

数据结构与算法

Data Structures and Algorithms

张岩

哈工大计算机科学与技术学院

第7章 文件与外排序





学习目标

- 掌握文件的相关概念；文件的各种组织方法及特点；查询、更新操作及其算法。
- 掌握外部排序的一般过程，熟练掌握适合外存特点的归并排序的相关技术。





本章主要内容

- 7.1 文件及文件操作
- 7.2 文件组织
- 7.3 磁盘文件的归并排序
- 7.4 磁带文件的归并排序
- 本章小结





7.1 文件及文件操作

相关概念

■ **文件**是用于表示驻留在外存储器中的数据，是同性质记录的有序集合。

■ **关键字**

主关键字

次关键字

记录	学号	姓名	性别	年龄	数学	语文	物理	其它
A	003	张 三	男	18	90	80	80	
B	008	李 四	女	17	90	90	80	
C	009	王 五	女	19	89	70	93	
D	010	陈 中	男	19	66	77	68	
E	011	孙 二	男	18	91	88	78	
F	012	林 森	女	20	60	59	67	





7.1 文件及文件操作

文件的逻辑结构和物理结构

- **逻辑结构**: 呈现给用户, 描述记录间的逻辑关系;
- **物理结构**: 存储结构, 记录在存储器中的组织, 连续, 链式等

文件操作

- **操作**: ● INSERT ● DELETE ● MODIFY
● RETRIEVE

- **检索方式**: 实时 or 成批

- **更新方式**: 实时 or 成批

- **查询方式**:

● Q1: 简单查询 Q2: 范围查询

● Q3: 函数查询 Q4: 布尔查询





7.2 文件的组织

文件的组织方式

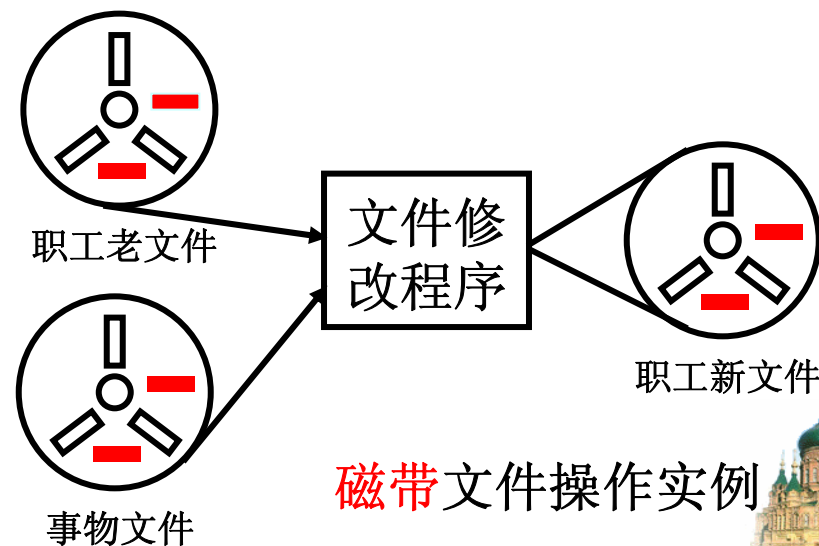
■ 顺序方式、索引方式、散列方式、链接方式

顺序方式:

- 文件的各个记录按逻辑顺序存放在外存的连续区内
- 记录的顺序往往是按主关键字的大小排列的
- 适合于Q1型查询，且检索与更新是成批进行的
- 适合磁带或磁盘

磁盘文件:

- 由柱面和磁道组成



磁带文件操作实例





7.2 文件的组织

索引方式:

- “索引”指的是记录的关键字值与记录驻留在外存的地址组成数对的集合。每个数对称为一个索引项。
- 索引文件在存储器上分两区：**索引区**和**数据区**
- 查找记录：分两步进行
- 删除记录：只删除索引
- 插入记录：先存数据，然后登记索引并重新排序
- 建立文件：按数据存入先后顺序建立索引，最后索引排序

示例:

人事档案示意文件

序号	姓名	记录内容	记录位置	
			柱面号	盘面号
1	An Cai	...	1	1

柱面索引

柱面的最大关键字	柱面号
Cai Long	1

盘面索引

盘面的最大关键字	盘面号
Pi Hong	1





7.2 文件的组织

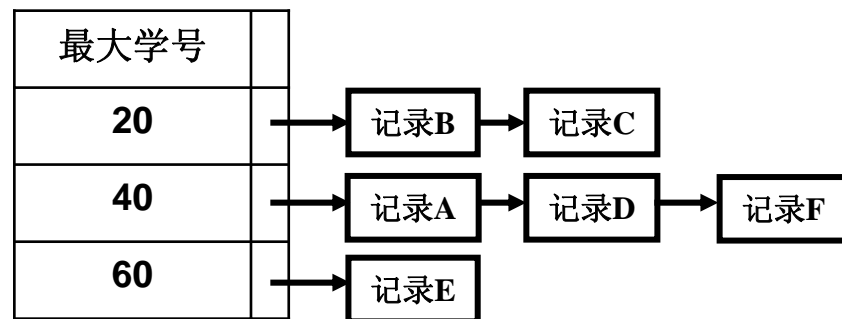
散列方式:

- 用散列 (HASH) 法组织的文件。特点是用一个散列函数 $H(key)$, 将关键字 key 映射为记录的地址, 即

$$\text{记录地址} = \text{HASH}(key)$$

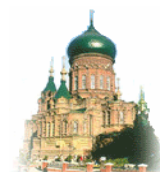
基本步骤:

- 确定记录数
- 存储单位 (桶) 记录数
- 确定桶数
- 设计 $\text{HASH}(key)$ 函数



➡ 链接方式: 多重索引, 在记录中保存链接

➡ 倒排方式: 在索引中保存链接





7.3 磁盘文件的归并排序

外部排序的概念

- 是指在排序的过程中，数据的主要部分存放在外存储器上，借助内存储器(作为工作单元)，来调整外存储器上数据的位置。

外部归并排序重点研究的问题

- 如何进行多路归并以减少文件的归并遍数;
- 如何巧妙地运用内存的缓冲区使I/O和CPU尽可能并行工作
- 根据外存的特点选择较好的产生初始归并段的方法。

分类:

- 磁盘和磁带归并排序
- 磁盘是随机存储设备; 磁带是顺序存储设备





7.3 磁盘文件的归并排序

外部排序归并方法的一般过程：分两个阶段

■ 第一阶段：

- 首先，将文件中的数据分段输入到内存，在内存中采用**内部排序**方法对其进行排序（排序完的文件段，称为**归并段run**），
- 然后将有序段写回外存。
- 整个文件经过**在内存逐段排序**又**逐段写回外存**，这样在外存中形成多个初始的归并段。

■ 第二阶段：

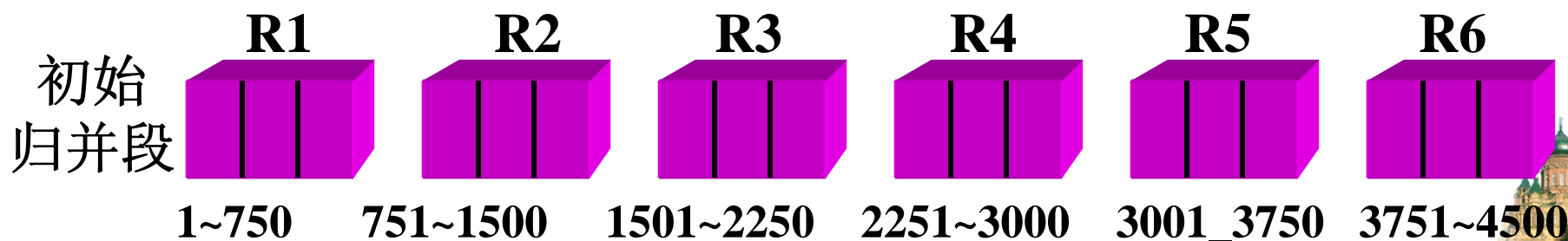
- 对这些初始归并段采用某种**归并排序**方法，进行多遍归并，最后形成整个文件的**单一归并段**（整个文件有序）。





7.3 磁盘文件的归并排序

- ➡ **示例：**设有一个包含4500个记录的输入文件。现用一台其内存至多可容纳750个记录的计算机对该文件进行排序。输入文件放在磁盘上，磁盘每个页块可容纳250个记录，这样全部记录可存储在 $4500 / 250 = 18$ 个页块中。输出文件也放在磁盘上，用以存放归并结果。
- ➡ 由于内存中可用于排序的存储区域能容纳750个记录，因此内存中恰好能存3个页块的记录。
- ➡ 在外排序一开始，把18块记录，每3块一组，读入内存。利用**某种内排序方法**进行内排序，形成初始**归并段**，再写回外存。总共可得到6个初始归并段。然后一趟一趟进行归并排序。





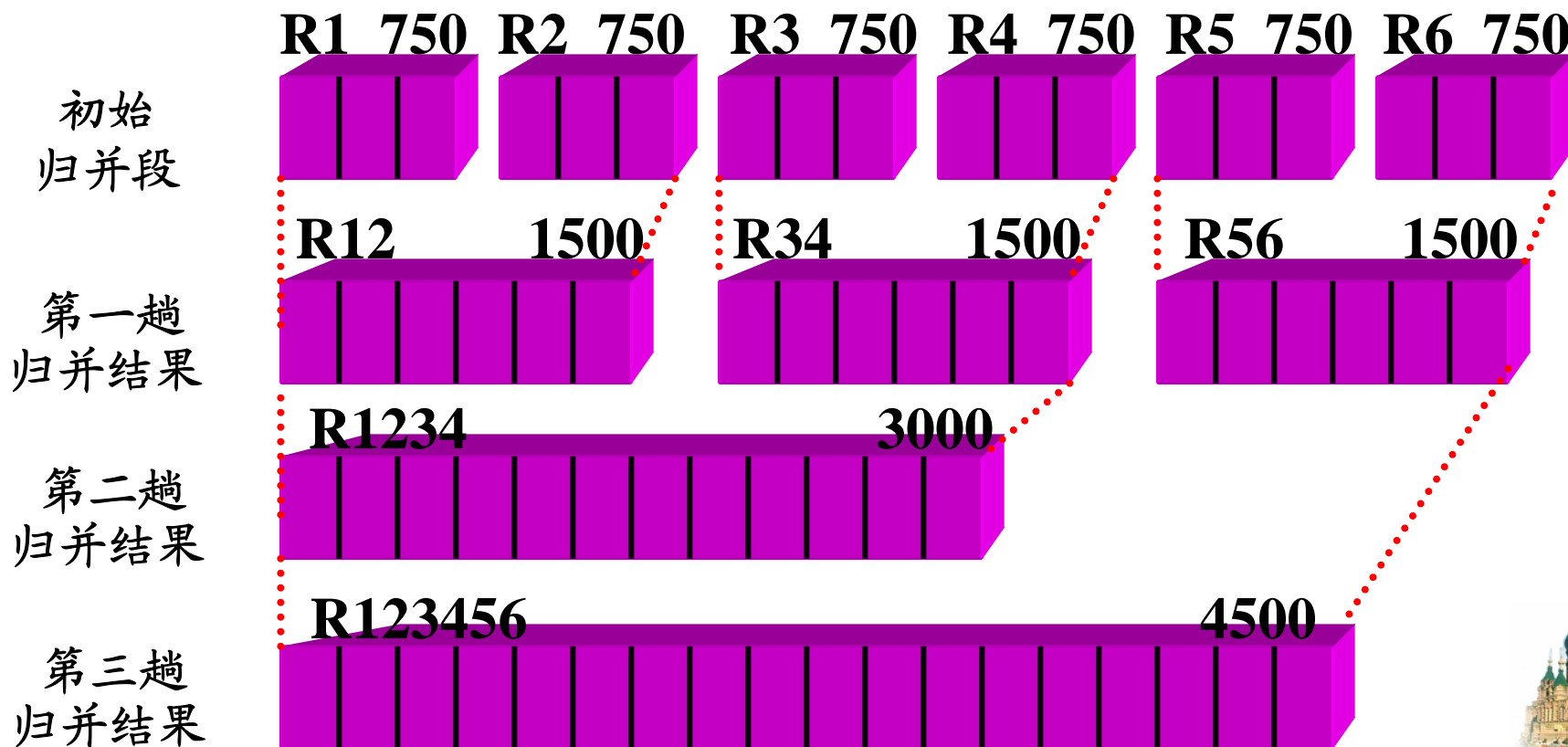
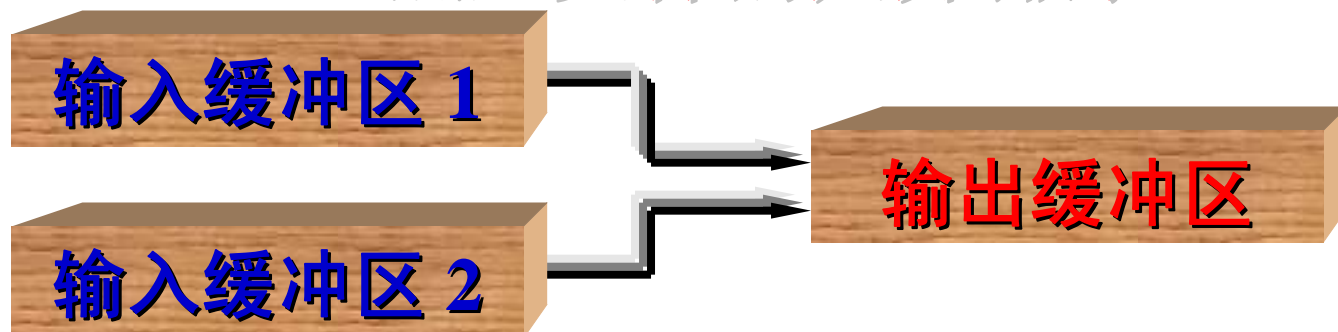
7.3 磁盘文件的归并排序

- 若把内存区域等份地分为 3 个缓冲区。其中的两个为输入缓冲区, 一个为输出缓冲区, 可以在内存中利用简单 2 路归并函数 `mergesort()` 实现 2 路归并。
- 首先, 从参加归并排序的两个输入归并段 $R1$ 和 $R2$ 中分别读入一块, 放在输入缓冲区1和输入缓冲区2中。然后在内存中进行 2 路归并, 归并结果顺序存放到输出缓冲区中。
- 当输出缓冲区装满250个记录时, 就输出到磁盘。
- 如果归并期间某个输入缓冲区空了, 就立即向该缓冲区继续装入所对应归并段的一块记录信息, 使之于另一个输入缓冲区的剩余记录归并, 直到 $R1$ 和 $R2$ 归并为 $R12$ 、 $R3$ 和 $R4$ 归并为 $R34$ 、 $R5$ 和 $R6$ 归并为 $R56$ 为止。
- 再把 $R12$ 和 $R34$ 归并为 $R1234$, 最后把 $R1234$ 和 $R56$ 归并为 $R123456$ (如下页图示)





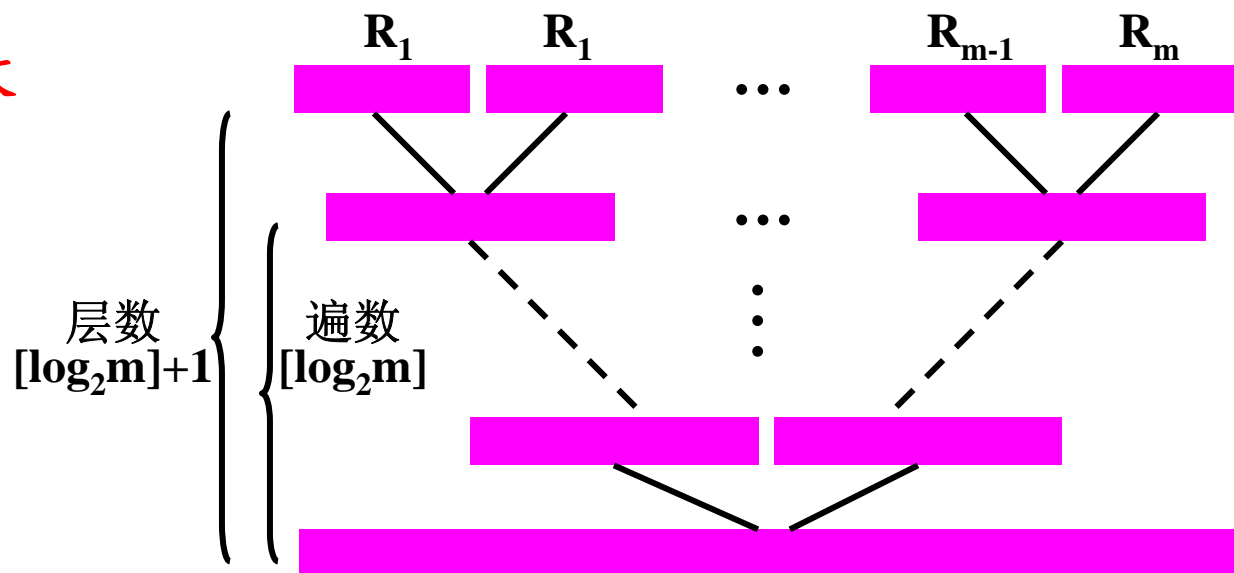
7.3 磁盘文件的归并排序





7.3 磁盘文件的归并排序

归并的趟数



m 个归并段的归并过程

- m 个初始段进行2路归并，需要 $\lceil \log_2 m \rceil$ 趟归并；
- 一般地， m 个初始段，采用 K 路归并，需要 $\lceil \log_K m \rceil$ 趟归并。
- 显然， K 越大，归并遍数越少，可提高归并的效率。





7.3 磁盘文件的归并排序

多路归并——减少归并遍数

- 在 K 路归并时，从 K 个关键字中选择最小记录时，要比较 $K-1$ 次。若记录总数为 n ，每遍要比较 $n*(K-1)$ 次， $\lceil \log_K m \rceil$ 遍要比较的次数为：

$$n*(K-1) \lceil \log_K m \rceil = n*(K-1) \lceil \log_2 m / \log_2 K \rceil$$

- 可以看出，随着 K 增大， $(K-1)/\log_2 K$ 也增大，当归并路数多时，CPU 处理的时间也随之增多。当 K 值增大到一定程度时，可能使 CPU 处理时间大于因 K 值增大而减少归并遍数所节省的时间。
- 为此可以
 - (1) 选择好的排序方法，以减少排序中比较次数；
 - (2) 选择好的初始归并段形成方法，增大归并段长度提高排序的效率。





7.3 磁盘文件的归并排序

➡ K 路平衡归并与败者树----过程&分析:

- 第一次建立选择树的比较所花时间为:

$$O(K-1) = O(K)$$

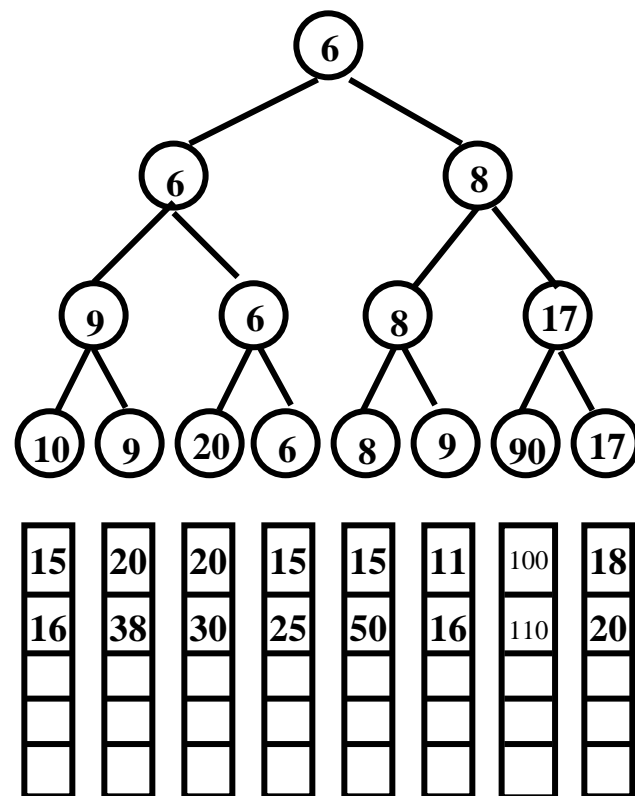
- 而后每次重新建造选择树所需时间为:
 $O(\log_2 K)$

- n 个记录处理时间为初始建立选择树的时间加上 $n-1$ 次重建选择树的时间

$$O((n-1) \cdot \log_2 K) + O(K) = O(n \cdot \log_2 K)$$

- 这就是K路归并一遍所需的CPU处理时间。归并遍数为 $\log_K m$, 总时间为

$$O(n \cdot \log_2 K \cdot \log_K m) = O(n \cdot \log_2 m)$$



(K 路归并 CPU 时间与 K 无关---选择树太好了)

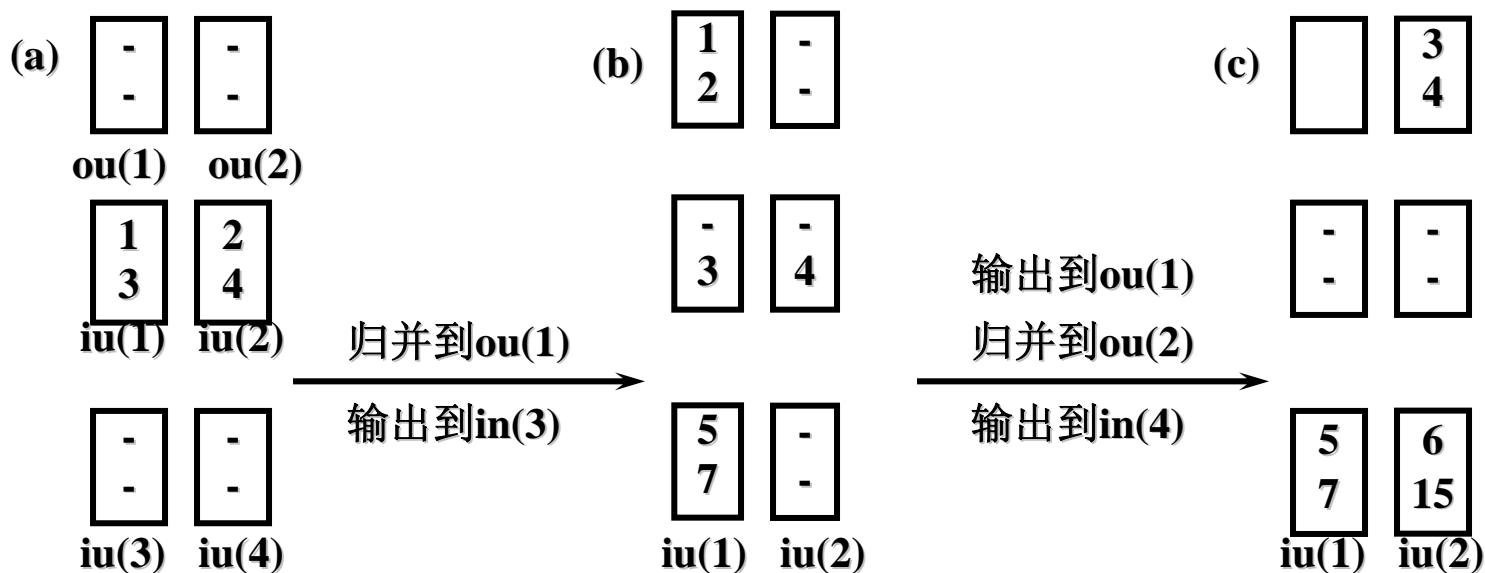




7.3 磁盘文件的归并排序

➡ 并行操作的缓冲区处理----使I/O和 CPU 处理尽可能重叠

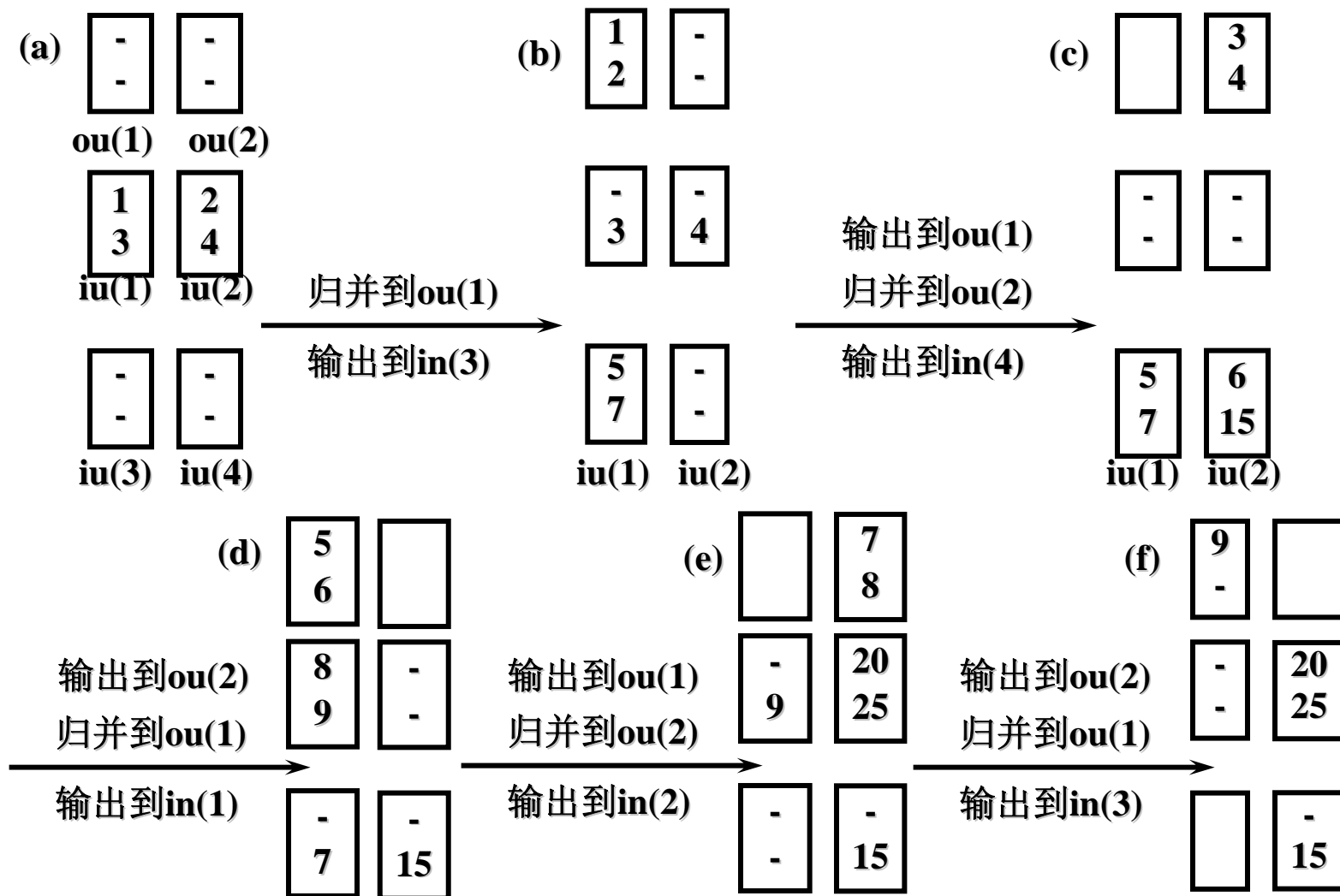
- 对 k 个归并段进行 k 路归并至少需要 k 个输入和1个输出缓冲区。要使输入、输出和归并同时进行， $k+1$ 个缓冲区是不够的，需要 $2(k+1)$ 个缓冲区实现并行操作。





7.3 磁盘文件的归并排序

并行操作的缓冲区处理——使I/O和 CPU 处理尽可能重叠





7.3 磁盘文件的归并排序

➡ 初始归并段的生成

- 任何内部排序算法都可作为生成初始归并段的算法
- 初始归并段的长度 \geq 缓冲区的长度？！

➡ 选择树法

- ➡ 假设初始待排序文件为输入文件FI，初始归并段文件为输出文件FO，内存缓冲区为W，可容纳P个记录。FO, W初始为空，则**置换-选择**如下：
- ➡ (1) 从FI输入P个记录到缓冲区W；
- ➡ (2) 从W中选择出关键字最小的记录MIN；
- ➡ (3) 将MIN记录输出到FO中去；
- ➡ (4) 若FI不空，则从FI输入下一个记录到W；
- ➡ (5) 从W中所有关键字比MIN关键字大的记录中选出最小关键字记录，作为新的MIN；
- ➡ (6) 重复(3)~(5)，直到在W中选不出新的MIN为止。得到一个初始归并段，输出归并段结束标志到FO中
- ➡ (7) 重复(2)~(6)，直到W为空，由此得到全部初始归并段。





7.3 磁盘文件的归并排序

➡ **示例：**缓冲区的长度 $P=4$ ，输入序列为：

15 19 04 83 12 27 11 25 16 34 26 07 10 90 06 ...

注意：如果新输入记录的关键字小于最后输出记录的关键字，则新输入记录不能成为当前归并短的一部分；他要等待生成下一个归并段时供选择。

步	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...
缓冲区内容	15	15	15	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)	11	11	(06)	...	...
	19	19	19	19	25	(16)	(16)	(16)	(16)	16	16	16	...	...
	04	12	27	27	27	27	34	(26)	(26)	26	26	26	...	...
	83	83	83	83	83	83	83	83	(07)	10	90	90	...	...
输出结果	<div> 04 12 15 19 25 27 34 83 07 10 11 16 ... </div> <div> R_1 R_2 </div>													

➡ 采用选择树法生成初始归并段的平均长度是缓冲区长度的**两**



7.4 磁带文件的归并排序

与磁盘不同，磁带是顺序存储设备，读取信息块的时间与信息块的位置有关。研究磁带排序，需要了解信息块的分布。

K路平衡归并排序

■ 磁带机数量：2K

输入： T_1, T_2, \dots, T_k 输出 \uparrow
 输出： $T_{k+1}, T_{k+2}, \dots, T_{2k}$ 输入 \uparrow

磁带机	T_1	T_2	...	T_k
归并段	R_1	R_2	...	R_k
	R_{k+1}	R_{k+2}	...	R_{2k}

	R_{mk+1}	...	...	...

$T_1: R_1(1000), R_3(1000), R_5(1000)$
 $T_2: R_2(1000), R_4(1000), R_6(1000)$
 $T_3: \emptyset$
 $T_4: \emptyset$

$T_1: \emptyset$
 $T_2: \emptyset$
 $T_3: R_1(2000), R_3(2000)$
 $T_4: R_2(2000)$

$T_1: R_1(4000)$
 $T_2: R_2(2000)$
 $T_3: \emptyset$
 $T_4: \emptyset$

$T_1: \emptyset$
 $T_2: \emptyset$
 $T_3: R_1(6000)$
 $T_4: \emptyset$





7.4 磁带文件的归并排序

多阶段归并排序

■ $K+1$ 台磁带机，实现 k 路归并

$$F_n^{(k)} = 0$$

$$F_n^{(k)} = 1$$

$$F_n^{(k)} = F_{n-1}^{(k)} + F_{n-2}^{(k)} + \dots + F_{n-k}^{(k)}$$

$$t_1^j = F_{j+k-2}^{(k)}$$

$$t_2^j = F_{j+k-3}^{(k)} + F_{j+k-2}^{(k)}$$

...

$$t_{k-1}^j = F_j^{(k)} + F_{j+1}^{(k)} + \dots + F_{j+k-2}^{(k)}$$

$$t_k^j = F_{j-1}^{(k)} + F_j^{(k)} + \dots + F_{j+k-2}^{(k)}$$

$$F_{G(j+k-2)}^{(k)} = t_1^j + t_2^j + \dots + t_k^j$$

i 遍后	t_1	t_2	t_3
开始	13(1L)	21(L)	空
1	空	8(1L)	13(2L)
2	8(3L)	空	5(2L)
3	3(3L)	5(5L)	空
4	空	2(5L)	3(8L)
5	2(13L)	空	1(8L)
6	1(13L)	1(21L)	空
7	空	空	1(34L)

步	t_1	T_2	t_3	总段数
n	0	0	1	1
$n-1$	1	1	0	2
$n-2$	2	0	1	3
$n-3$	0	2	3	5
$n-4$	3	5	0	8
$n-5$	8	0	5	13
$n-6$	0	8	13	21
$n-7$	13	21	0	34



本章小结

➡ 基本概念

- 文件、属性和域、关键字、主关键字、次关键字

➡ 文件的逻辑结构

➡ 文件的物理结构

➡ 文件的操作

- 检索方式和更新方式

➡ 文件的组织方式包括那些？各有什么特点？适合什么场合？





本章小结

- ➡ 内部排序过程中不涉及数据的内、外存交换，待排序的记录全部存放在内存中；
- ➡ 若待排序的文件很大，就无法将整个文件的所有记录同时调入内存进行排序；
- ➡ 外部排序的实现，主要是依靠数据的内、外存交换和“内部归并”。
- ➡ 外部排序基本上包括相对独立的两个阶段：初始归并段的形成；多路归并。
- ➡ 外部排序主要研究的技术问题是：
 - 如何进行多路归并以减少文件的归并遍数；
 - 如何运用内存的缓冲区使I/O和CPU尽可能并行工作；
 - 根据外存的特点选择较好的产生初始归并段的方法。

