数据结构与算法

第8章 文件管理和外排序

任课教员：张 铭

http://db.pku.edu.cn/mzhang/DS/

mzhang@db.pku.edu.cn

北京大学信息科学与技术学院

网络与信息系统研究所

©版权所有，转载或翻印必究

为什么需要文件管理和外排序？

- 文件结构(**file structure**)
  - 对于在外存中存储的数据
  - 数据量太大不可能同时把它们放到内存中
  - 需要把全部数据放到磁盘中
- 文件的各种运算
  - 外排序是针对磁盘文件所进行的排序操作
  - 提高文件存储效率和运算效率


©版权所有，转载或翻印必究

大 纲

- 8.1 主存和外存的比较
- 8.2 外存储器
- 8.3 外存文件组织
- 8.4 缓冲区和缓冲池
- 8.5 外排序的基本算法

©版权所有，转载或翻印必究

8.1 主存储器和外存储器

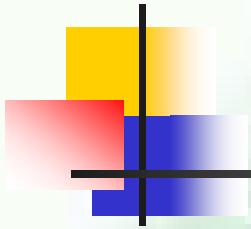
- 基本概念
- 主存和外存的价格比较
- 外存的优缺点

©版权所有，转载或翻印必究

基本概念

- 主存储器(primary memory或者main memory，简称“内存”，或者“主存”)
  - 随机访问存储器(Random Access Memory, 即RAM)
  - 高速缓存(cache)
  - 视频存储器(video memory)
- 外存储器(peripheral storage或者secondary storage，简称“外存”)
  - 硬盘、磁带 、软盘

©版权所有，转载或翻印必究



- MB 10^6B (内存)
- GB 10^9B(硬盘)
- TB 10^{12}B(磁盘阵列)
- PB 10^{15}B (磁带库)
- Google是10的多少次方？
  - 10^{100}
  - 8,058,044,651 张网页(2004年12月)

©版权所有，转载或翻印必究

主存储器和外存储器之价格比较

介质	2001年底价格	2002年底价格	2003年早期价格
内存	1	1.5	1
硬盘	0.017	0.013	0.011
软盘	12	7	2.5
磁带	0.008	0.011	0.0075

©版权所有，转载或翻印必究

外存的优缺点

- 优点：永久存储能力、便携性
- 缺点：访问时间长
  - 访问磁盘中的数据比访问内存慢五六个数量级（10万到100万倍）。
- 所以讨论在外存的数据结构及其上的操作时，必须遵循下面这个重要原则：
  - 尽量减少访外次数！

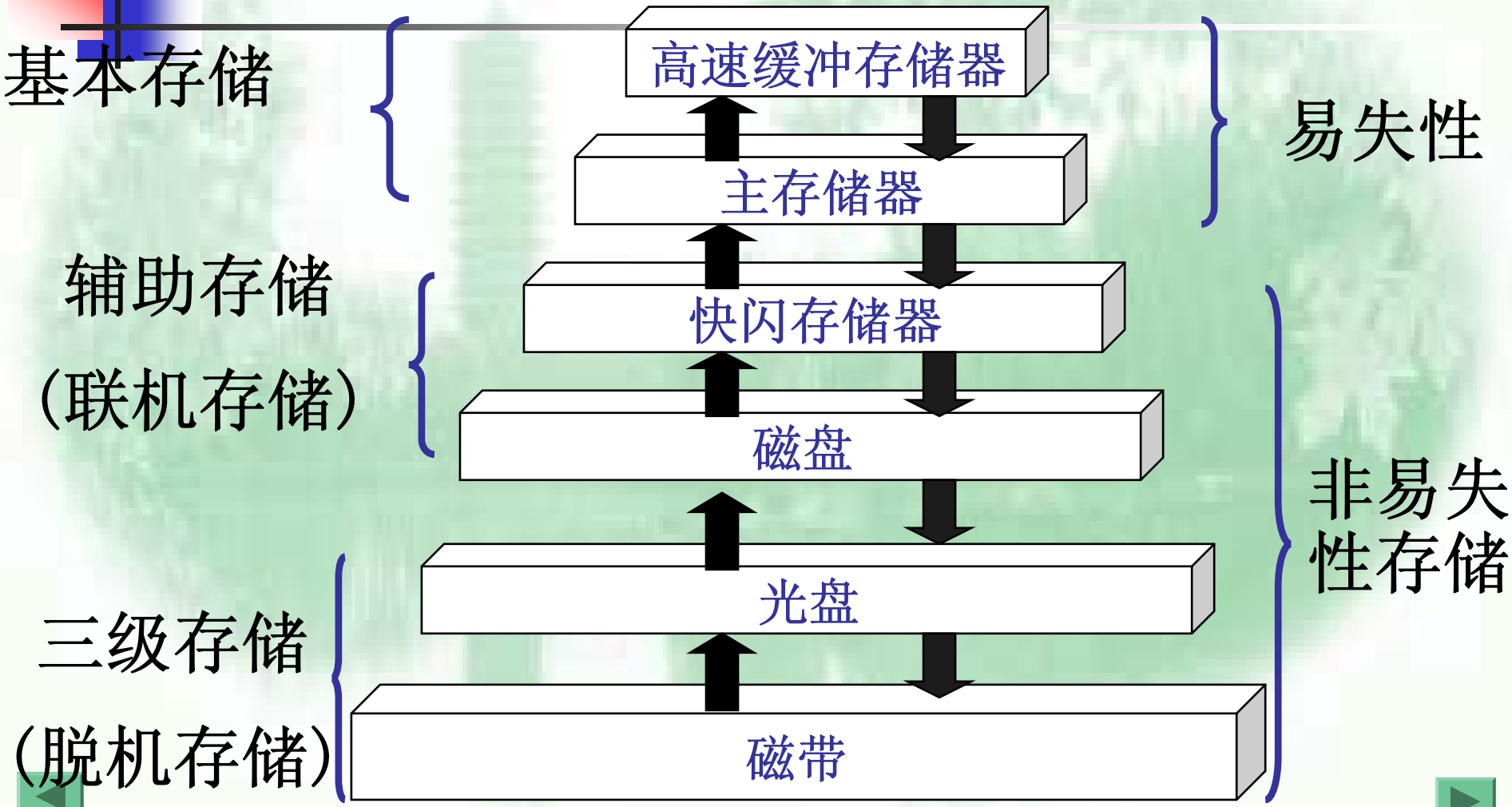

©版权所有，转载或翻印必究

8.2 外存储器

- 磁盘(几十G - 几百T)
- 磁盘访问时间估算
- 磁带(几个P)

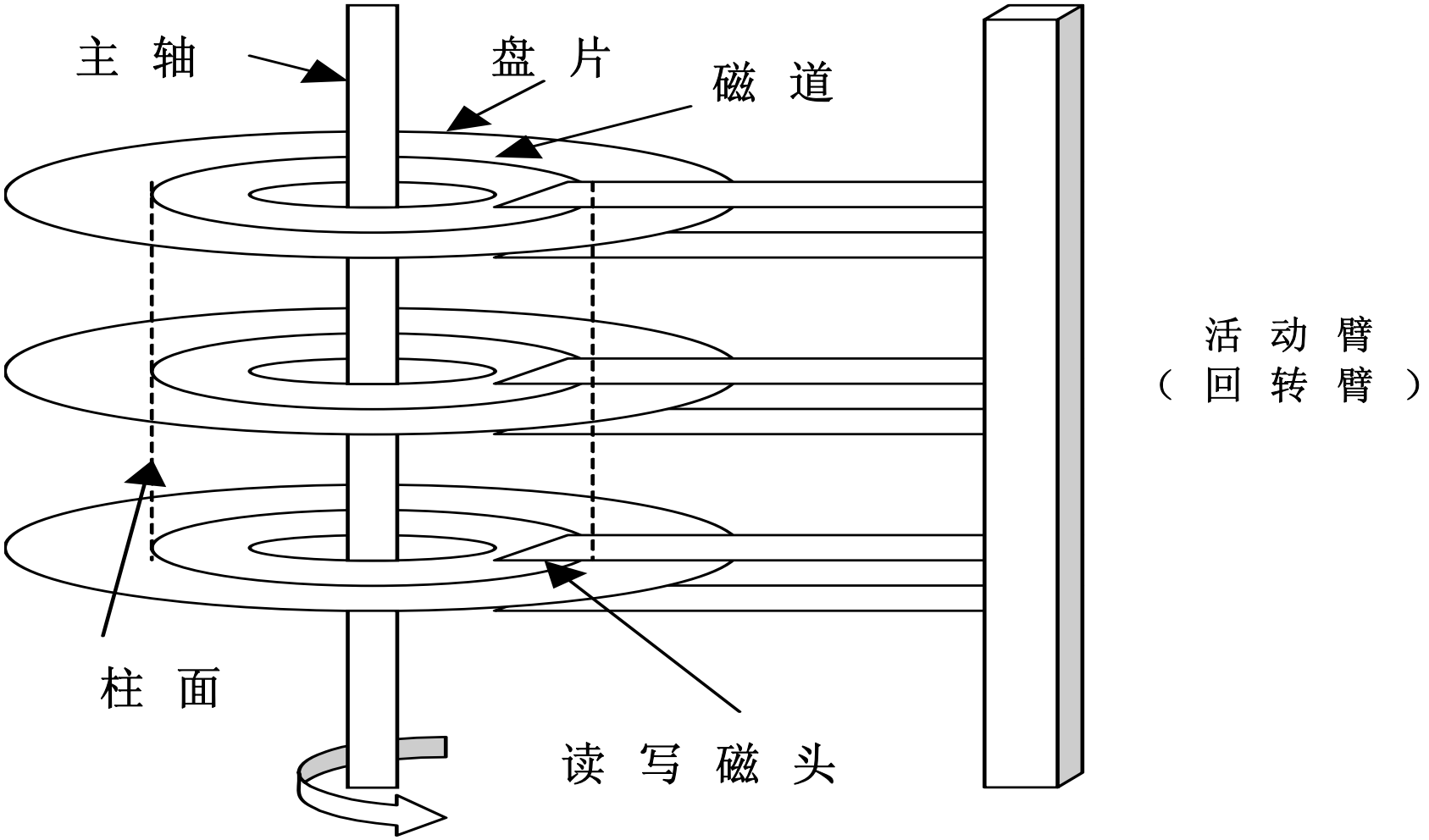
©版权所有，转载或翻印必究

物理存储介质概览



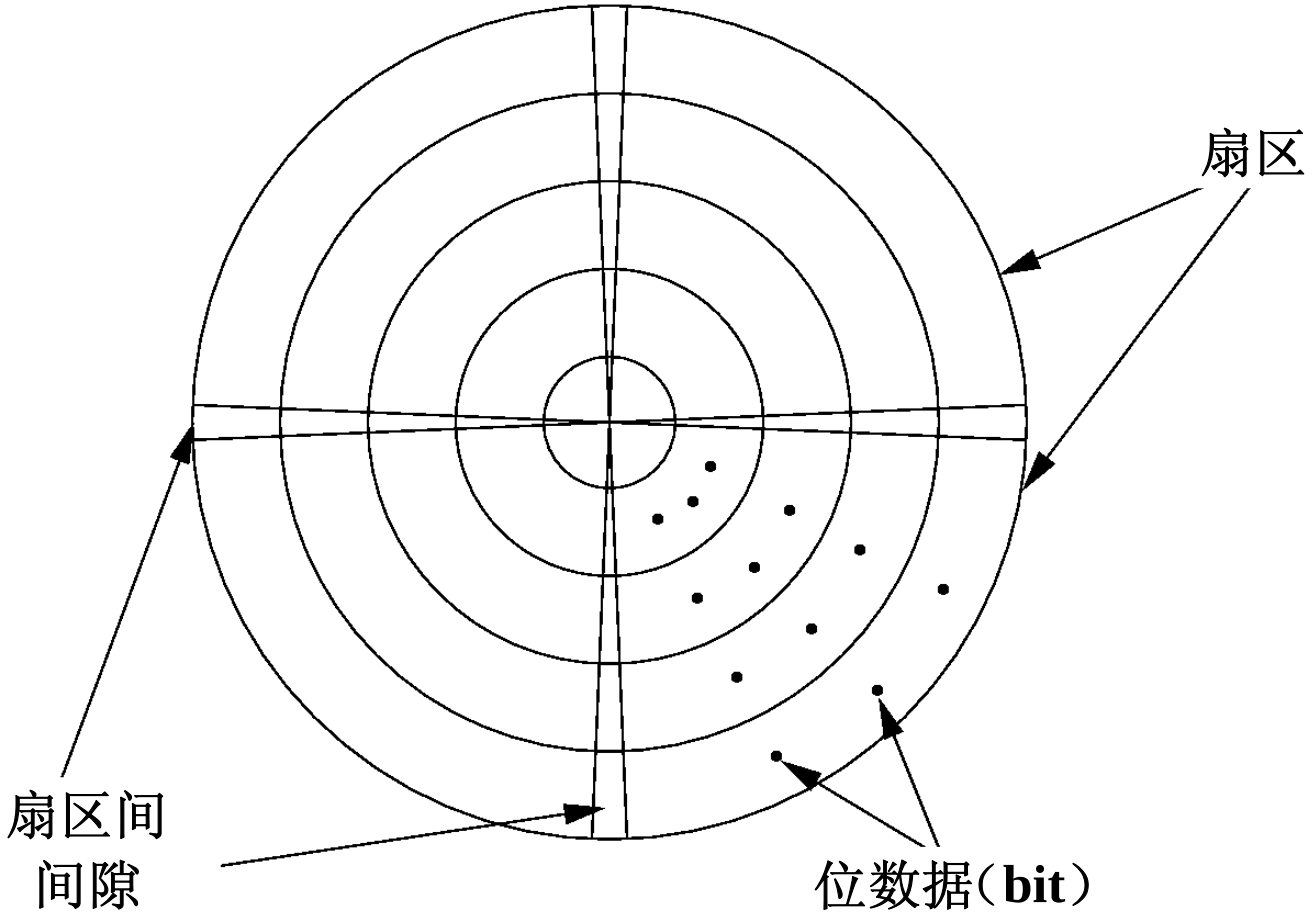
©版权所有，转载或翻印必究

磁盘的物理结构



©版权所有，转载或翻印必究

磁盘盘片的组织



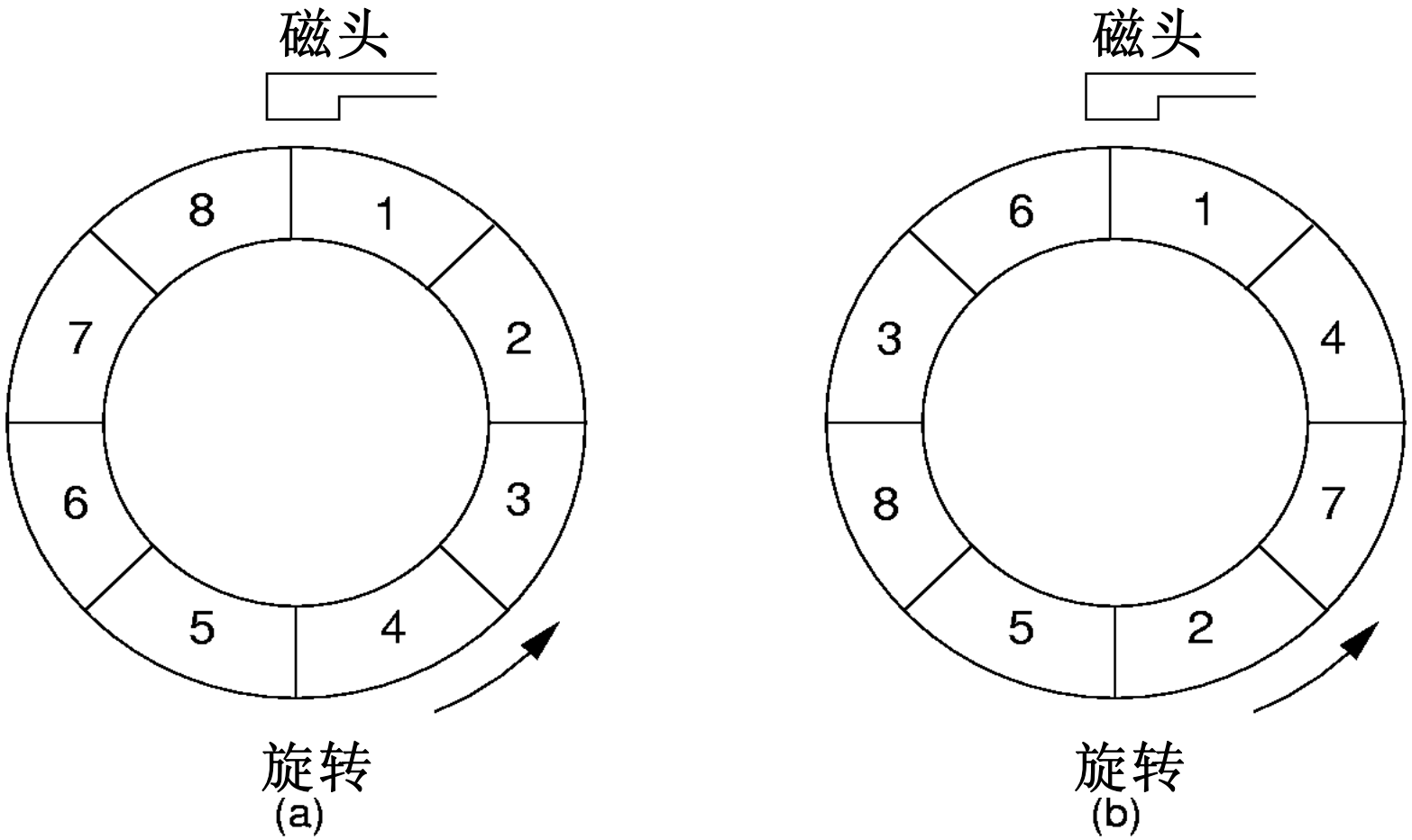
©版权所有，转载或翻印必究

磁盘存取步骤

- 选定某个盘片
- 选定某个柱面
  - 这需要把磁头移动到该柱面，这个移动过程称为寻道(seek)
- 确定磁道
- 确定所要读写的数据在磁盘上的准确位置
  - 这段时间一般称为旋转延迟(rotational delay 或者rotational latency)
- 真正进行读写


©版权所有，转载或翻印必究

磁盘磁道的组织（交错法）



（a）没有扇区交错；（b）以3为交错因子

©版权所有，转载或翻印必究

磁盘性能指标

- 容量（G）
- 磁盘旋转速度(rpm)
- 交错因子
- 寻道时间
- 旋转延迟时间


©版权所有，转载或翻印必究

总存取时间(1)

（1）数据连续存放，且给出了平均寻道时间。

总存取时间 =［平均寻道时间］

+［第一道读取时间］

+（总磁道数–1）×[(第二次寻道时间)+(读取整道的时间)]

=［平均寻道时间］

+［(0.5圈延迟+交错因子）× 每圈所花时间］

+（总磁道数–1）

×[磁道转换时间+(0.5圈延迟+交错因子)×每圈所花时间]

©版权所有，转载或翻印必究

总存取时间(2)

（2）数据随机存放。

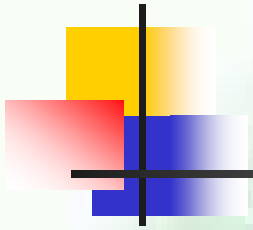
总存取时间 = 簇数 × {[平均寻道时间]+[旋转延迟]+[读一簇时间]}

= 簇数 × {[平均寻道时间]

+ [0.5圈延迟×每圈所花时间]

+ [交错因子×（每簇扇区数/每道扇区数）×每圈时间]}

©版权所有，转载或翻印必究



- 例8.1 假定一个磁盘总容为16.8GB，分布在10个盘片上。每个盘片上有13085个磁道，每个磁道中包含256个扇区，每个扇区512个字节，每个簇8个扇区。扇区的交错因子是3。磁盘旋转速率是5400 rpm，磁道转换时间是2.2 ms，随机访问的平均寻道时间是9.5 ms。

©版权所有，转载或翻印必究

- 如果读取一个1MB的文件，该文件有2048个记录，每个记录有512字节（1个扇区）。对于以下两种情况，估算进行文件处理的总时间。
  - （1）假定所有记录在8个连续磁道上；
  - （2）假定文件簇随机地散布在磁盘上。


©版权所有，转载或翻印必究

解：我们先总结出一些共有的特性

- 每个簇为4KB
  - 8个扇区 = 512 byets × 8 = 4KB
- 每个磁道有32簇
  - 256个扇区 = 256 扇区 ÷8（扇区/簇） = 32个簇
- 每个盘片有1.68GB
  - 16.8GB ÷ 10 = 1.68GB
- 每转一圈的时间为11.1ms
  - (60×1000)ms/5400圈 = 11.1（ms/圈）= 11.1（ms/道）
  - 一个磁道是一个整圈，因此，下面计算公式中，所用的单位“圈”等同于“道”


©版权所有，转载或翻印必究

- 数据连续存放，而且给出了平均寻道时间。

总存取时间 = [平均寻道时间]
+ [(0.5圈延迟+交错因子) × 每圈所花时间]
+ (总磁道数–1)
× [磁道转换时间+(0.5圈延迟+交错因子)×每圈所花时间]
= [9.5ms（平均寻道时间）]
+ [(0.5（半圈旋转延迟） + 3（交错因子）)×11.1ms/圈
+（8-1）个其他磁道
× [2.2ms磁道转换时间+(0.5圈延迟+3交错因子)×11.1ms/圈]
= 9.5ms + 48.4ms + 7 × 41.1ms
= 335.7ms

©版权所有，转载或翻印必究

- 数据随机存放
- 总簇数：8个磁道 × 32(簇/磁道) = 256簇

总存取时间 = 簇数 × {[平均寻道时间]
+ [0.5圈延迟×每圈所花时间]
+ [交错因子×（每簇扇区数/每道扇区数）×每圈时间]}
= 256 ×{ [9.5ms（平均寻道时间）]
+ [0.5（半圈旋转延迟）×11.1ms/圈]
+ [3(交错因子)×8(扇区/簇)÷256(扇区/道) ×11.1ms/圈]}
≈ 256 × {9.5 + 5.55 + 1.04}
≈ 4119.04 ms

©版权所有，转载或翻印必究

- 定位并读一簇时间为：
  - [平均寻道时间] + [0.5圈延迟×每圈所花时间] +读一簇数据时间

= [9.5ms(平均寻道)] + [0.5(半圈)×11.1ms/圈]+1.04

≈ 9.5 + 5.55 + 1.04 = 16.09ms

- 其中，只是读一簇数据（不包括寻道定位等）的时间为
  - [3(交错因子)×8(扇区/簇/)÷256(扇区/道)×11.1ms/圈] ≈ 1.04ms

©版权所有，转载或翻印必究

- 读一个扇区的时间
  - [9.5ms(平均寻道时间)]+[0.5(半圈旋转延迟)×11.1ms/圈+[1扇区÷256(扇区/道)×11.1ms/圈] ＝ 15.1ms
- 读一个字节的时间
  - [9.5ms(平均寻道时间)]+[0.5(半圈旋转延迟)×11.1ms/圈] ＝ 15.05ms
- “一次访外”操作
  - 磁盘一次I/O操作访问一个扇区，通常称为访问“一页”（page），或者“一块”(block)

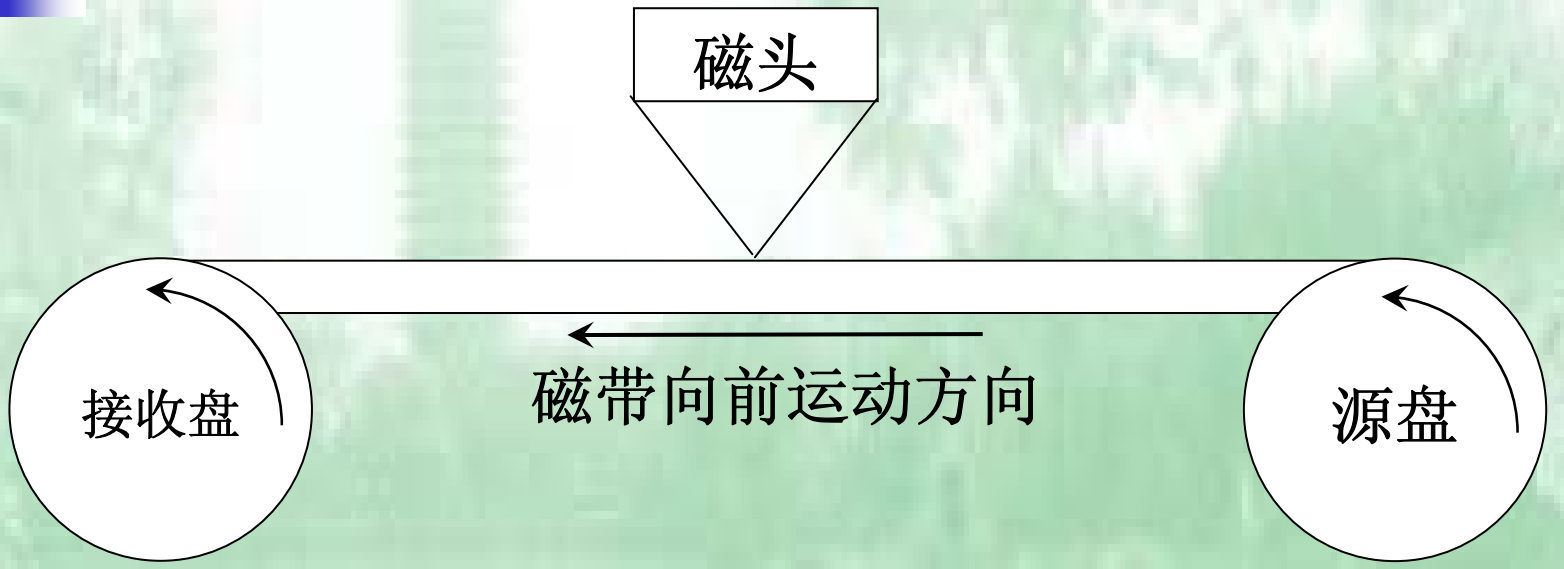
©版权所有，转载或翻印必究

磁带

- 主要优点：使用方便、价格便宜、容量大、所存储的信息比磁盘和光盘更持久
- 缺点：速度较慢，只能进行顺序存取


©版权所有，转载或翻印必究

磁带运行示意图



磁带卷在一个卷盘上，运行时磁带经过读写磁头，把磁带上的信息读入计算机，或把计算机中的信息写在磁带上。

©版权所有，转载或翻印必究

磁带发展史

- 手工阶段
- 自动化磁带库系统
- 虚拟磁带技术


©版权所有，转载或翻印必究

8.3 外存文件的组织

- 文件组织
- C++的流文件

©版权所有，转载或翻印必究

职工号	姓名	性别	职务	婚姻状况	工资
156	张东	男	程序员	未婚	7800
860	李珍	女	分析员	已婚	8900
510	赵莉	女	程序员	未婚	6900
950	陈萍	女	程序员	未婚	6200
620	周力	男	分析员	已婚	10300

- 文件是一些记录的汇集，其中每个记录由一个或多个数据项组成。
- 数据项有时也称为字段，或者称为属性。例如，一个职工文件里的记录可以包含下列数据项：职工，姓名，性别，职业，婚姻状况，工资等。

©版权所有，转载或翻印必究

文件组织

- 逻辑文件(**logical file**)
  - 对高级程序语言的编程人员而言
  - 连续的字节构成记录，记录构成逻辑文件
- 物理文件(physical file)
  - 成块地分布在整个磁盘中
- 文件管理器
  - 操作系统的一部分
  - 把逻辑位置映射为磁盘中具体的物理位置


©版权所有，转载或翻印必究

文件的逻辑结构

- 文件是记录的汇集
  - 当一个文件的各个记录按照某种次序排列起来时，各纪录间就自然地形成了一种线性关系。
- 因而，文件可看成是一种线性结构。


©版权所有，转载或翻印必究

文件的存储结构

- 顺序结构——顺序文件
- 计算寻址结构——散列文件
- 带索引的结构——带索引文件


©版权所有，转载或翻印必究

文件上的操作

- 检索：在文件中寻找满足一定条件的记录
- 修改：是指对记录中某些数据值进行修改。若对关键码值进行修改，这相当于删除加插入。
- 插入：向文件中增加一个新记录。
- 删除：从文件中删去一个记录 。
- 排序 ：对指定好的数据项，按其值的大小把文件中的记录排成序列，较常用的是按关键码值的排序。


©版权所有，转载或翻印必究

C++的流文件

- C++程序员对随机访问文件的逻辑视图是一个单一的字节流，即字节数组。
- 程序员需要管理标志文件当前位置的文件指针。
- 常见的三个基本文件操作，都是围绕文件指针进行的：
  - 把文件指针设置到指定位置（移动文件指针）
  - 从文件的当前位置读取字节
  - 向文件中的当前位置写入字节


©版权所有，转载或翻印必究

C++操作二进制文件的常用方式——fstream类

- fstream类提供函数操作可随机访问的磁盘文件中的信息。
- fstream类的主要成员函数包括open，close，read，write，seekg，seekp。


©版权所有，转载或翻印必究

fstream类的主要函数成员

```
#include<fstream.h>//fstream=ifstream+ofstream

// 打开文件进行处理。
// 模式示例: ios::in | ios::binary
void fstream::open(char* name, openmode mode);

// 处理结束后关闭文件。
void fstream::close();
```


©版权所有，转载或翻印必究

ftream类的主要函数成员（续1）

```
// 从文件当前位置读入一些字节。
// 随着字节的读入，文件当前位置向前移动。
fstream::read(char* ptr, int numbytes);

// 向文件当前位置写入一些字节
// (覆盖已经在这些位置的字节)。
// 随着字节的写入，文件当前位置向前移动。
fstream::write(char* ptr, int numbtyes);
```


©版权所有，转载或翻印必究

ftream类的主要函数成员（续2）

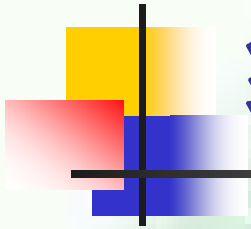
// seekg和seekp：在文件中移动当前位置，
// 这样就可以在文件中的任何一个位置
// 读出或写入字节。
// 实际上有两个当前位置，
//一个用于读出，另一个用于写入。
// 函数seekg用于改变读出位置，
// 函数seekp用于改变写入位置

```
fstream::seekg(int pos);  // 处理输入
fstream::seekg(int pos, ios::curr);
fstream::seekp(int pos);  // 处理输出
fstream::seekp(int pos, ios::end);
```

8.4缓冲区和缓冲池

- 基本概念
- 替换缓冲区的策略
- 虚拟存储

©版权所有，转载或翻印必究



缓冲

- 目的：减少磁盘访问次数的
- 方法：缓冲(buffering)或缓存(caching)
  - 在内存中保留尽可能多的块
  - 可以增加待访问的块已经在内存中的机会


©版权所有，转载或翻印必究

缓冲区和缓冲池

- 存储在一个缓冲区中的信息经常称为一页(page)，往往是一次I/O的量
- 缓冲区合起来称为缓冲池(buffer pool)

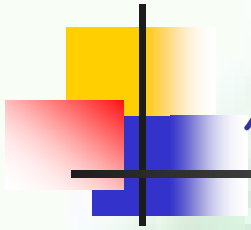

©版权所有，转载或翻印必究

替换缓冲区块的策略

新的页块申请缓冲区时，把最近最不可能被再次引用的缓冲区释放来存放新页

- “先进先出”(FIFO)
- “最不频繁使用”(LFU)
- “最近最少使用”(LRU)


©版权所有，转载或翻印必究

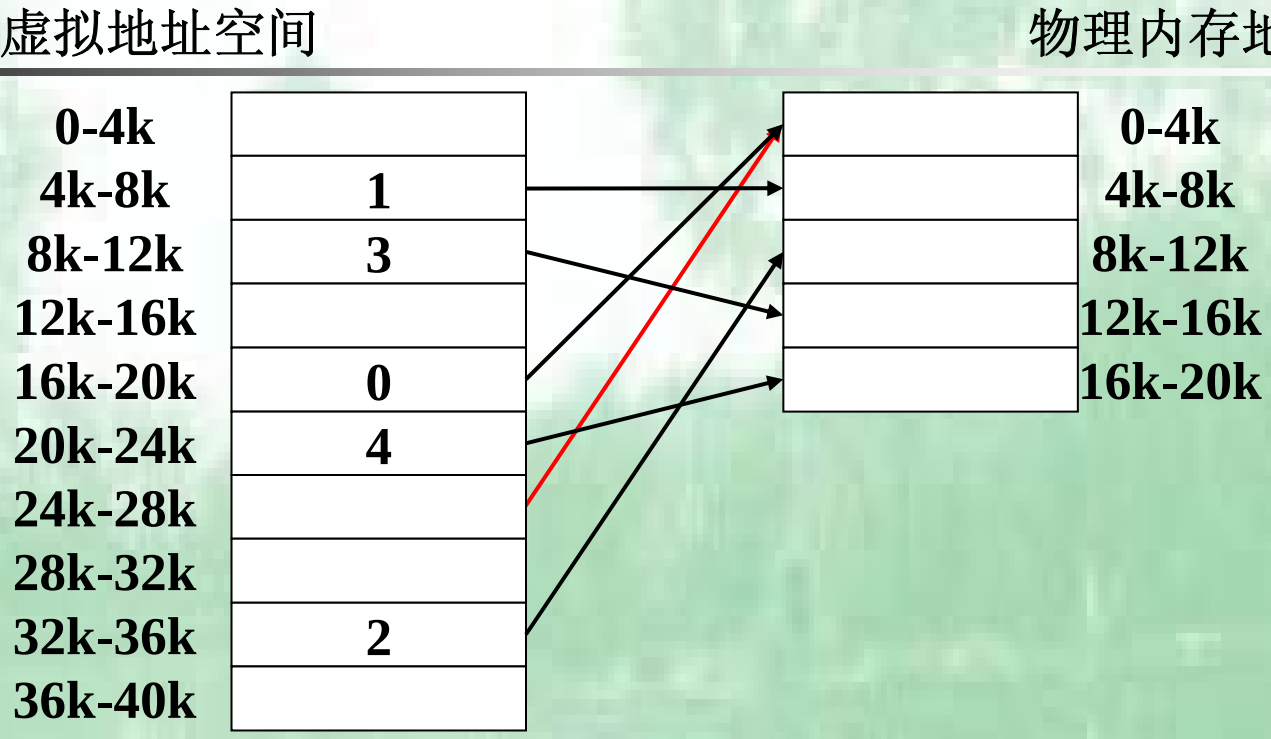


虚拟存储

- 虚拟存储(**virtual memory**)
  使得程序员能够使用比实际内存更大的内存空间。
- 磁盘中存储虚拟存储器的全部的内容，根据存储器的访问需要把块读入内存缓冲池。


©版权所有，转载或翻印必究

虚拟存储



- 系统运行到某一时刻，虚拟地址空间中有**5**个页被读入到物理内存中，现在如果需要对地址为**24k-28k**的页进行访问，就必须替换掉当前物理内存中的一个页框。

©版权所有，转载或翻印必究

8.5 外排序

- 基本概念
- 置换选择排序
- 二路外排序
- 多路归并-----选择树


©版权所有，转载或翻印必究

外排序(external sort)

- 外存设备上(文件)的排序技术
  - 文件很大
  - 无法把整个文件的所有记录同时调入内存中进行排序，即无法进行内排序
- 外部排序算法的主要目标是尽量减少读写磁盘的次数


©版权所有，转载或翻印必究

关键码索引排序

- 索引文件(index file)中
  - 关键码与指针一起存储
  - 指针标识相应记录在原数据文件中的位置
- 对索引文件进行排序，所需要的I/O操作更少
  - 索引文件比整个数据文件小很多。
  - 在一个索引文件中，只针对关键码排序(key sort)。


©版权所有，转载或翻印必究

磁盘排序过程

- 顺串：用内排序方法对文件的各段进行初始排序，并存放在外存

磁盘排序过程：

- 文件分成若干尽可能长的初始顺串；
- 逐步归并顺串归，最后形成一个已排序的文件。

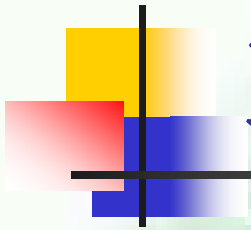

©版权所有，转载或翻印必究

8.5.1 置换选择排序

- 扫描一遍
- 使得所生成的各个顺串更长
- 减少了初始顺串的个数

- 目的：
  - 在合并顺串时减少对数据的扫描遍数

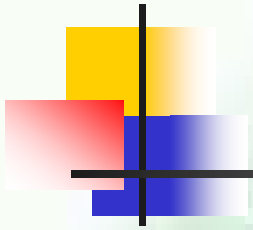

©版权所有，转载或翻印必究



置换选择算法

- 一个输入缓冲区
- 一个输出缓冲区
- 一个能存放M个记录的RAM内存块
  - 可以看成大小为M的连续数组

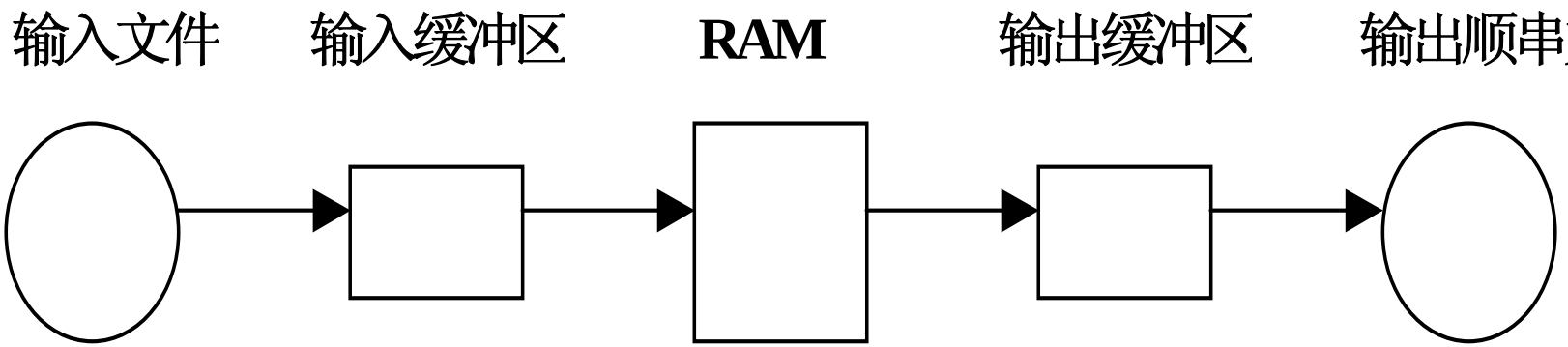

©版权所有，转载或翻印必究



- 排序操作可以利用缓冲区，但只能在**RAM**中进行
- 平均情况下，这种算法可以创建长度为2M个记录的顺串

©版权所有，转载或翻印必究

置换选择方法图示



产生一个顺串的过程

1. 在RAM中把待排序记录建立堆
2. 从输入文件读取一整块磁盘，存入输入缓冲区
3. 通过置换选择排序，把合适的数据写到输出缓冲区，缓冲区满则输出到一个磁盘块
4. 输入缓冲区空时，从输入文件读取下一块磁盘

©版权所有，转载或翻印必究

置换选择算法

1. 初始化堆：

(a) 从磁盘读M个记录放到数组RAM中。

(b) 设置堆末尾标准LAST ＝ M － 1。

(c) 建立一个最小值堆。

©版权所有，转载或翻印必究

置换选择算法（续）

2. 重复以下步骤，直到堆为空（即LAST ＜ 0）：

(a) 把具有最小关键码值的记录(根结点)送到输出缓冲区。

(b) 设R是输入缓冲区中的下一条记录。如果R的关键码值大于刚刚输出的关键码值.....

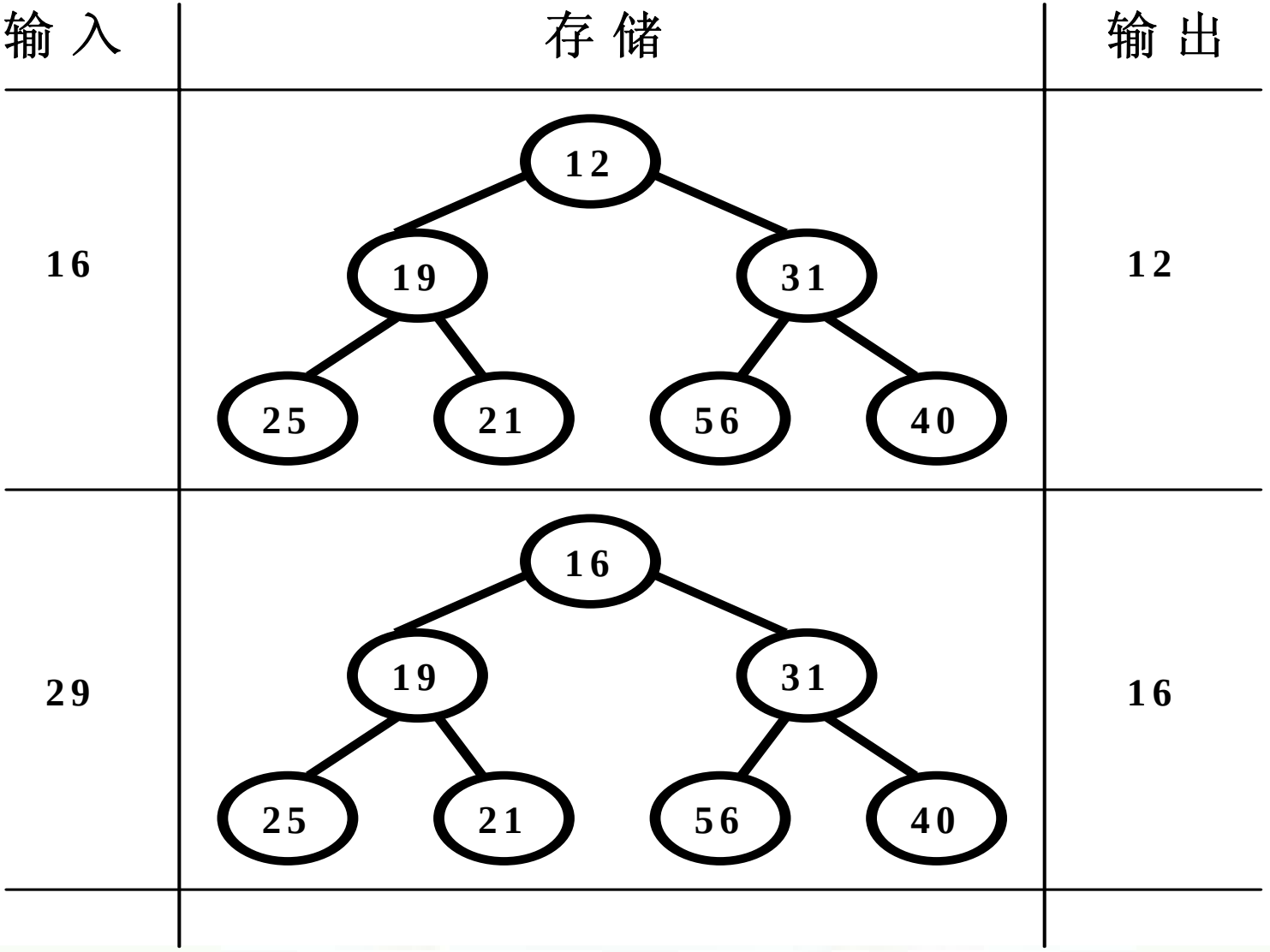
i. 那么把R放到根结点。

ii. 否则使用数组中LAST位置的记录代替根结点，然后把R放到LAST位置。设置LAST ＝ LAST － 1。

(c)重新排列堆，筛出根结点。

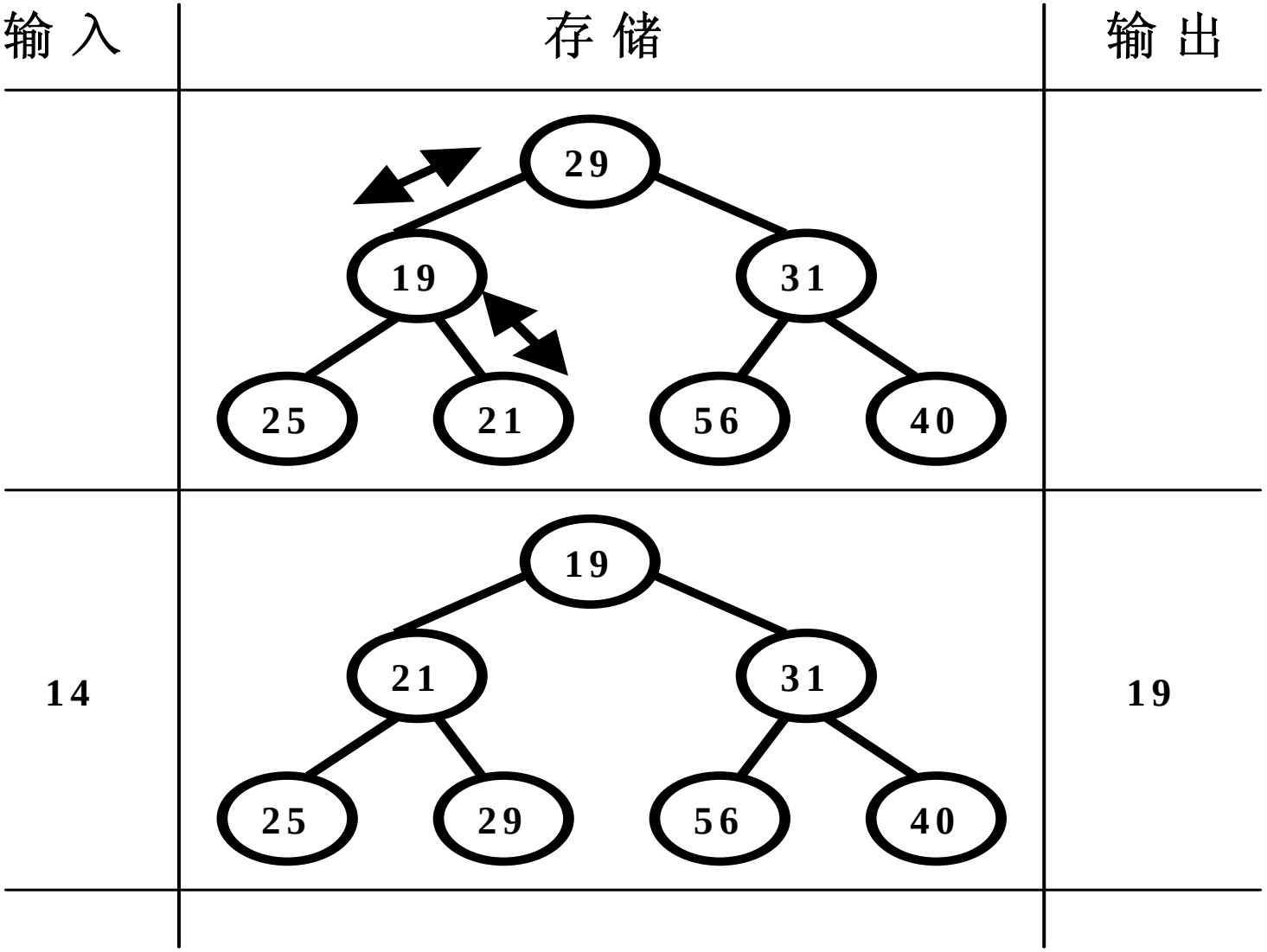
©版权所有，转载或翻印必究

置换选择示例（1）



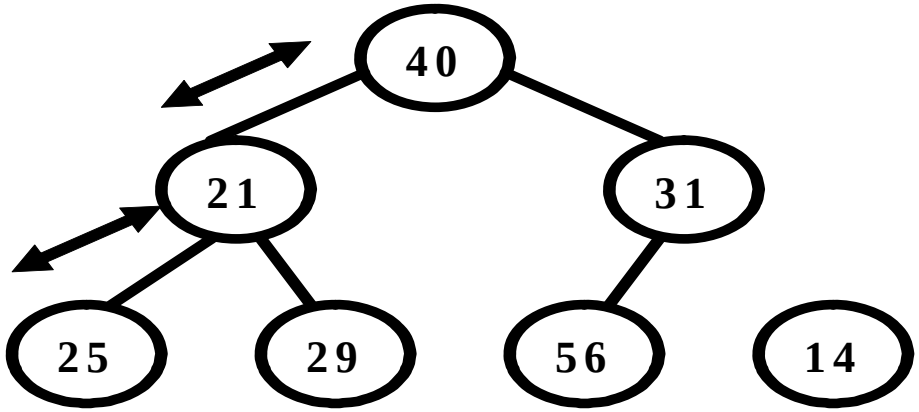
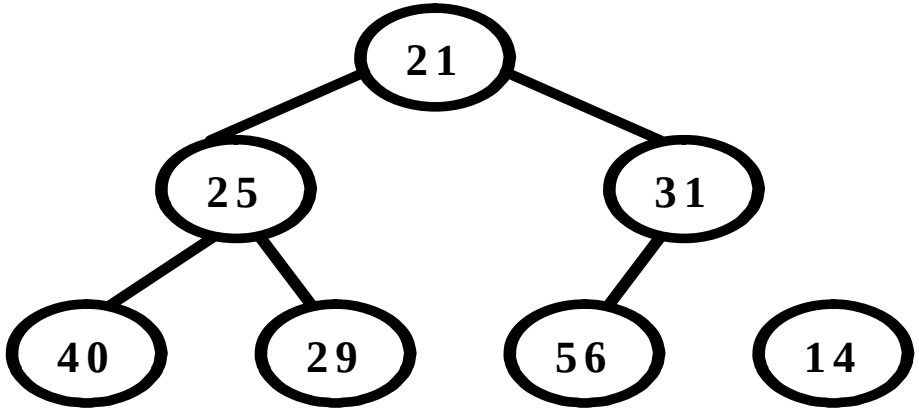
©版权所有，转载或翻印必究

置换选择示例（2）



©版权所有，转载或翻印必究

置换选择示例（3）

输 入	存 储	输 出
		
35		21

©版权所有，转载或翻印必究

置换选择算法的实现

```
//模板参数Elem代表数组中每一个元素的类型
//A是从外存读入n个元素后所存放的数组
//in和out分别是输入和输出文件名
template <class Elem>
void replacementSelection(Elem * A, int n,
const char * in, const char * out) {
```


©版权所有，转载或翻印必究

```
Elem mval;  //存放最小值堆的最小值
Elem r;  //存放从输入缓冲区中读入的元素
FILE * inputFile; //输入、输出文件句柄
FILE * outputFile;
Buffer<Elem> input; //输入、输出buffer
Buffer<Elem> output;
//初始化输入输出文件
 initFiles(inputFile, outputFile, in, out);
initMinHeapArry(inputFile, n, A);   //建堆
 MinHeap<Elem> H(A, n, n);
 initInputBuffer(input, inputFile);
```

©版权所有，转载或翻印必究

```
for(int last = (n-1); last >= 0;){
    mval = H.heapArray[0]; //最小值
    sendToOutputBuffer(input, output,
       inputFile, outputFile, mval);
    input.read(r);  //从输入缓冲区读入一个记录
    if(!less(r, mval))
        H.heapArray[0] = r; // r放到根结点
    else {  //last记录代替根结点，r放到last位置
        H.heapArray[0]= H.heapArray[last];
        H.heapArray[last] = r;
        H.setSize(last--);
    }
     H.SiftDown(0);              //调整根结点
} //for
endUp(output, inputFile, outputFile);  }
```

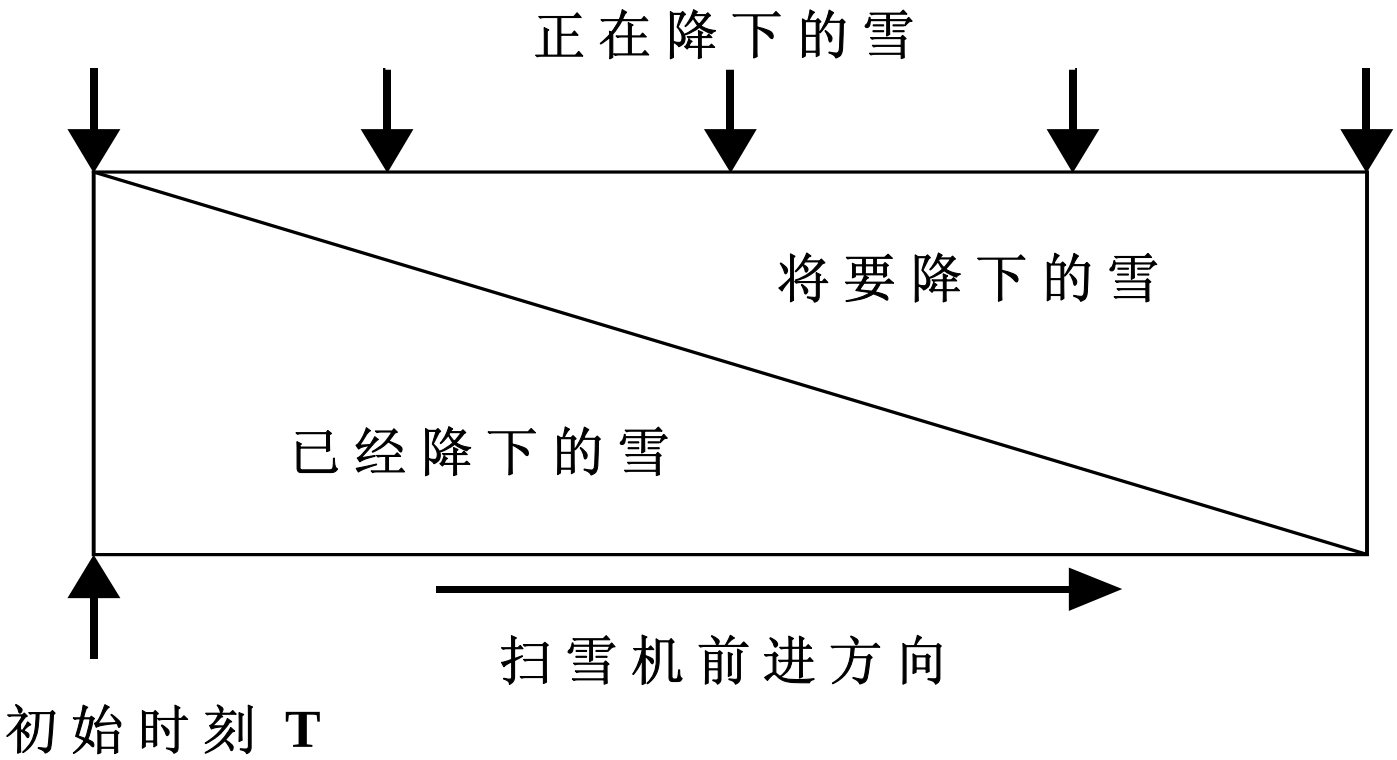
置换选择算法的效果

如果堆的大小是M

- 一个顺串的最小长度就是M个记录
  - 至少原来在堆中的那些记录将成为顺串的一部分
- 最好的情况下，例如输入已经被排序，有可能一次就把整个文件生成为一个顺串。


©版权所有，转载或翻印必究

扫雪机模型



- 扫雪机模型显示扫雪机在环绕一圈过程中的行为。根据“扫雪机”模型的分析，可以预计平均情况下顺串总长度是数组长度的两倍。

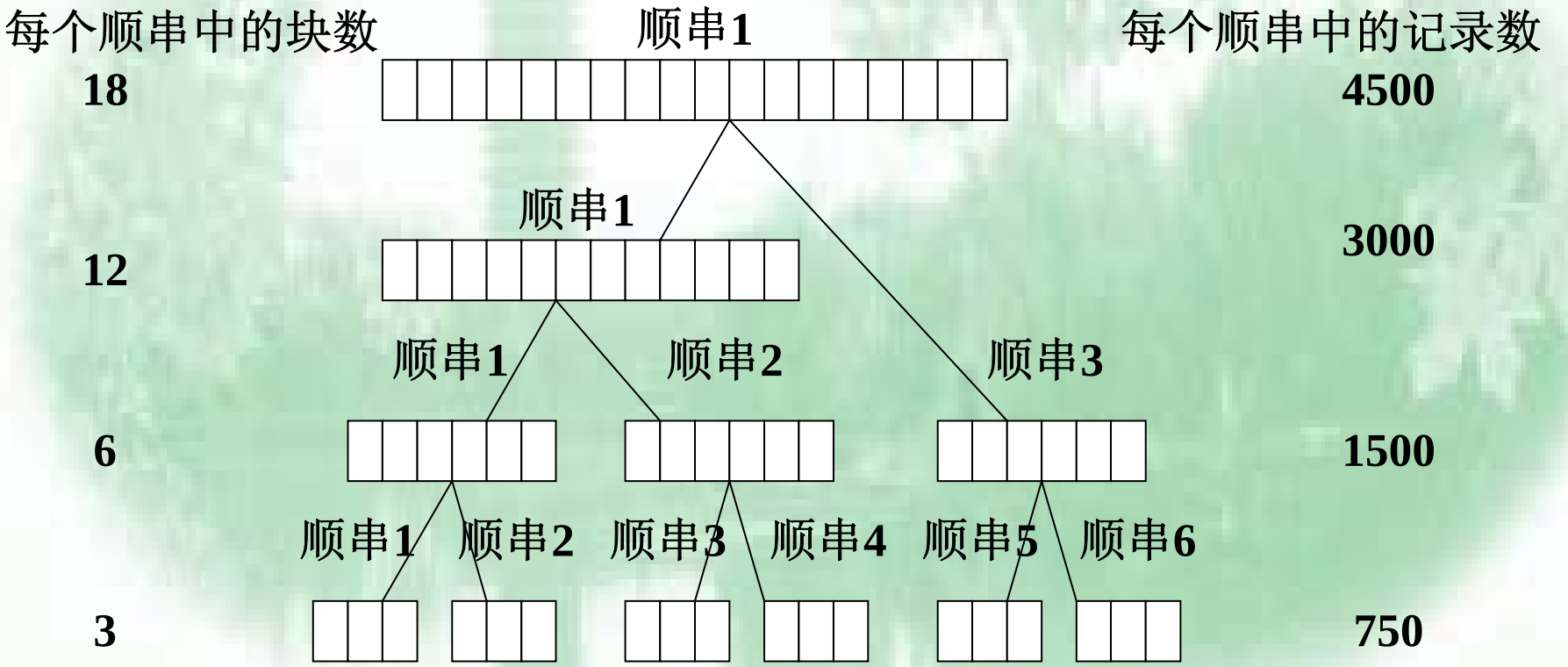
©版权所有，转载或翻印必究

8.5.2 二路外排序

- 归并原理：把第一阶段所生成的顺串加以合并(例如通过若干次二路合并)，直至变为一个顺串为止，即形成一个已排序的文件。

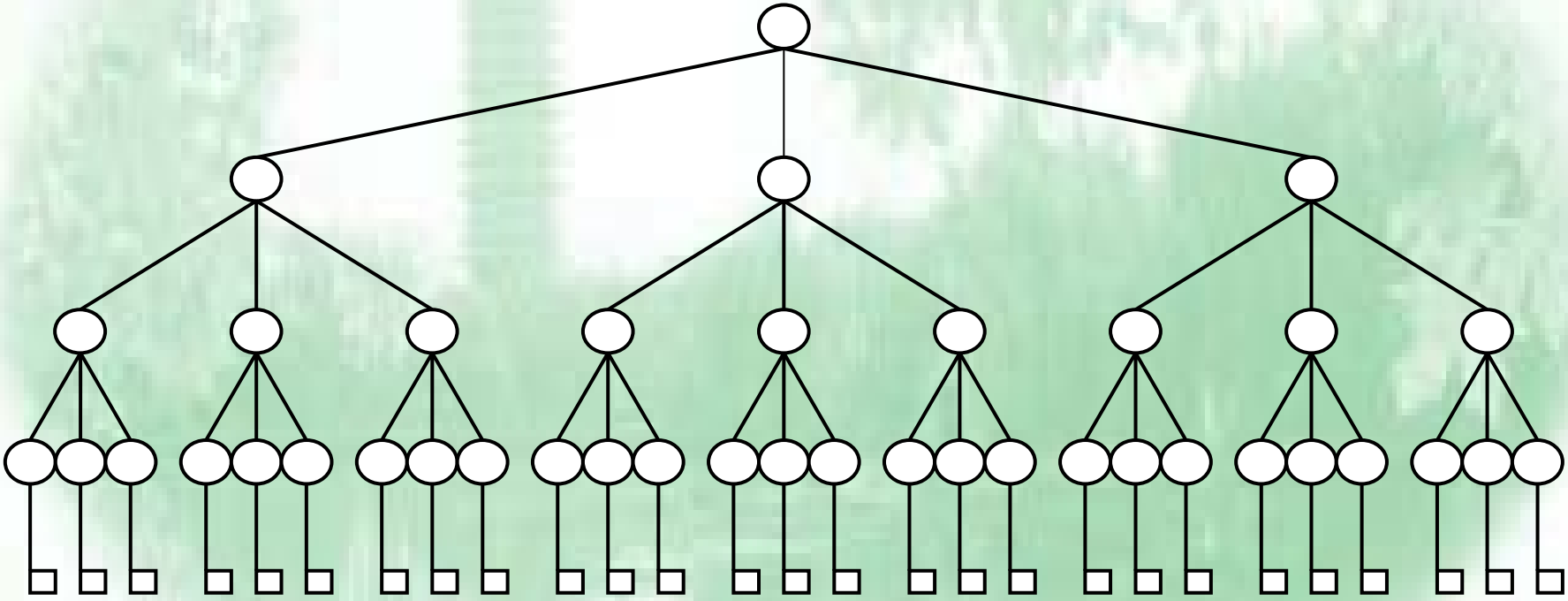

©版权所有，转载或翻印必究

二路归并外排序



©版权所有，转载或翻印必究

多路归并



三路归并

©版权所有，转载或翻印必究

8.5.3 多路归并——选择树

- 在K路归并中，最直接的方法就是作K-1次比较来找出所要的记录，但这样做花的代价较大，我们采用选择树的方法来实现K路归并。
- 选择树是完全二叉树，有两种类型：赢者树和败方树。

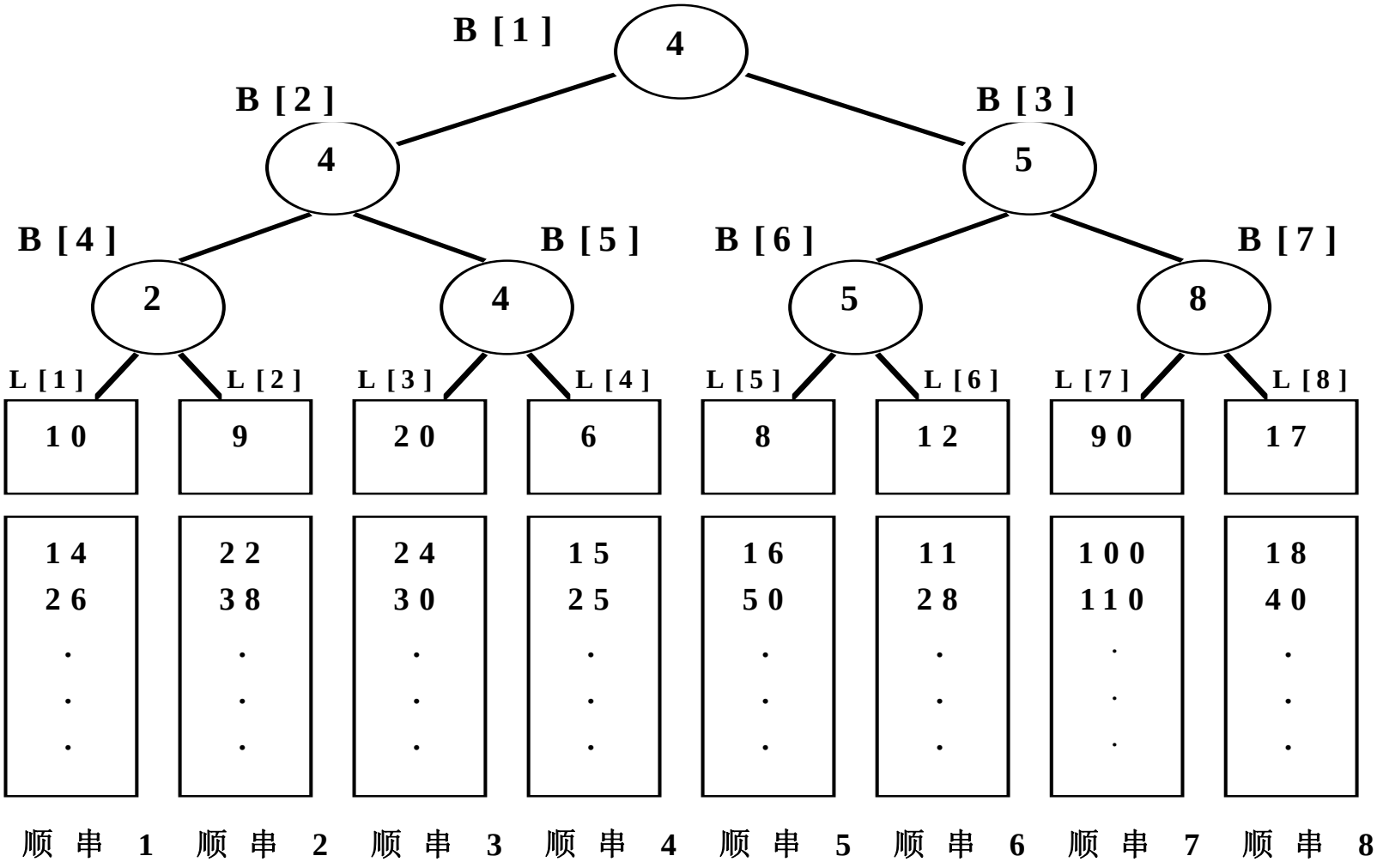

©版权所有，转载或翻印必究

赢者树

- 叶子结点用数组L表示
  - 代表各顺串在合并过程中的当前记录（图中标出了它们各自的关键码值）；
- 分支结点用数组B表示
  - 每个分支结点代表其两个儿子结点中的赢者(关键码值较小的)所对应数组L的索引。
- 因此，根结点是树中的最终赢者的索引，即为下一个要输出的记录结点。


©版权所有，转载或翻印必究

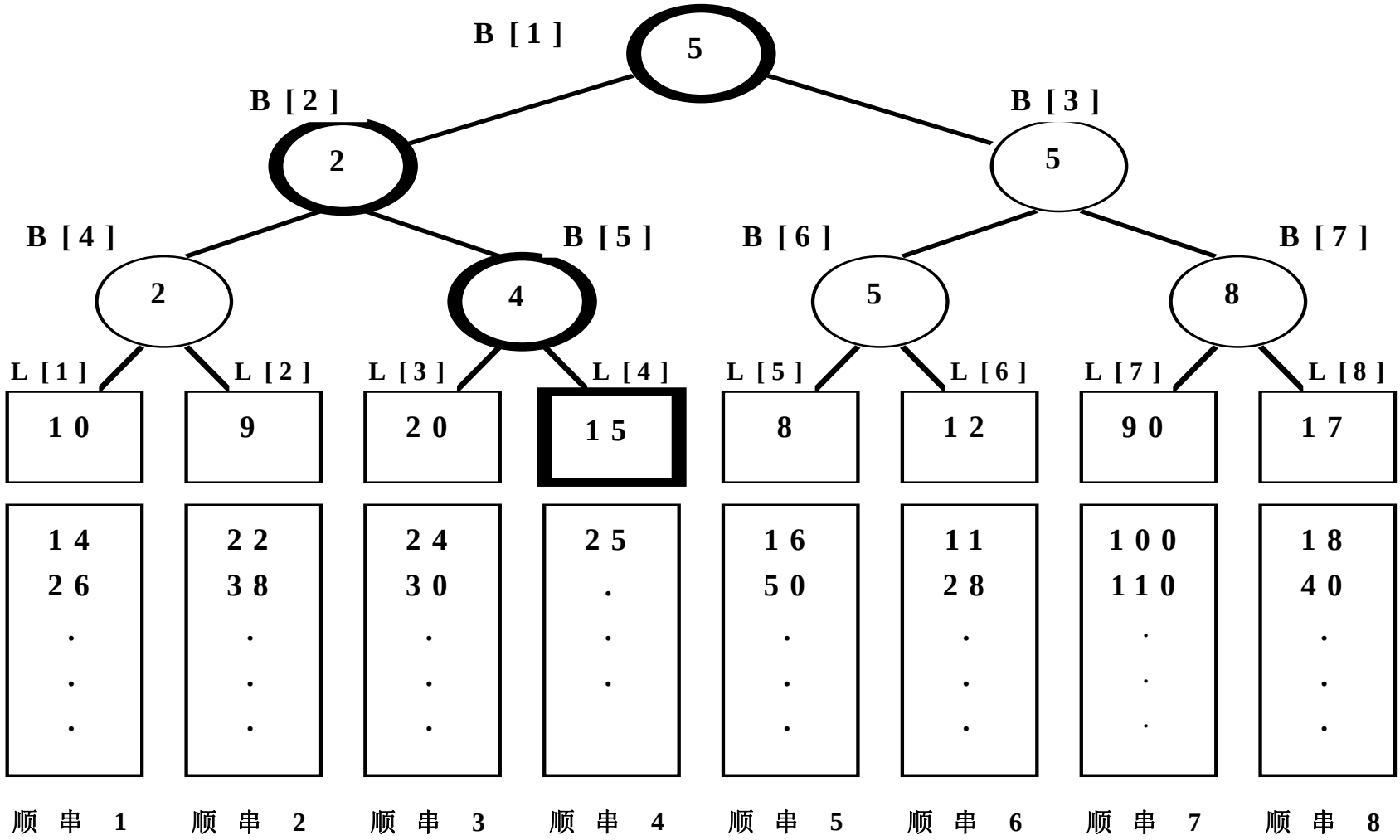
赢者树示例（1）



根结点所指向的L[4]记录具有最小的关键码值6，它所指的记录是顺串4的当前记录，该记录即为下一个要输出的记录。

©版权所有，转载或翻印必究

赢者树示例（2）



重构后的赢者树，改动的节点用较粗的框显示出来。为了重构这颗树，只须沿着从结点**L[4]**到根结点的路径重新进行比赛。

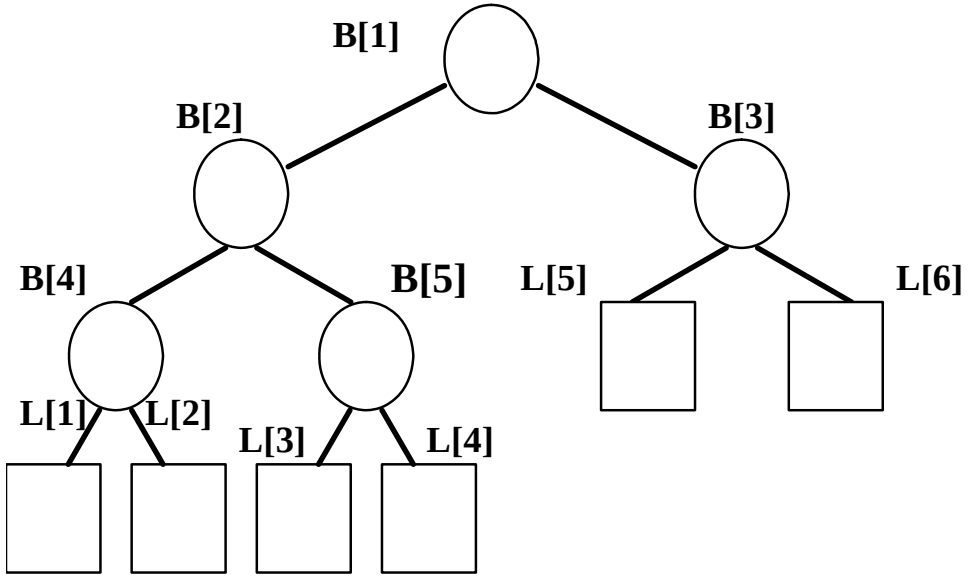
©版权所有，转载或翻印必究

赢者树ADT

```
template<class T>
class WinerTree{
public:
Create();                          //创建一个空的赢者树
   Iitialize(T a[], int n);   //返回比赛的赢者
   Replay(i);          //选手i变化时，重建赢者树
};
```


©版权所有，转载或翻印必究

赢者树与数组的对应关系

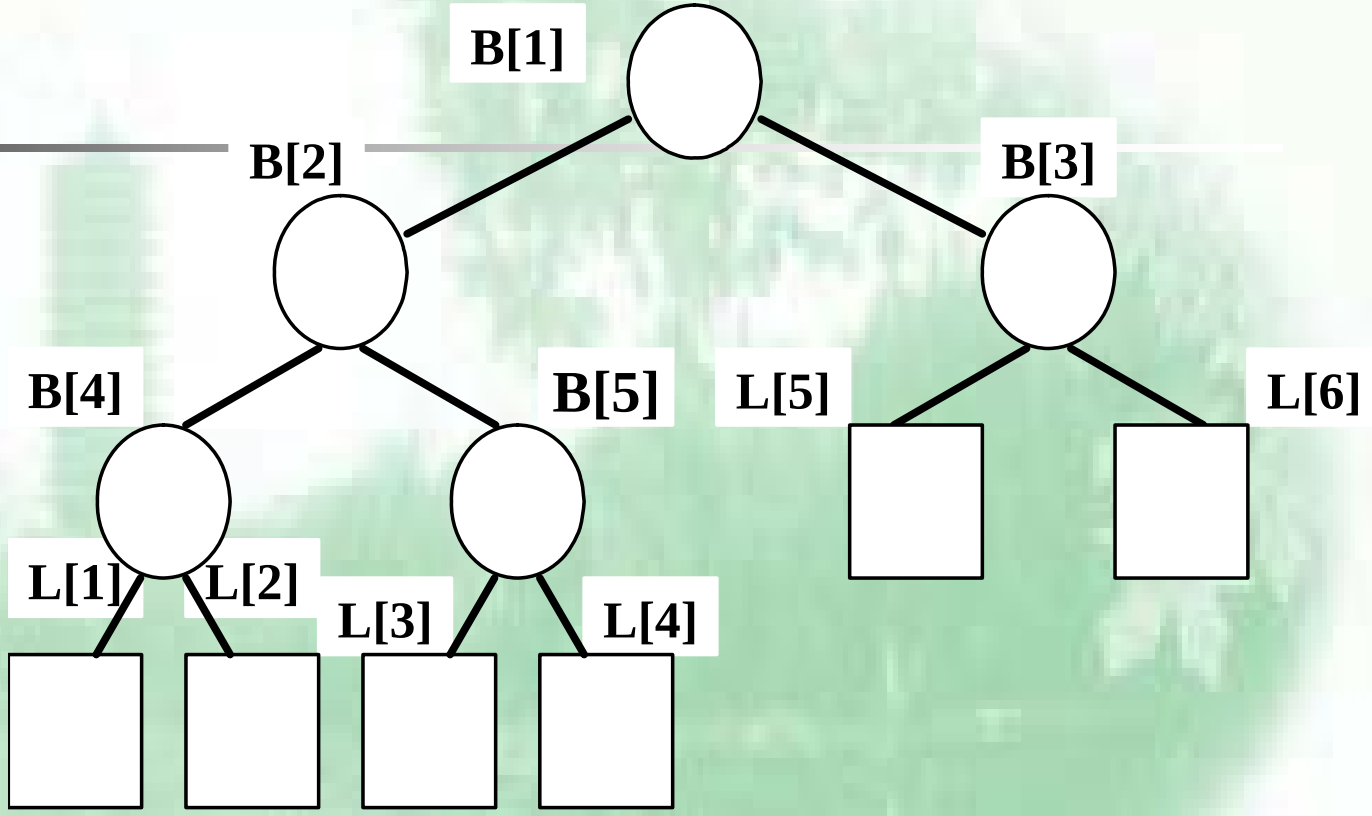


外部结点的数目为**n**，**LowExt**代表最底层的外部结点数目；**offset**代表最底层外部结点之上(内部+LowExt之外的外部)所有结点数目。每一个外部结点**L[i]**所对应的内部结点**B[p]**，**i**和**p**之间存在如下的关系：

$$p = \begin{cases} (i + offset)/2 & i \le LowExt \\ (i - LowExt + n - 1)/2 & i > LowExt \end{cases}$$

©版权所有，转载或翻印必究

- n=6, LowExt=4, Offset=7
- LowExt + Offset = 2n-1



$$\begin{cases} (i + offset)/2 & i \le LowExt \\ (i - LowExt + n - 1)/2 & i > LowExt \end{cases}$$

©版权所有，转载或翻印必究

赢者树的类定义

```
template<class T>
class WinnerTree{
   private:
        int MaxSize;  //允许的最大选手数
        int n;              //当前大小
        int LowExt;   //最低层的外部结点数
        int offset;    //2^{s+1}—1
        int * B;       //内部结点数组
        T * L;         //外部结点数组
     void Play(int p, int lc, int rc, int(* winner)(T A[], int b, int c));
```

©版权所有，转载或翻印必究

赢者树的类定义（续）

```
public:
    WinnerTree(int Treesize = MAX);
    ~WinnerTree(){delete [] B;}

    void Initialize(T A[], int size,int (*winner)(T A[], int
    b, int c)); //初始化赢者树
    int Winner();//返回最终胜者的索引
    void RePlay(int i, int(*winner)(T A[], int b, int c));
    //位置i的外部选手改变后重构赢者树
};
```


©版权所有，转载或翻印必究

败方树

- 每个非叶结点均存放其两个子结点中的败方所对应叶结点的索引值。
- 此外，还另加结点**B[0]**代表比赛的全局获胜者的索引值。

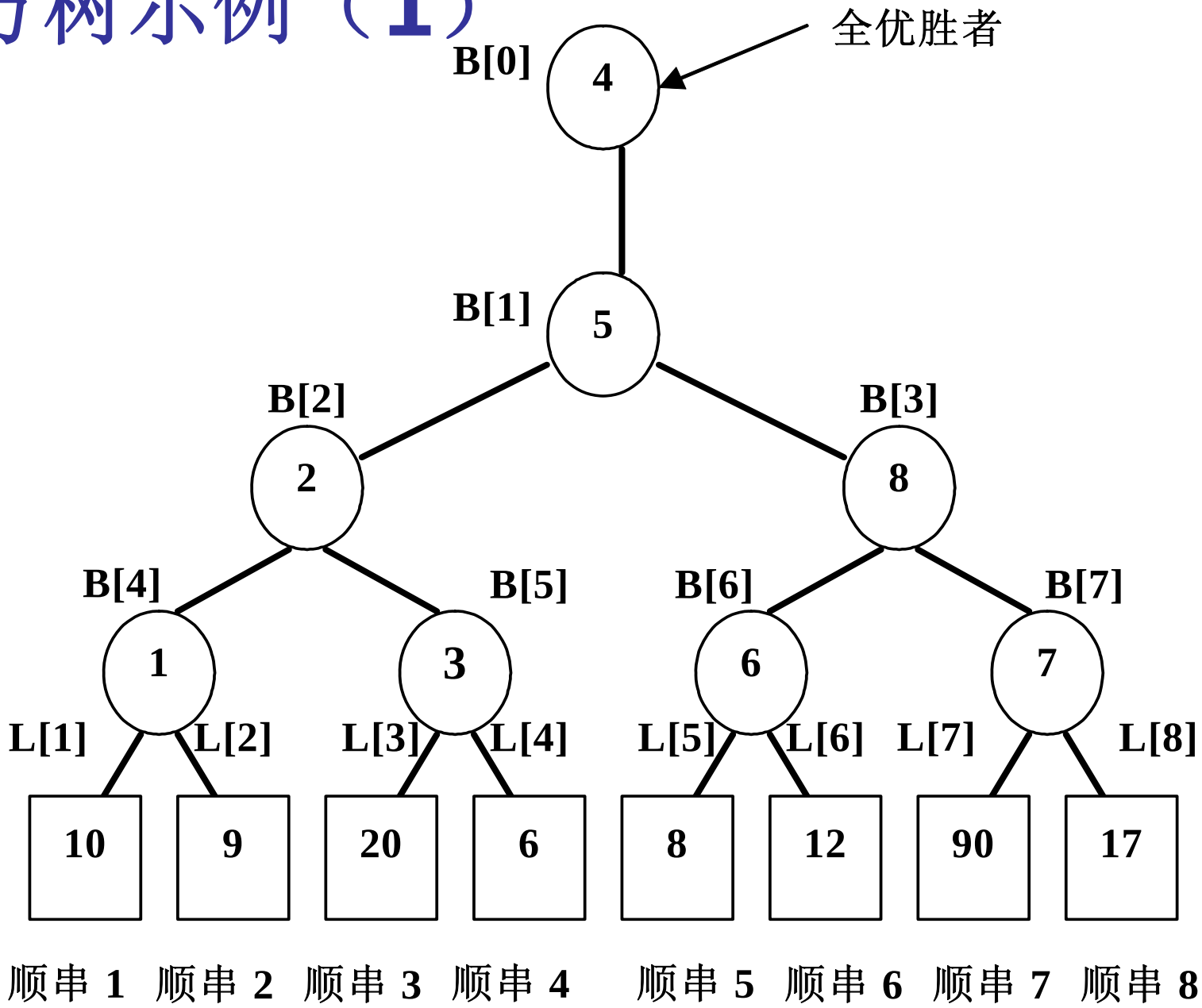

©版权所有，转载或翻印必究

败方树比赛过程

- 将新进入树的结点与其父结点比赛
  - 把败者存放在父结点中
  - 把胜者再与上一级的父结点进行比赛
- 这样的比赛不断进行，直到结点B[1]处比完
  - 把败者的索引放在结点B[1]
  - 把胜者的索引放到结点B[0]

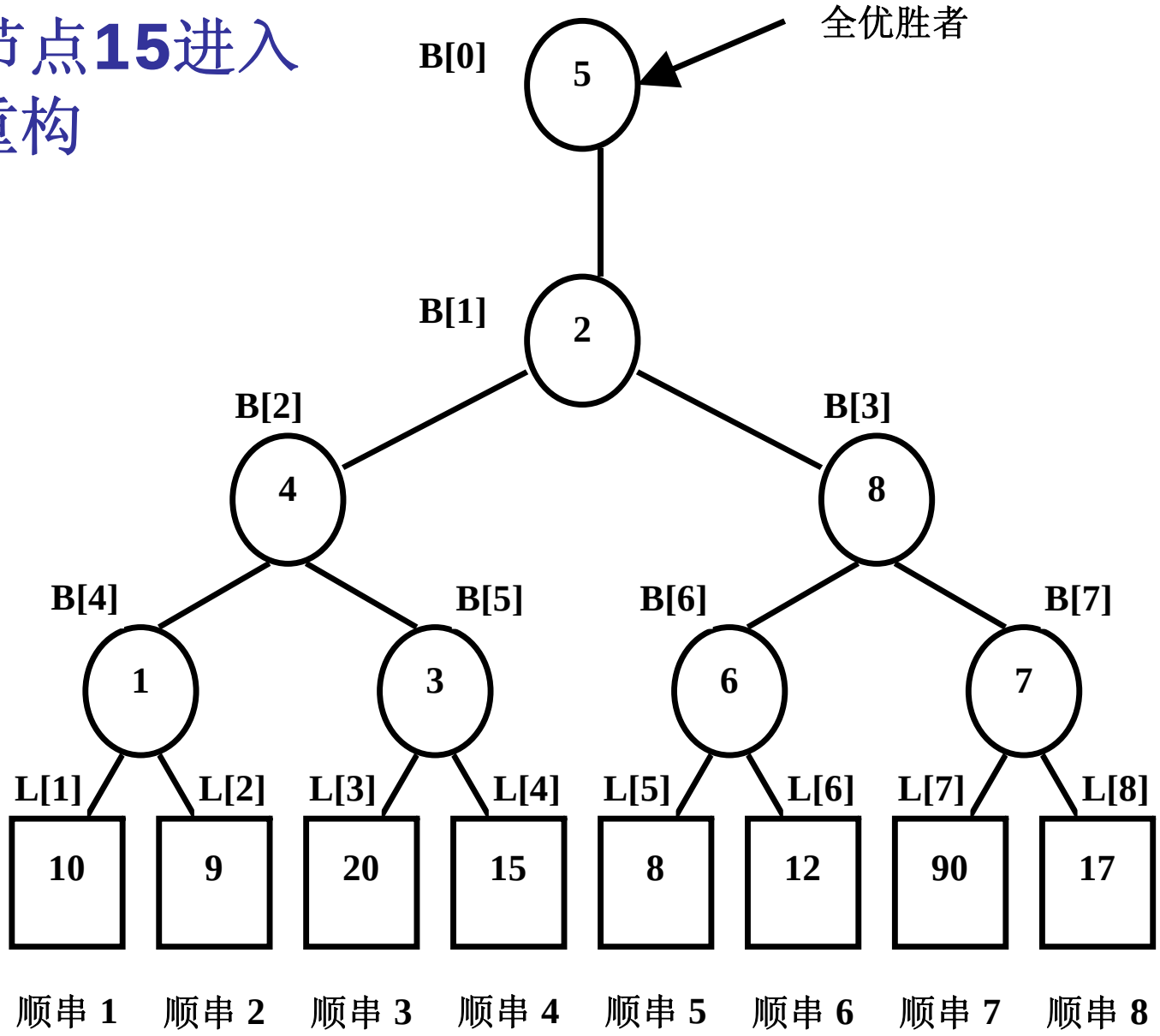

©版权所有，转载或翻印必究

败方树示例（1）



©版权所有，转载或翻印必究

败方树示例（2）：L[4]节点15进入后做重构



©版权所有，转载或翻印必究

败方树 ADT

```
template<class T>
class LoserTree{
   private:
        int MaxSize;        //最大选手数
        int n; //当前选手数
        int LowExt;         //最底层外部结点数
        int offset;    //最底层外部结点之上的结点总数
        int * B;       //败方树数组，实际存放的是下标
        T * L;         //元素数组
 void Play(int p,int lc,int rc,int(*winner)(T A[],int b,int c));
```


©版权所有，转载或翻印必究

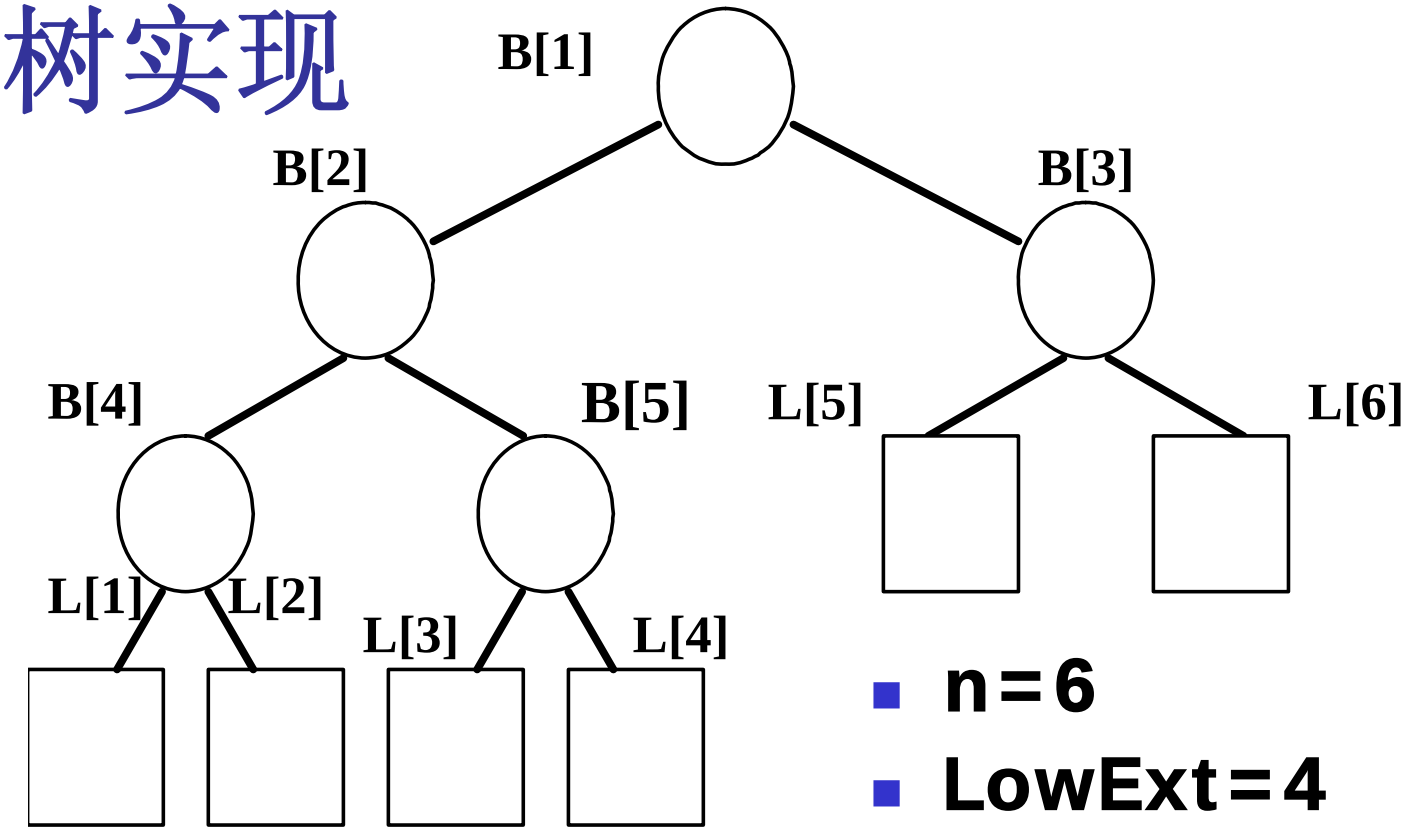
败方树ADT（续）

```
public:
   LoserTree(int Treesize = MAX);
   ~LoserTree(){delete [] B;}
  void Initialize(T A[], int size,int (*winner)(T A[], int b,
   int c), int(*loser)(T A[], int b, int c));   //初始化败方树
   int Winner(); //返回最终胜者索引

  //位置i的选手改变后重构败方树
   void RePlay(int i, int(*winner)(T A[], int b, int c), int
   (*loser)(T A[], int b, int c));};
```


©版权所有，转载或翻印必究

败方树实现



- n=6
- LowExt=4
- Offset=7

$$\begin{cases} (i + offset)/2 & i \le LowExt \\ (i - LowExt + n - 1)/2 & i > LowExt \end{cases}$$

败方树 ADT

```
template<class T>
class LoserTree{
   private:
        int MaxSize;        //最大选手数
        int n; //当前选手数
        int LowExt;         //最底层外部结点数
        int offset;    //最底层外部结点之上的结点总数
        int * B;       //败方树数组，实际存放的是下标
        T * L;         //元素数组
void Play(int p,int lc,int rc,int(*winner)(T A[],int b,int c));
```


©版权所有，转载或翻印必究

败方树ADT（续）

```
public:
   LoserTree(int Treesize = MAX);
   ~LoserTree(){delete [] B;}
  void Initialize(T A[], int size,int (*winner)(T A[], int b,
   int c), int(*loser)(T A[], int b, int c));   //初始化败方树
   int Winner(); //返回最终胜者索引

  //位置i的选手改变后重构败方树
   void RePlay(int i, int(*winner)(T A[], int b, int c), int
   (*loser)(T A[], int b, int c));};
```


©版权所有，转载或翻印必究

败方树的实现

```
//构造函数
template<class T>
LoserTree<T>::LoserTree(int TreeSize){
    MaxSize = TreeSize;
    B = new int[MaxSize];
    n = 0;
}
//析构函数
template<class T>
LoserTree<T>::~LoserTree(){
    delete [] B;
}
```

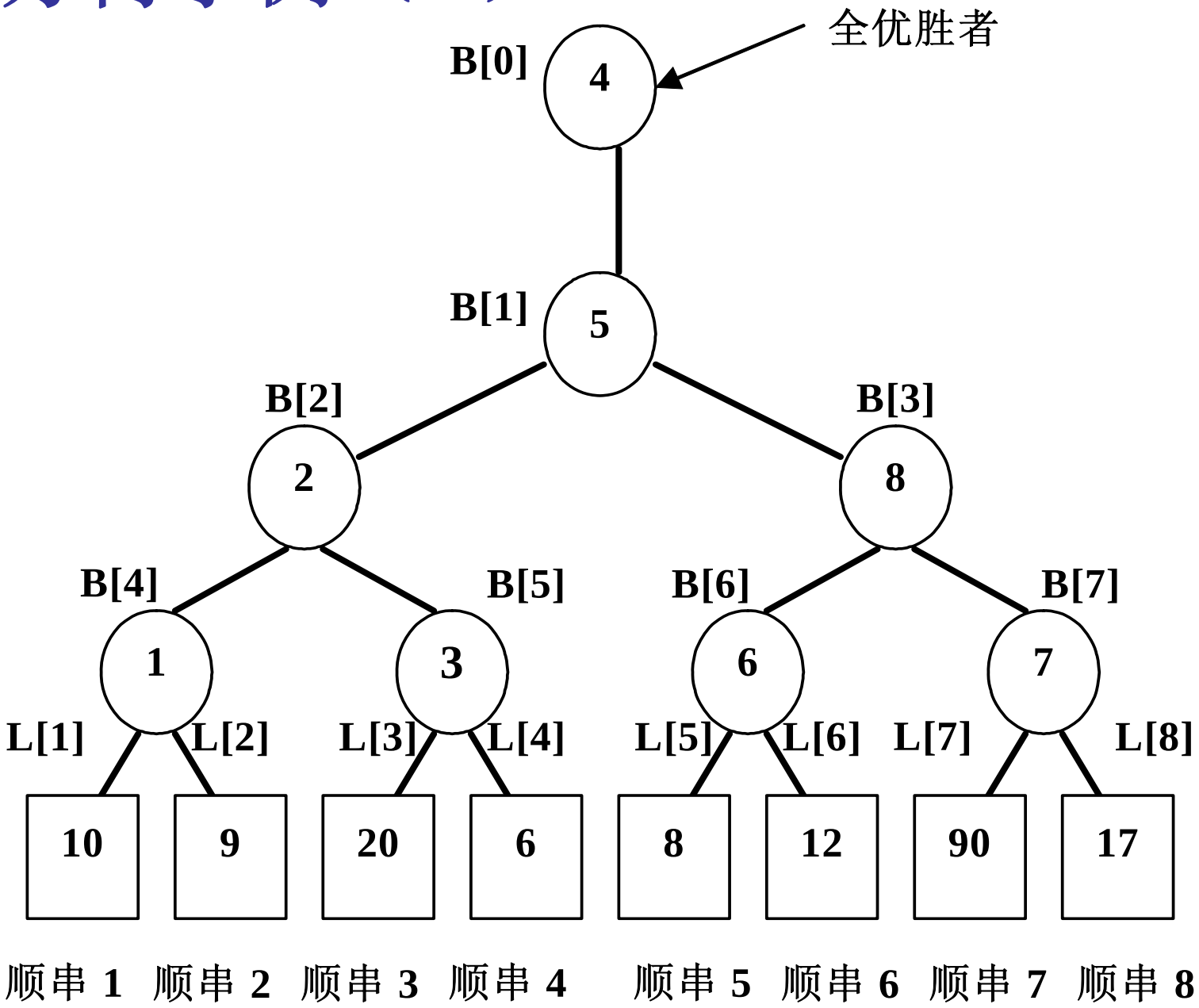
©版权所有，转载或翻印必究

败方树的实现（续1）

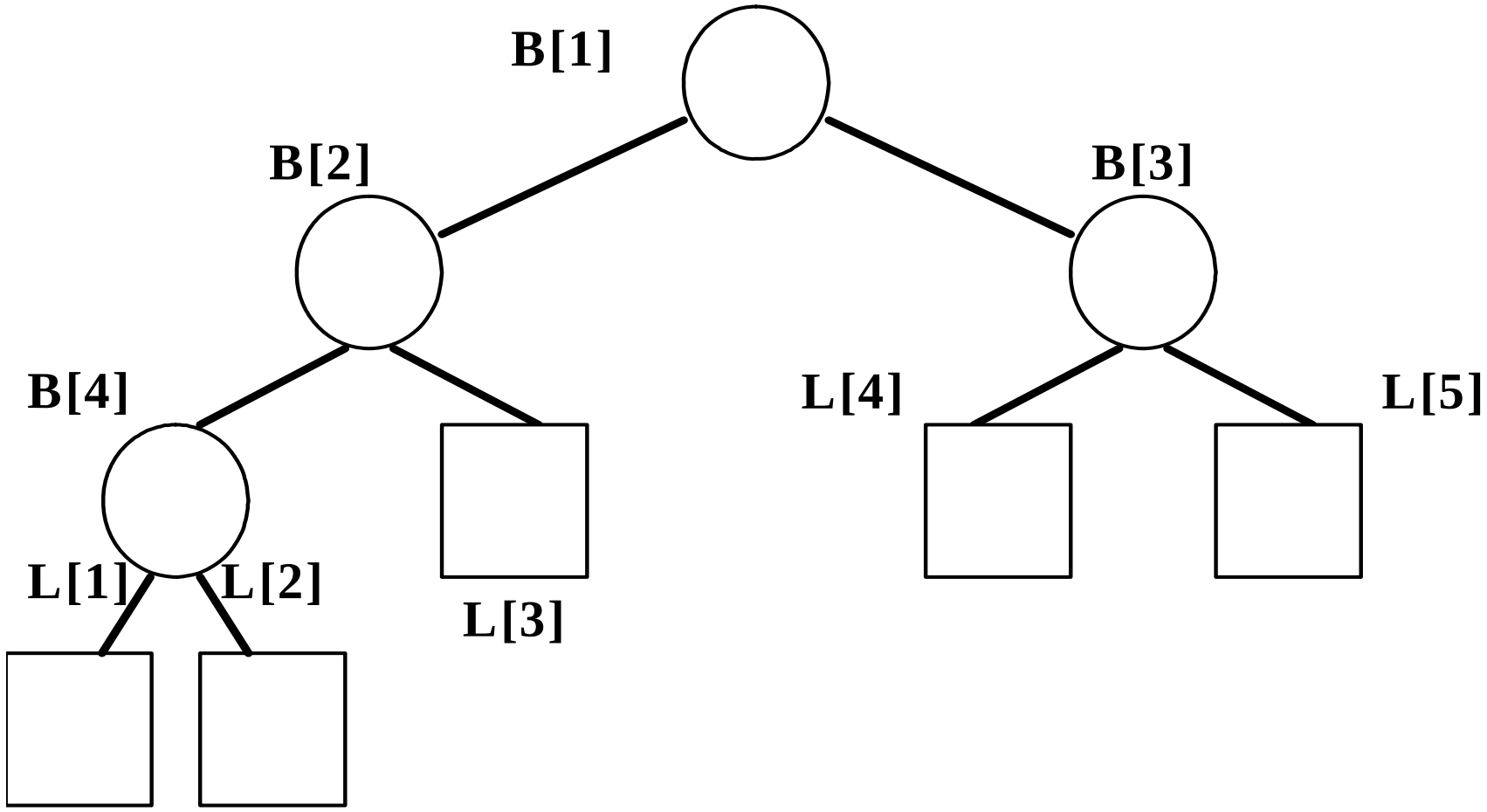
```
//成员函数Winner，返回最终胜者的索引
//在败方树中这个索引存放在B[0]中
template<class T>
int LoserTree<T>::Winner(){
   return (n)?B[0]:0;
}
```


©版权所有，转载或翻印必究

败方树示例（1）


全优胜者
B[0]
4
B[1]
5
B[2]
2
B[3]
8
B[4]
1
B[5]
3
B[6]
6
B[7]
7
L[1]
L[2]
L[3]
L[4]
L[5]
L[6]
L[7]
L[8]
10
9
20
6
8
12
90
17
顺串 1
顺串 2
顺串 3
顺串 4
顺串 5
顺串 6
顺串 7
顺串 8

外部结点数n为奇数



```
template<class T>  //初始化败方树
void  LoserTree<T>::Initialize(T  A[],  int  size,
   int(*winner)(T  A[],  int  b,  int  c),  int(*loser)(T
   A[], int b, int c)) {
   if(size > MaxSize || size < 2){
        cout<<"Bad Input!"<<endl<<endl;
        return;    }
   n = size;   L = A;    //初始化成员变量
   int i,s;
   //计算s=2^log(n-1)
   for (s = 1; 2*s <= n-1; s+=s);
   LowExt = 2*(n-s);
   offset = 2*s-1;
```


©版权所有，转载或翻印必究

```
for (i = 2; i <= LowExt; i+=2) //底层外部
    Play((offset+i)/2, i-1, i, winner, loser);
if (n%2) {//此时n为奇数，一次内部和外部比赛
    //这里用L[LowExt+1]和它的父结点比赛
    //因为此时它的父结点中存放的是
     //其兄弟结点处的比赛胜者索引
    Play(n/2,B[(n-1)/2],LowExt+1,winner,loser);
    i = LowExt+3;
}
else i = LowExt+2;
for(; i<=n; i+=2)   //剩余外部结点的比赛
    Play((i-LowExt+n-1)/2, i-1, i, winner, loser);
}
```

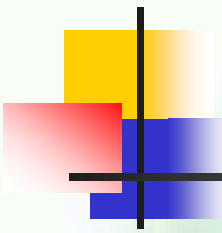

©版权所有，转载或翻印必究

Play

```
//成员函数Play负责在内部结点B[p]处开始比赛
template<class T>
void LoserTree<T>::Play(int p, int lc, int rc, int(*
   winner)(T A[], int b, int c), int(* loser)(T A[],
   int b, int c)){
        B[p] = loser(L, lc, rc);//败者索引放在B[p]
        int temp1, temp2;
        temp1 = winner(L, lc, rc);//p处的胜者索引
```

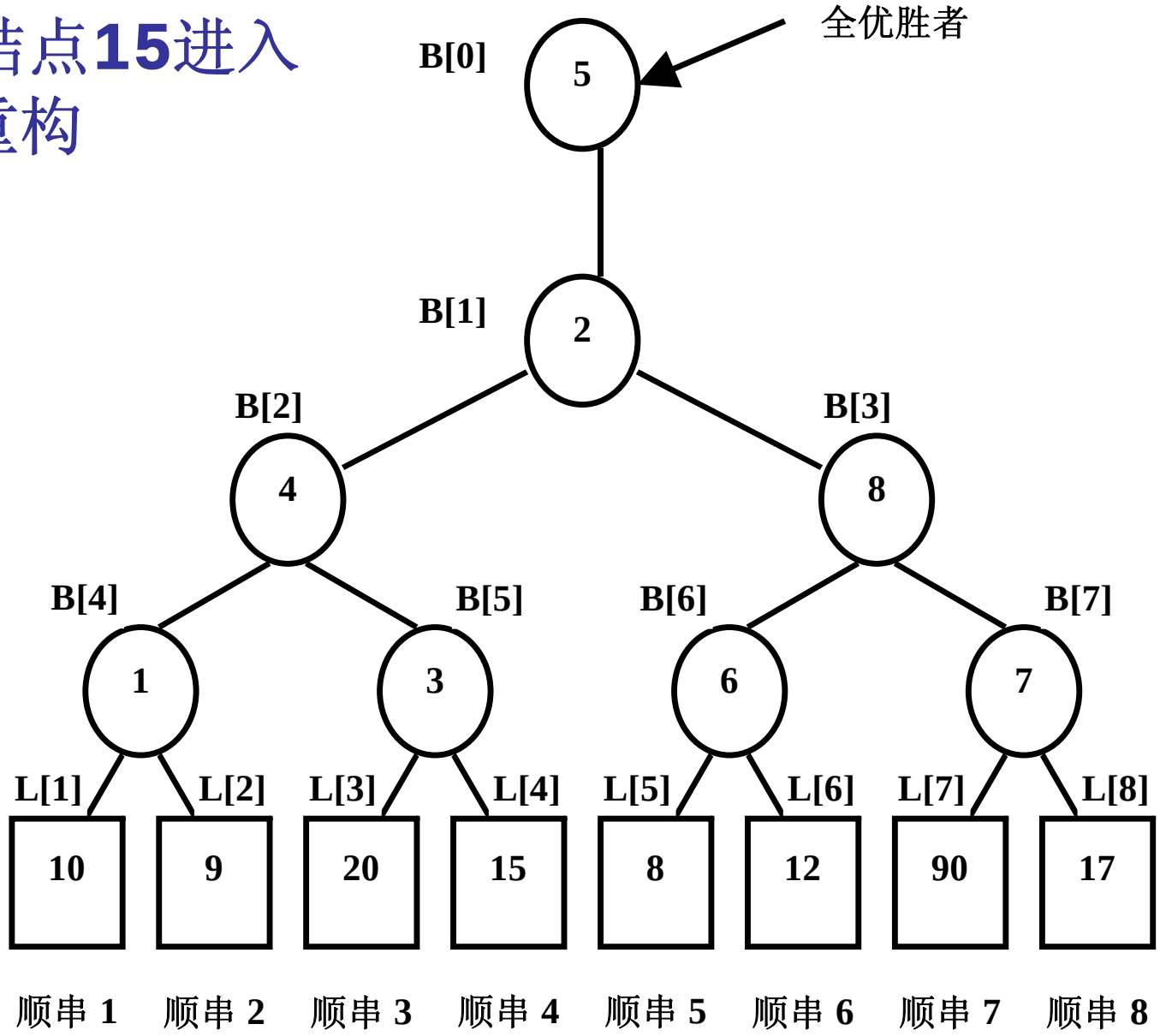
©版权所有，转载或翻印必究

```
while(p>1 && p%2){ //内部右，要沿路向上比赛
    //和B[p]的父结点所标识的外部结点相比较
    //p的胜者和p的父结点比，赢者存在temp2中
    temp2 = winner(L, temp1, B[p/2]);
    B[p/2] = loser(L, temp1, B[p/2]); //败者索引
    temp1 = temp2;
    p/=2;
 }//B[p]是左孩子，或者B[1]
 //在B[p]的父结点
 B[p/2] = temp1;
}
```



©版权所有，转载或翻印必究

败方树示例（2）：L[4]结点15进入后做重构



©版权所有，转载或翻印必究

RePlay重构

```
template<class T>
void LoserTree<T>::RePlay(int i, int (*winner)(T
   A[], int b, int c), int (*loser)(T A[], int b, int c)){
   if(i <= 0 || i > n)  {
        cout<<"Out of Bounds!"<<endl<<endl;
        return;}
   if(i <= LowExt)  //确定父结点的位置
         int  p = (i+offset)/2;
   else  p = (i-LowExt+n-1)/2;
```

©版权所有，转载或翻印必究

```
//B[0]中始终保存胜者的索引
 B[0] = winner(L, i, B[p]);
 //B[p]中保存败者的索引
 B[p] = loser(L, i, B[p]);
//沿路径向上比赛
 for(; (p/2)>=1; p/=2){
   int temp;//临时存放赢者的索引
   temp = winner(L,B[p/2], B[0]);
   B[p/2] = loser(L,B[p/2], B[0]);
   B[0] = temp;
} }
```

©版权所有，转载或翻印必究

利用败方树的多路归并排序算法

```
// lt－败方树，racer－最初的竞赛者，
// bufferPool－缓冲池，f－输入/输出文件句柄数组
//这里输出文件句柄是f[0]，输入文件句柄是f[1]到
//f[MAX]，MAX为输入文件的数目
//NO_MEANING宏代表一个极大值
template <class T>
void multiMerge(LoserTree<T> & lt, T * racer,
    Buffer<T> * bufferPool, FILE * * f){
    int winner;        //最终胜者索引
    T read;    //读出的数据置放在里面
```


©版权所有，转载或翻印必究

```
//初始化败方树
 lt.Initialize(racer, MAX, Winner, Loser);

//以下处理f[1]到f[MAX]所代表的
 //MAX个输入顺串，
 //并把结果输出到f[0]所代表的输出顺串中

 //取得最终胜者索引
 winner = lt.Winner();
```

©版权所有，转载或翻印必究

```
while(racer[winner] != NO_MEANING){
    if(bufferPool[0].isFull())
        bufferPool[0].flush(f[0]);
    bufferPool[0].insert(racer[winner]);
    if(bufferPool[winner].isEmpty()==false)
        bufferPool[winner].read(racer[winner]);
    else {  //输入缓冲区为空
        if(!feof(f[winner])){
            fillBuffer(f[winner], bufferPool[winner]);
            bufferPool[winner].read(racer[winner]);
        } //if
```

©版权所有，转载或翻印必究

```
        else{//对应的输入文件没有数据
            //在racer[winner]位置放NO_MEANING
            racer[winner] = NO_MEANING;
        }//else
    }//else
    //重新进行比赛，取得胜者索引
    lt.RePlay(winner, Winner<int>, Loser<int>);
    winner = lt.Winner();
    }//while
    //把输出缓冲区中剩余的数据写进磁盘文件
    bufferPool[0].flush(f[0]);
}
```

back

©版权所有，转载或翻印必究

多路归并的限制 (1)

- 假设长度为M的工作内存作为输入区，一块作为输出区。
  - 一趟可以归并多少顺串？
  - 顺串长度可以是 2M块 (平均长度)
- 可以归并出来一个多大的文件呢？


©版权所有，转载或翻印必究

多路归并文件长度

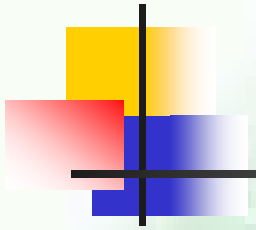
- 在r趟（层）k路归并中，平均可以处理 $2Mk^r$ 块
  - 置换—选择排序所生成初始顺串的平均长度是2M个块（M块的内存，扫雪机类比，平均顺串为2M块）
  - 一趟k路归并，2M * k = 2Mk 块 （一趟后顺串长）
  - r趟k路归并中，$2Mk^r$ 块

©版权所有，转载或翻印必究

多路归并文件长度示例

- 假设0.5MB的工作内存（管输入），一块为4KB
  - 在工作主存中会有128个块
    - 一趟可以归并128个顺串
  - 平均顺串长度是1MB(工作内存的两倍）
- 一趟归并 128 * 1MB = 128 MB
- 两趟归并就可以处理$2Mk^r = 2*0.5*128^2 = 128$（路）*128MB（每路） = 16GB 的文件(实16.78)

©版权所有，转载或翻印必究



- 对于固定大小的工作主存 M=k块 * v每块大小
  - 每块长度大一些（v大）
    - 但k就小些，如果同时做k路归并，在一趟归并中处理的文件长度小些
  - 每块长度小一些（v小）
    - 则k增加
    - 可以增加一趟归并所处理的文件长度
- 实际上v跟操作系统的一次I/O操作大小有关
- 本质上要增加k还是需要更大工作主存

©版权所有，转载或翻印必究

多路归并的限制(2)

- b个初始顺串，k路归并算法
  - 共需要r = $\lceil \log_k b \rceil$ 层
  - 假设每一层结点都排满，所有内部结点总数为：

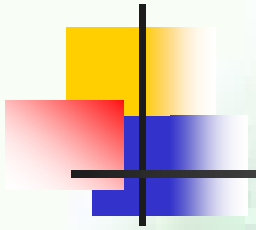
$$X = \sum_{i=1}^{r} k^{i-1} = \sum_{i=1}^{\log_k b} k^{i-1}$$

故内部结点数为

$$X=(k^r-1)/(k-1)=(b-1)/(k-1)$$

  - 需要(b-1)/(k-1) 次归并顺串的操作

©版权所有，转载或翻印必究



- 增加k（多路归并）或减少 b (置换—选择排序)可以减少归并次数。
- 顺串长度增加很快
  - 可以形成很大的文件


©版权所有，转载或翻印必究

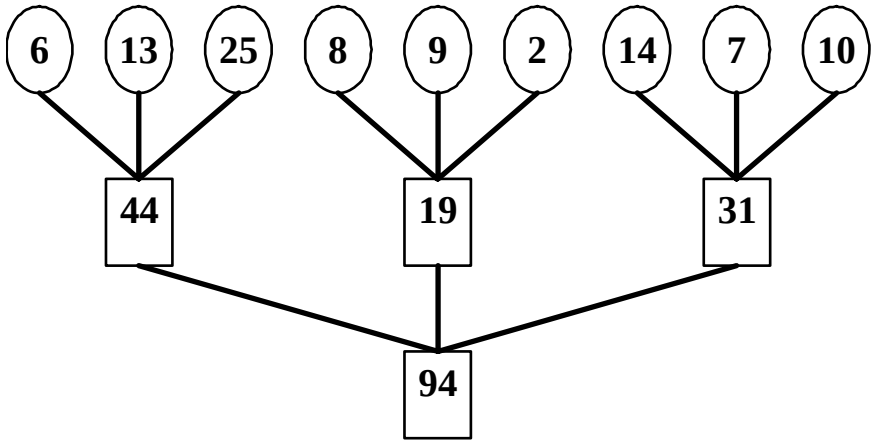
多路归并的效率

假设对k个顺串进行归并，归并后长n

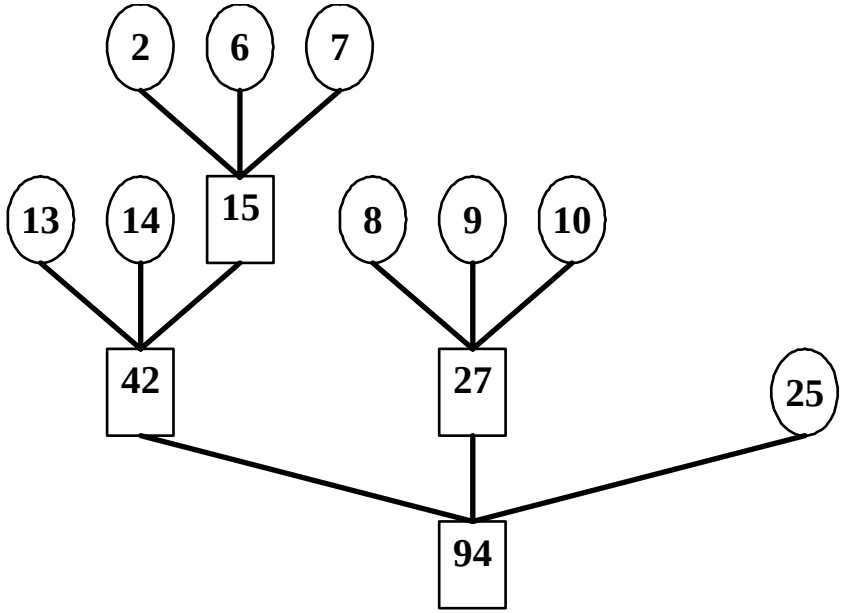
- 原始方法Θ (k·n)
  - 找到每一个最小值的时间是Θ(k)
- 败方树方法总时间为Θ (k+n·*log* k)
  - 初始化包含k个选手的败方树需要Θ (k)的时间
  - 读入一个新值并重构败方树的时间为Θ (*log* k)

©版权所有，转载或翻印必究

最佳归并树



(a)一棵普通的归并树



(b)最佳归并树

- 读写总次数次376　　读写总次数次356

©版权所有，转载或翻印必究

最佳归并树

- k路归并，各初始顺串的长度不同
  - 把初始顺串的物理块数作为树的叶结点权值，建立起一棵K叉Huffman树
- 可以使降低对外存的I/O操作，提高归并执行效率。
- 归并排序对外存的读（或写）次数正好是带权外部路径长度的总和。
  - 读写总次数为带权外部路径长度的总和的两倍


©版权所有，转载或翻印必究

最佳归并树

- 当初始归并顺串的数目不能构成满k叉Huffman树时，需附加长度为0的“虚”顺串。
  - n个初始顺串，k路归并
  - 若(n-1) % (k-1) == 0，则不需要加“虚”顺串
  - 否则需要附加k – (n-1)% (k-1) - 1个“虚”顺串，即第一次归并为(n-1) % (k-1) + 1路归并


©版权所有，转载或翻印必究

完全k叉归并树

- 设内部结点共有n_k个，外部结点（初始归并段的个数）为n个。设$s= n_k+ n$
- 从结点出发的边（出度），共计有：$k\times n_k$ 支；
- 若从进入结点的角度进行考虑（入度），则共有：$n_k+ n -1$
  - 注意：根结点入度 为0。
- 所以，$k\times n_k=n_k+ n -1$，即$n_k=(n -1) / (k -1)$
- 若$(n-1) \% (k -1) =0$，无需增加虚段。
- 否则，要增加虚段，其数目为：$k-1-(n -1) \% (k -1)$。


©版权所有，转载或翻印必究

本章总结

- 主存和外存的主要区别
- 磁盘的物理结构和工作方式
- 外存文件组织
- 缓冲区和缓冲池
- 外排序思想
- 置换选择排序
- 选择树（赢者树和败方树）
- 多路归并的效率


©版权所有，转载或翻印必究