织，空闲块的分配与空闲块的回收等几个问题。

## 8.2 文件存储空间的管理

- ◆ 有4种不同的空闲块管理方法。它们是：
  - ◆ (1) 空闲表；
  - ◆ (2) 空闲链；
  - ◆ (3) 位示图；
  - ◆ (4) 成组链接法。
- ◆ 下面介绍这几种空闲空间的分配方法。

## 8.2.1 空闲表法和空闲链表法

### 1. 空闲表法

- ◆ 简单的空闲块管理方法就是把文件存储设备中的空闲块的块号统一放在一个称为空闲表的物理块中。
- ◆ 其中空闲文件目录的每个表项对应一个由多个空闲块构成的空闲区，它包括空闲块个数，空闲块号和第一个空闲块号等。

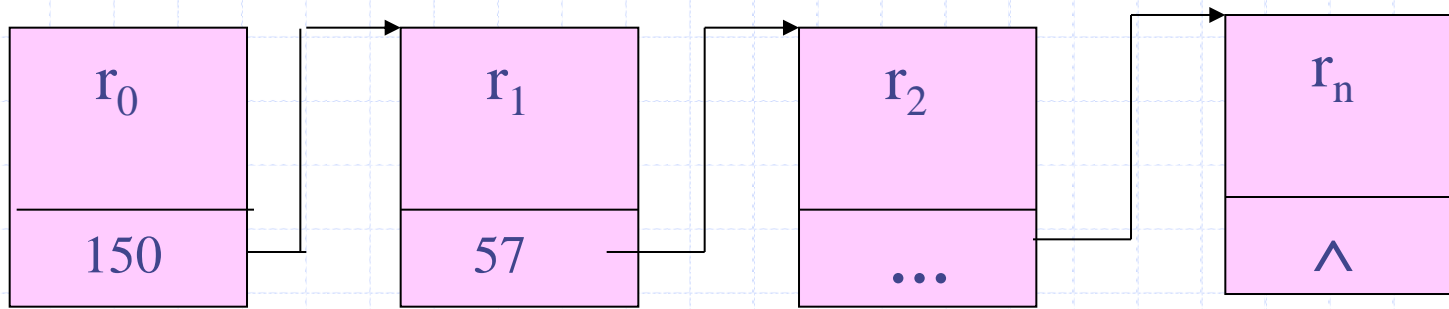
# 空闲文件表

序号	第1个空闲块号	空闲块个数	物理块号
1	2	4	2,3,4,5
2	18	9	18,19,20,21,22,23,24,25,26
3	59	5	59,60,61,62,63
⋮	⋮	⋮	⋮

## 2、空闲链表法

- ◆ 空闲链是一种较常用的空闲块管理方法。
- ◆ 空闲块链把文件存储设备上的所有空闲块链接在一起
- ◆ 当申请者需要空闲块时，分配程序从链头开始摘取所需要的空闲块，然后调整链首指针。
- ◆ 反之，当回收空闲块时，把释放的空闲块逐个插入链尾上。

# 空闲块链



空闲块链示意图



## 8.2.2 位示图法

- ◆ 系统首先从**内存中分配若干个字节**，为每个文件存储设备建立**一张位示图**。
- ◆ 这张位示图反映每个文件存储设备的使用情况。在位示图中，每个文件存储设备的物理块都对应一个比特位。
  - 如果该位为“0”，则表示所对应的块是空闲块；
  - 反之，如果该位为“1”，则表示所对应的块已被分配出去。

# 位示图

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0
2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
3	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
4																
⋮																
16																

图 8-10 位示图

### 3.位示图

盘块的分配:

(1) 顺序扫描位示图，从中找出一个或一组其值为“0”的二进制位(“0”表示空闲时)。

(2) 将所找到的一个或一组二进制位，转换成与之相应的盘块号。假定找到的其值为“0”的二进制位，位于位示的第*i*行、第*j*列，则其相应的盘块号应按下式计算：

$$b=n(i-1)+j$$

式中，*n*代表每行的位数。

(3) 修改位示图，令  $\text{map}[i,j] = 1$ 。

### 3.位示图

盘块的回收:

(1) 将回收盘块的盘块号转换成位示图中的行号和列号。转换公式为:

$$i=(b-1)\text{DIV } n+1$$

$$j=(b-1)\text{MOD } n+1$$

(2) 修改位示图。令  $\text{map}[i,j] = 0$ 。

15. 某操作系统的磁盘文件空间共有 500 块，若用字长为 32 位的位示图管理盘空间，试问：

- (1) 位示图需多少个字？
- (2) 第  $i$  字第  $j$  位对应的块号是多少？
- (3) 给出申请/归还一块的工作流程。

# 例题：

- ◆ 在页式存储管理中，可以用位示图表示内存空闲块状况。假设字长为32位，每一位(编号为0-31)与一个内存块对应，取值可为0或1。当取值为1时表示对应块已被占用，当取值为0时表示对应块为空闲。

(1) 如果内存可分配区被划分为1024块，则位示图共需要多少个字来表示？

A) 15 B) 16 C) 31 D) 32

- ◆ 答案：D

- ◆ (2) 已知某一位的字号是5，位号为14，假设字号也从0开始编号。则对应的内存块号是多少？（假设内存块从0开始编号）

A) 70 B) 105 C) 174 D) 224

- ◆ 答案：C

## 例题：

- ◆ 有一计算机系统利用下图所示的位示图来管理空闲块（行、列号均从0开始），如果块号从1开始，每个盘块大小为1kb。
  1. 现要为文件分配两个盘块，具体说明分配过程。
  2. 若要释放磁盘的第300块，应如何处理？

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5																
6																



## 8.2.3 成组链接法

### 1. 空闲盘块的组织

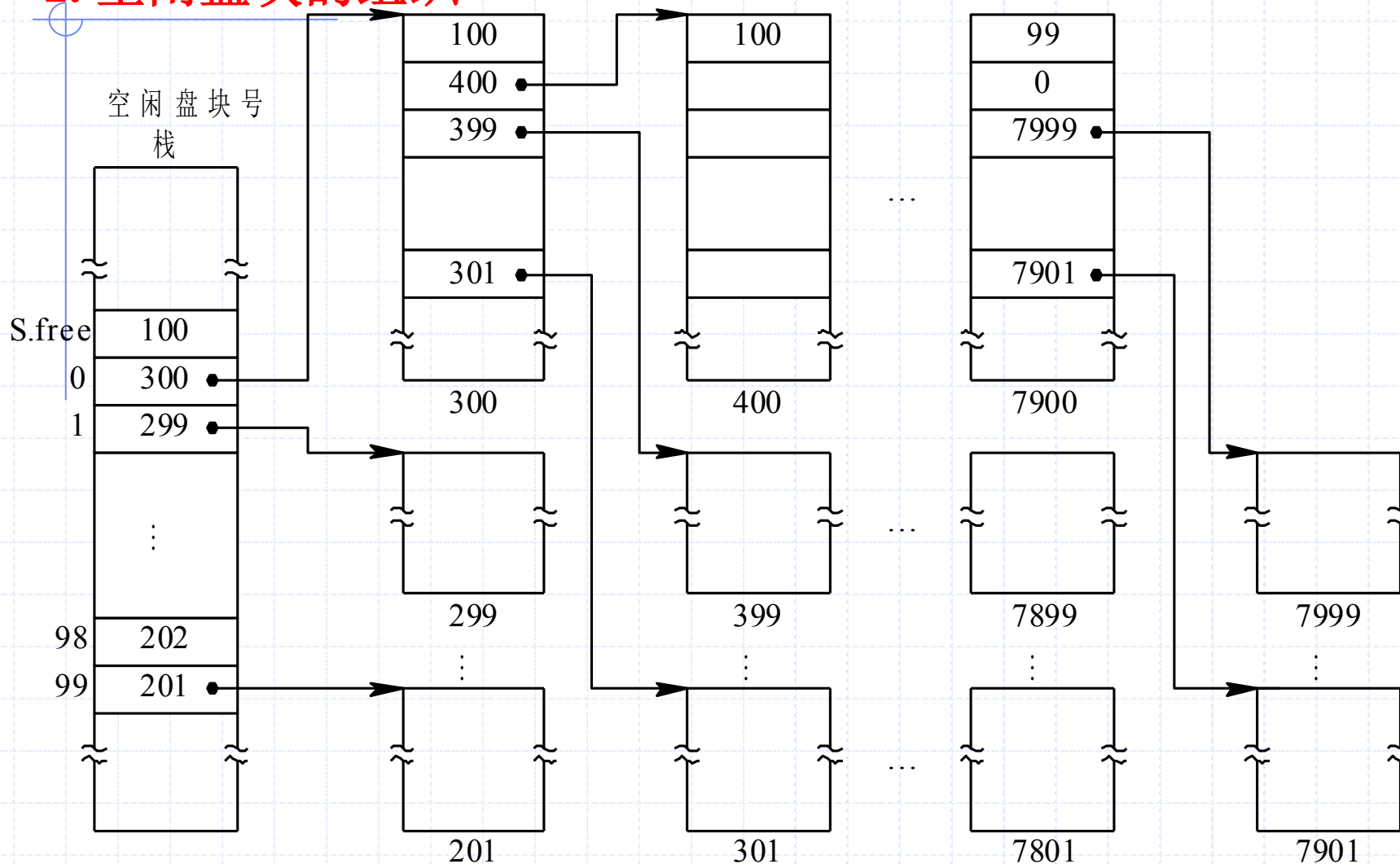


图 8-11 空闲盘块的成组链接法

## 2. 空闲盘块的分配与回收

在分配时，首先检查空闲盘块号栈是否上锁，如未上锁，便从栈顶取出一空闲盘块号，将与之对应的盘块分配给用户，然后将栈顶指针下移一格。

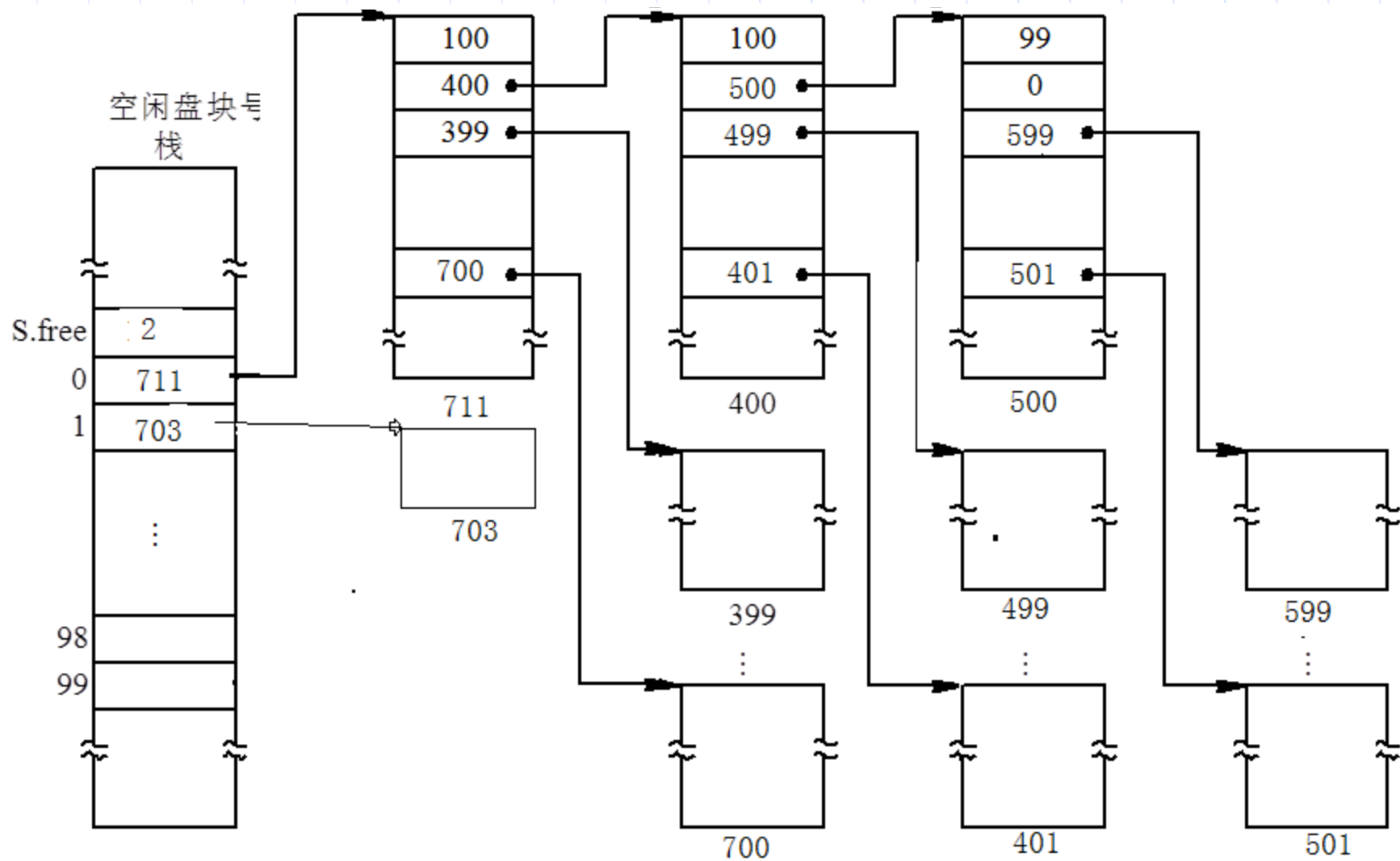
若该盘块号已是栈底，即该块是当前组中可分配的盘块。由于在该盘块号所对应的盘块中记有下一组可用的盘块号列表，因此，须将其读入栈中，作为新的一组空闲块，并把原栈底对应的盘块分配出去(其中的有用数据已读入栈中)。

在系统回收空闲盘块时，将回收盘块的盘块号记入空闲盘块号栈的顶部，并执行空闲盘块数加1操作。当栈中空闲盘块号数目已达100时，表示栈已满，便将现有栈中的100个盘块号，记入新回收的盘块中，再将其盘块号作为新栈底。



## 例题：

- ◆ 某个系统采用成组链接法来管理磁盘的空闲空间，目前磁盘的状态如图。
- 1. 该磁盘中目前还有多少个空闲盘块？
- 2. 请简述磁盘块的分配过程。
- 3. 在为某个文件分配3个块后，系统要删除另一个文件并且回收该文件所占用的5个块，块号依次为：700，711，703，788，701，画出回收后的盘块链接情况。



## 8.3 提高磁盘I/O速度的途径

- ◆ 磁盘高速缓存
- ◆ 提前读
- ◆ 延迟写
- ◆ 优化物理块的分布
- ◆ 虚拟盘
- ◆ 廉价磁盘冗余阵列（RAID）

- 思考题：（软设试题）数据存储在磁盘上的排列方式会影响I/O服务的总时间。假设每磁道划分成10个物理块，每块存放1个逻辑记录。逻辑记录R1, R2, ..., R10存放在同一个磁道上，记录的安排顺序如表所示。

物理块： 1    2    3    4    5    6    7    8    9    10

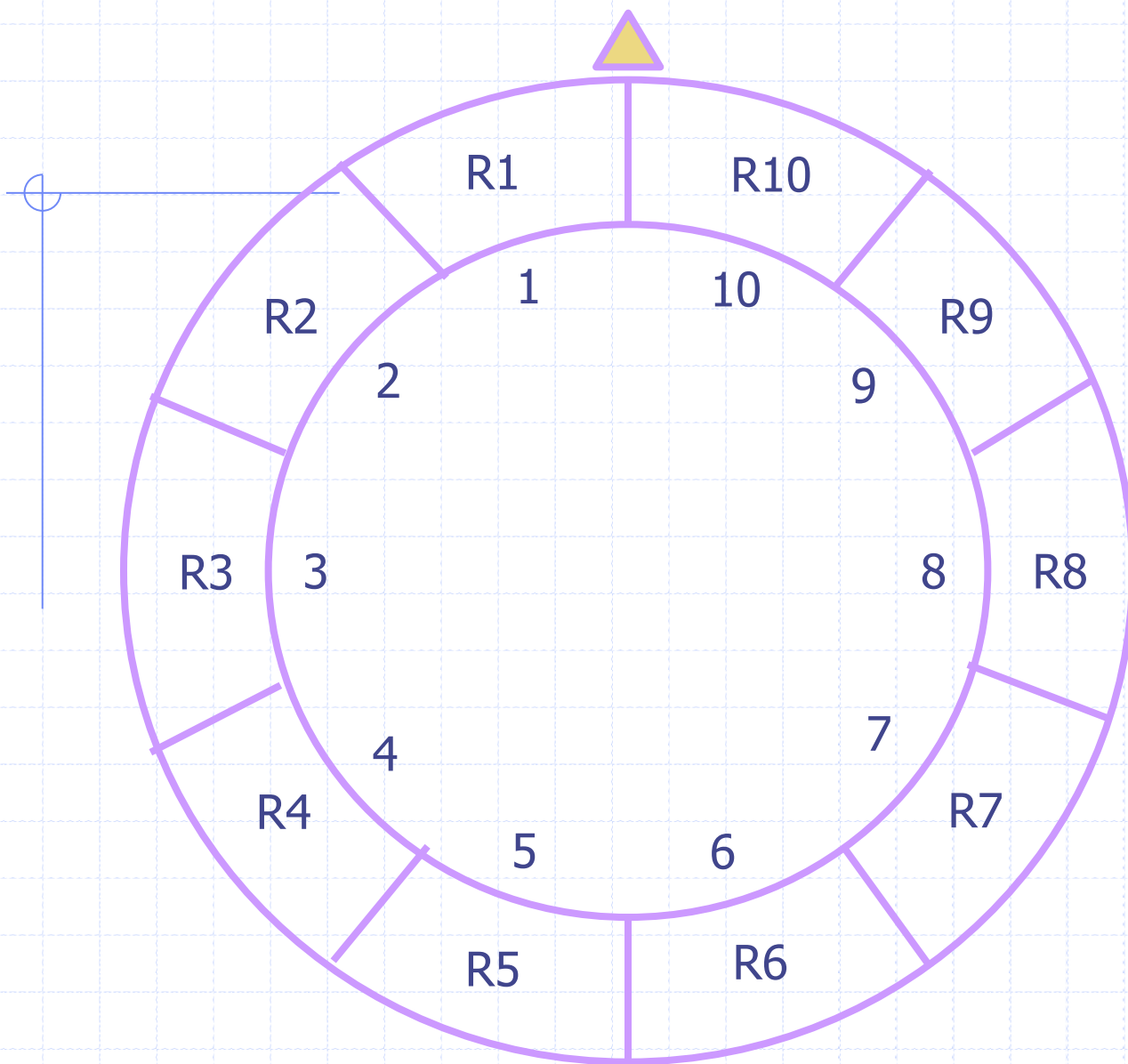
逻辑记录： R1   R2   R3   R4   R5   R6   R7   R8   R9   R10

假定磁盘的旋转速度为20ms/周，磁头当前处在R1的开始处。若系统顺序处理这些记录，使用单缓冲区，每个记录处理时间为4ms，则处理这10个记录的最长时间为\_\_\_(15)\_\_\_；若对信息存储进行优化分布后，处理10个记录的最少时间为\_\_\_(16)\_\_\_。

供选择的答案：

(15) A.180ms    B.200ms    C.204ms    D.220ms

(16) A.40ms    B.60ms    C.100ms    D.160ms





## 8.4 提高磁盘可靠性的技术

### ◆ 磁盘容错技术

## 8.5 数据一致性控制