

第 10 章 外存与文件组织

前面我们讨论的数据结构都是针对内存（内部存储器）的。但是，如果数据的“规模”很大、或者需要长期保存，则必须存放在外存（外部存储器）中。通常，程序员按“文件”方式使用外存，即将一个数据集作为文件存储在外存中，而文件在外存上的组织/存储（文件的存储结构）一般是由操作系统负责的，程序员（或其他用户）只是简单地通过对文件的访问实现对外存的使用。所以，文件与外存密切联系。

外存的物理特性不同，其使用也有很大不同，前面介绍的各种数据组织方法和操作方法不能简单地照搬过来，需要根据文件的特点专门加以考虑。

本章重点介绍外存与文件的逻辑特性、存储结构等问题。

§ 10.1 外存结构简介

§ 10.1.1 外存储器简介

外存充当内存的下级存储器（辅助存储器），用作数据缓冲和永久保存。计算机 CPU 的操作，一般只直接针对内存中的数据，涉及外存的 CPU 操作，一般只是成块的输入和输出（传输），其他操作需要数据时，一般是先读入内存，然后才处理。

目前，外存按存储介质分为：

磁盘（软盘、硬盘）

磁带

光盘

光磁盘

半导体盘

在早期，计算机中还使用过磁鼓、纸带、卡片等做为外存，目前这些设备已被淘汰。

目前，主流外存是硬盘。在操作系统或应用系统中，它是内存的直接延伸，应用程序和操作系统的活动数据，都存储在硬盘中。其他外存，如软盘、光盘、光磁盘、半导体盘等，一般作为后备存储器。另外，半导体存储器也常作为内存的高速缓冲(Cache)。

§ 10.1.2 磁带结构

磁带存储器用磁带记录信息，磁带机可以控制磁带前进、后退，磁带机上读写磁头

可以读写磁带上的信息。磁带的运行情况类于录音机。

磁带有不同的规格。目前使用的磁带一般有 1/2 英寸宽，最长可达 3600 英寸。1/2 英寸的带面在纵向上可记录 9 位或 7 位二进制信息（分别称为 9 道带或 7 道带）。对 9 道带，纵向每排有 9 位二进制信息，其中 8 位组织成一个字节，另一位为奇偶校验位。

磁带上的信息是以块为单位存放的。一个信息块由若干字节构成，如 512 字节或 1024 字节。要读写某一个块上信息，首先要定位，即通过磁带的移动使磁头对准被读块的前端。磁带不是连续运转的设备，而是一种启停设备。为适应启动时的加速和停止时的滑动，磁带上块与块之间需要留出间隙。间隙通常为 1/4 到 3/4 英寸长。间隙是一段空白区，不存放数据信息。

一个信息块就是磁带存储器的一个物理记录，即外设一次读取操作所读取的记录。通常一个物理记录可存放多个逻辑记录。

磁带存储器是一种顺序存储设备，它的主要缺点是读写速度慢。磁带存取速度取决于磁带的存储密度和走带速度，实际上磁带花在定位上的时间往往比较长，如果磁头离所找的块很远时，往往要花很长时间才能完成定位。因此磁带存储器适合于顺序存取，即读写一块之后，下一次读写它后边的相邻块，这样可以减少定位时间。

磁带一般作为后备存储器。目前，由于光盘的出现，磁带的作用日见变小。

§ 10.1.3 磁盘结构

磁盘存储器是目前使用得最广泛的外存设备。磁盘一般分为两种：硬盘和软盘。

(一) 软盘

软盘是通过在圆形软质塑料材料上涂上磁性物质形成的（形成磁介质）。磁性物质可通过电的作用处于“磁化”和“未磁化”两种状态。两种状态分别用来表示二进制 1 和 0。

软盘一般是在塑料材料的两面都涂上磁性物质，使两面都可使用。

目前，主流软盘容量为 1.44MB，以前也出现过容量为 360KB、720KB、1.2MB 等的软盘。

为了方便使用磁介质，将盘面逻辑划分为若干同心圆（磁盘有点象唱片，但唱片是螺旋线），每个同心圆称为一个磁道。圆形盘面上再逻辑划分为若干扇区。这样，每个磁道被扇区划分为若干扇段。一个扇段一般可存储若干字节（所存储的字节数常常是 512 倍数）。扇段一般是 CPU 或其他设备读写的基本单位。见图 10-1。

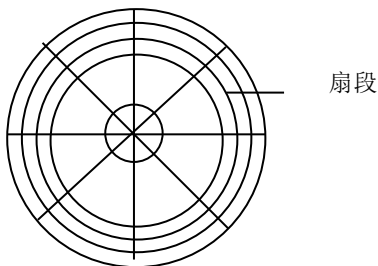


图 10-1 磁盘盘面结构

磁道和扇段都编号使用。按磁道和扇段的观点，每个盘面是一个二维存储区。每个存储单元（扇段）的地址为：

（磁道号，扇区号）

在实际使用中，也经常依某种方式，将此二维结构映射为一维。如，可以给 0 道 0 扇区的扇段编号为 0，0 道 1 扇区的扇段编号为 1，...，余类推，0 道编完后，接着依次为其他道（1 道、2 道、...）上的扇段编以连续的号。这样，二维结构就映射为一维结构了。

（二）硬盘

硬盘实质上是盘组。也就是，若干个盘片通过一个主轴串在一起，构成一个盘组。并且，每个盘面是用刚（是钢吗？？？==答：原正确）体材料做介质的载体的，以适应高速旋转的要求。每个盘面设置读写磁头来读写各自的数据。读写磁头有两种类型，一种是固定头，即每个盘的每个磁道都对应着一个专用的磁头，这种方式特点是速度快，但结构复杂，造价高。目前使用较多的是活动头，即每个盘面只对应一个磁头，安放在活动臂上，通过活动臂进退（水平移动）而找到指定的磁道。所有磁头在每一时刻总是分别对准同一半径上的各磁道。

各个盘面上半径相同的磁道合在一起称作一个柱面，不同半径的磁道的数目，就是柱面的数目。柱面也编号使用，它与对应磁道编号相同。因此，也称柱面号为磁道号。

由于一个柱面是由盘组中各盘面的同半径的磁道构成，故一个柱面按构成它的磁道划分。柱面上每个磁道，我们称为一个盘面。盘面也编号使用。图 10-2 是磁盘组的示意图。

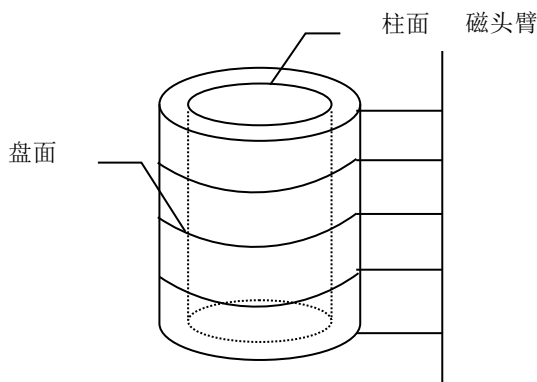


图 10-2 磁盘组结构

盘组上的存储单元（扇段）的地址为三维结构：

（柱面号，盘面号，扇区号）

读写盘组上的信息，首先要经过下列定位动作：

- 选定柱面（寻道）：通过磁臂移动使磁头对准指定的柱面。这是机械动作，因为选定后，磁头臂需停止，这需要克服惯性，故速度慢。目前的水平是平均要几毫秒至十几毫秒。

- 选定盘面：即选择一个柱面上的某个磁头，这由电子线路实现，速度快。
- 选定扇段（等待）：磁头定位到要读写的扇段段，这通过盘组的旋转实现，磁头臂只是等待需要的扇段旋转到自己下面。这是机械动作，因为盘组的旋转不需要停止，故比寻道时间小得多。

目前，关于磁盘的许多新技术在应用，使磁盘的容量和速度不断提高。

§ 10.2 文件概述

§ 10.2.1 文件的概念

我们这里的**文件**是指存储在外部存储器的记录集合。在操作系统中，文件往往被认为是一维的无结构连续字节序列，提供对文件的整体操作（如打开文件、关闭文件、删除文件、复制文件等）和字节操作（从文件读一字节、写一字节到文件中）。在其他一些应用中（如数据库），所研究的文件是带有结构的记录集合或序列，每个记录可由若干个数据项组成。记录是文件中存取的基本单位，数据项是文件可使用的最小单位。数据项有时也称为字段，或者称为属性（Arribute）。其值能唯一标识一个记录的数据项或数据项的组合称为主关键字项，其它不能唯一标识一个记录的数据则称为次关键字项，主（或次）关键字项的值称为主（或次）关键字。为讨论方便起见，我们仍不严格区分关键字项和关键字，即在不易混淆时，将主（或次）关键字项简称为主（或次）关键字，并且假定关键字项只含一个数据项。

由于在操作系统中文件被认为是字节流或记录集合/序列，故从逻辑上讲，**文件是线性结构**。实质上是存储在外存上的线性表。

例如，反映某单位职工档案的信息可作为一个文件。每位职工的档案信息包括：职工号、姓名、性别、年龄、住址。如表表 10-1 所示。

表 10-1

职工号	姓名	性别	年龄	住址
0001	胡花	男	30	广州五山路 16 号
0002	李明	男	25	广州中山一路 60 号
0005	张红	女	27	广州中山一路 60 号
0006	卫东	男	24	广州五山路 16 号

文件由若干条记录组成。单位有多少人，文件就有多少条记录。每个职工的信息集中一条记录中。职工号为主关键字，姓名等项次关键字。

§ 10.2.2 文件操作与存取方式

文件是记录的汇集，从文件方面看，文件中各记录之间存在着线性逻辑关系，因此，文件的操作，类似于线性表，有读、写、定位、插入、删除等。

由于文件是驻留在外存中的，故对它的访问有着特殊性，其主要是在访问方式方面，即按何种次序或方式去读取/定位记录，在文件中，称其为**存取方式**。基本的存取方式有：

- 顺序存取：依次存取各个逻辑记录。在 k 号记录读取之前，序号比 k 小的记录必须已被读取过。
- 直接存取：直接存取第 i 个逻辑记录，不需等待其前面的记录的读取。直接存取也称随机存取。
- 按关键字存取：存取关键字等于给定值的记录。

§ 10.2.3 文件的物理组织

文件在存储介质（如磁盘和磁带）上的实际组织/存储方式称为文件的**存储结构或物理结构**，其实质上就是外存的组织。

文件的基本物理结构有：顺序（连续）组织、索引组织、散列组织和链组织。

从用户的观点看，文件记录应是存取（操作）的基本单位。但从外存设备的观点看，应按其他标准确定基本存取单位。为了区分这两种标准，通常将按用户观点的基本存取单位（即记录）称为**逻辑记录**，将按外存设备观点的基本存取单位称为**物理记录**。

(一) 顺序组织

文件的顺序组织与线性结构的顺序存储方式类似，是将文件记录按它们的逻辑次序，存储在一片连续的外存区域。顺序组织也称连续组织。连续组织的文件习惯称连续文件或顺序文件。

这里，外存区域的连续，是指外存访问意义下的连续。一般情况下，外存可视为扇段的连续体。在特殊情况下，也按柱面、盘面、扇段的读写顺序安排记录。同一个柱面上的同一盘面号上的记录，认为是连续的。

显然，连续组织访问速度快，但对外存要求也高，即要求一片连续区域。当文件很大，且经常进行增删时，或经常需要创建新文件的情况下，难以满足该要求。不过，操作系统会尽量将属于同一文件的内容安排在一片连续区中。

(二) 链组织

文件的链式存储也类似于线性表的链式存储。但不同的是，文件的链结点一般很大、且不定长。链结点除包括链指针（地址）和内容外，还包括结点长度（对不定长结点）。

链式存储广泛应用于操作系统的文件存储上。链式组织的文件习惯称链式文件。链式组织多用在操作系统下的文件组织。

(三) 索引组织

文件的索引组织也类似于线性表的索引组织。文件的索引一般也是一个文件。索引的形式有顺序索引、树形索引、柱面索引等。

使用索引的目的是快速访问记录。由于文件数据量大，且存储在慢速设备上，故文件的索引结构比线性表更为常用，特别是在数据库系统中，索引广泛应用。索引组织的文件习惯称索引文件。索引组织多用在数据库。

(四) 散列组织

文件的散列（也称杂凑，或 Hash）组织也类似于线性表的散列组织。一个记录在外存中的地址，通过一个称为散列函数的函数决定。散列函数定义了记录关键字值到外存地址的映射。在散列方式下，外存区域划分为一个个的桶，记录存储在桶中，同一桶内的记录的散列值相同（即冲突项）。由于外存的基本读写单位较大，所以适当的冲突是良性的。散列组织的文件称散列文件。

§ 10.2.4 缓冲技术

缓冲（Buffering）或缓存(Caching)技术是外设（包括外存）使用中的一项关键技术。由于外存与内存的速度的巨大差异，为了减少访问外存次数、提高数据读写速度，一次访问外存时，将更多的数据顺便读入内存的一个暂存区域，使下次访问其他数据时，尽量可以在已读入的数据中进行，而不必再读外存。我们将这种暂存区域称为**缓冲区**。这种技术也称缓存/冲技术。

外设（包括磁盘等外存）往往可与 CPU 并行工作，因此，可在 CPU 使用缓冲区的同时，也让外设从设备对缓冲区读写数据，以进一步提高访问速度。但是，由于存在共享资源（缓冲区）的访问冲突问题，可设立多个缓冲区。这多个缓冲区称为**缓冲池**。

访问、管理与控制缓冲池，也是个专门的问题。这里就进一步介绍了。

§ 10.3 顺序文件

从该节开始，我们比较详细地介绍上面介绍的几种主要的文件物理组织方式。

顺序文件是文件的一种常见组织形式。在顺序文件中，所有逻辑记录在存储介质中的实际顺序与它们进入存储器的顺序一致。

顺序文件适宜于顺序存取和成批处理。顺序文件特别适应于磁带存储器，也适应磁盘存储器。顺序文件的检索操作方法如下：

1. 顺序存取：从文件的第一个记录开始，一个个地依次读入各个记录进行处理和使用。顺序文件的这种存取方法效率很高，因为省去许多磁头定位时间。

2. 直接存取：即直接访问指定的记录（一般用记录号指定）。对顺序文件的这种检索方式，如果没有建立逻辑记录和物理记录之间的直接对应关系，每次检索都要从文件的第一记录开始找到所要处理的记录。这样要花费许多定位时间，因此顺序文件的随机存取效率很低。

3. 按关键字存取：顺序文件中，查找一个指定键值记录的最简单办法是从文件头到文件尾扫描每个记录。若找到则停止，否则继续查找，直到文件尾。这点同线性表的顺序查找类似。若检索各个记录的概率相同，则一次检索平均要扫描文件的一半记录。

顺序文件的修改操作比较困难，通常采用批量处理的方式来完成（“批量”更新）。这一方式需要设置一个附加文件（常称为事务文件），用来存放对顺序文件（又称主文件）的修改请求。当修改请求积累到一定数量，或其他读写需要最新状态时，开始实施批量处理。首先将事务文件按关键字排序，再对事务文件和主文件执行一个类似于二路归并（参见第八章）的过程。这个过程的基本步骤是：同时对事务文件和主文件扫描。扫描中，对事务文件中的每一个请求 Q ，如此进行：①若 Q 是删除或更新请求，则当扫描到主文件中与 Q 键值相等的记录 R 时依 Q 对 R 进行删除或更新；②若 Q 是插入请求，则对主文件扫描到适当位置时执行插入动作。

顺序文件的主要优点是顺序存取速度快，因此多用于顺序存取设备（如磁带）。

§ 10.4 索引文件

索引文件由索引表和主文件两部分构成。索引表是一张指示逻辑记录和物理记录之间对应关系的表。索引表中的每项称为一个索引项。索引项是按键值（或逻辑记录号）顺序排列。若文件本身也是按关键字顺序排列，则称为索引顺序文件。否则，称为索引非顺序文件。

表 10-2 索引文件示意

物理记录号	职工号	姓名	性别	关键字	物理记录号	关键字	物理记录号
1001	0029	王花	男	0002	1004	0029	1001
1003	0005	张红	女	0005	1003	0005	1003
1004	0002	李明	男	0017	1010	0002	1004
1005	0038	蔡平	女	0029	1001	0038	1005
1008	0031	卫东	男	0031	1008	0031	1008
1009	0043	胡进	男	0038	1005	0043	1009
1010	0017	李毅	男	0043	1009	0017	1010
1112	0048	汪庆	男	0048	1112	0048	1112

(a) 文件数据区
(b) 索引表
(c) 索引表（尚未排序）

索引文件的检索，一般采用直接存取方式或按关键字存取方式。检索方法同线性结构的检索检索（第 9 章）。通常，索引表可预先读到内存中，或分步读到内存（当记录很多，不宜全部装入内存时）。查找索引表在内存中进行。由于索引表是有序的，则查找索引表时可用折半查找或其他针对有序表的高速查找法进行。

在索引文件中删除一个记录时，先可以只删去相应的索引项，对数据记录的删除，可以滞后进行，即在后面的适当时间统一进行，以提高效率。插入一个记录时，可将记录置于数据区的末尾，同时在索引表中按序插入索引项。更新记录时，可直接修改相应的记录。

当文件中记录数目很大时，索引表也很大，外存储器的一个物理块容纳不了。为了有效地处理这种情况，往往要建立多级索引表，即对索引表再建索引，这样访问外存次数也增加。

索引文件只能是磁盘文件，因为索引文件的组织方式是为随机存取而设计的，磁带一类的顺序存取设备效率很低。

在索引非顺序文件中，数据记录不按关键字顺序排列，因此对每个记录要建立一个索引项，即稠密索引。对于索引顺序文件，可以对一组记录建立一个索引项，即分块索引。

§ 10.5 ISAM 方式*

§ 10.5.1 ISAM 方式

索引顺序存取方式 ISAM（Indexed Sequential Access Method）是一种针对磁盘结构设计的存储方式（结构），主要面向索引线性结构的存储。按这种方式存储的文件称为 ISAM 文件。ISAM 方式的主要内容为：

柱面-磁道顺序：数据集中，逻辑上连续的数据，存储在盘组中的连续区域。盘组的连续区域的含义是这样的：同一盘面上同一磁道上的扇段是连续的，同一柱面上的盘面是连续的，相邻柱面是连续的。换言之，按连续方式存储数据时，尽量存储在同一盘面上的同一磁道（柱面上的一个道）上，磁道满了，就接着存储在该磁道对应的柱面上的下个盘面上，一个柱面满了，就接着存储在下个柱面上。我们知道，盘组的读写首先要寻道（定位柱面），然后等待所需的扇段旋转到磁头下面，因此，这样安排数据，在读取连续数据是就会减少寻道和等待时间。

柱面-磁道分块有序：每个柱面分为三大部分，一部分是存放索引的区域，另一部分是数据区，剩余部分是溢出区。数据区数据按磁道分块有序，即同一柱面上的每个盘面（磁道）为一个数据块，相邻盘面上的块之间有序。

溢出区：在每个柱面上的数据区后，留出适当大小的一块区域，称为溢出区。在插入新数据时，为了不移动数据，新数据不是按序插入到数据区，而是先加入到溢出区。当溢出区满时，就需要整理数据空间（移动元素并更新索引）。溢出区按链式组织，每个

盘面磁道对应一个链表，称为溢出链。某盘面磁道的溢出链存储该磁道的新加入的数据。

柱面-磁道索引：以磁道和柱面为单位建立索引。即建立磁道索引和柱面索引。如果柱面较多，还可建立柱面索引的索引----主索引。主索引也可以有自己的索引----多级主索引。即一个 ISAM 结构分多级主索引、柱面索引、磁道索引和数据区。具体说明如下：

磁道索引：为每个柱面建立一个磁道索引，每个磁道索引项分基本索引项和溢出索引项两部分，基本索引项用于存放本道的最大关键字值和本道的位置，而溢出索引项存放该道溢出链的位置和链中最大关键字。每个柱面开辟一个区域存放本柱面上的磁道索引。

柱面索引：整个盘组对应一个柱面索引，每个柱面索引项用于索引一个柱面，柱面索引项存放着对应柱面上的最大关键字及对应柱面的位置。

主索引：主索引为柱面索引的索引。柱面索引被分为若干块，每块对应一个主索引项。一个主索引项存储着对应的柱面索引块中的最大关键字和块的位置。如果主索引也很大，则为主索引分块，建立主索引的索引，即多级主索引。

图 10-3 给出了各种索引的结构，图 10-4 给出了一个的 ISAM 文件例子。

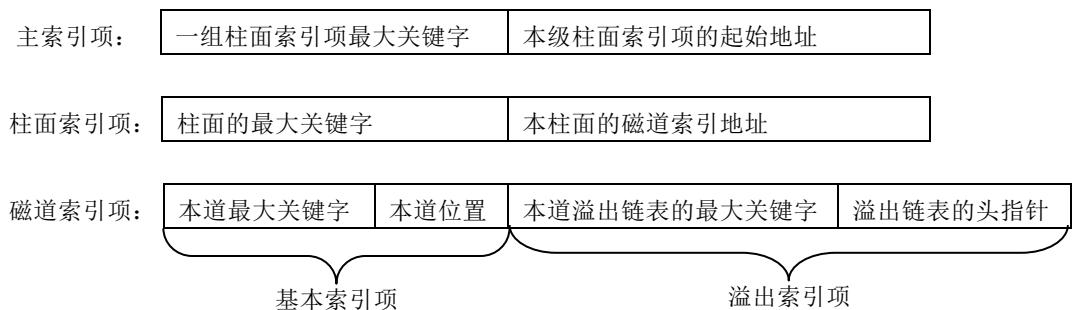


图 10-3 索引项格式

§ 10.5.2 ISAM 结构的操作

对 ISAM 存储结构的操作，主要有检索、插入和删除。

对检索操作，与分块索引的情况类似，先从主索引出发，找到相应的柱面索引，再从柱面索引找到记录所在柱面的磁道索引，最后从磁道索引找到记录所在磁道的第一个记录的位置，由此出发在该磁道上进行顺序查找直至找到为止，反之，若找遍该磁道及其溢出链而不存在此记录，则表明该文件中无此记录。

为了减少移动元素，在插入与删除中采用不同的方法。插入元素时，如果所在磁道已满，则有元素需要插入到溢出区。由于溢出区是链式结构，每个磁道对应一个溢出链，所以，插入到溢出链是链表操作。这里要注意的是，磁道及其溢出区中的记录同一个排序序列。此时的插入，当插入位置是磁道时，磁道中的最后元素要被挤出，并插入到溢出链的头。如果插入位置是溢出链，则直接在链表中插入。

如果整个溢出区也满了，则需要增加新的柱面，整个数据集需要移动、规整，相应的索引也需要更新。

在删除记录时，只需找到待删记录，在其存储位置上作删除标记即可，而不需移动记录。

经过多次增删后，文件的结构可能变得很不合理。此时可能溢出区中存有大量记录，而基本区中，又浪费很多空间。因此需要周期地整理 ISAM 文件，将溢出区中记录移到基本区中，空出溢出区。

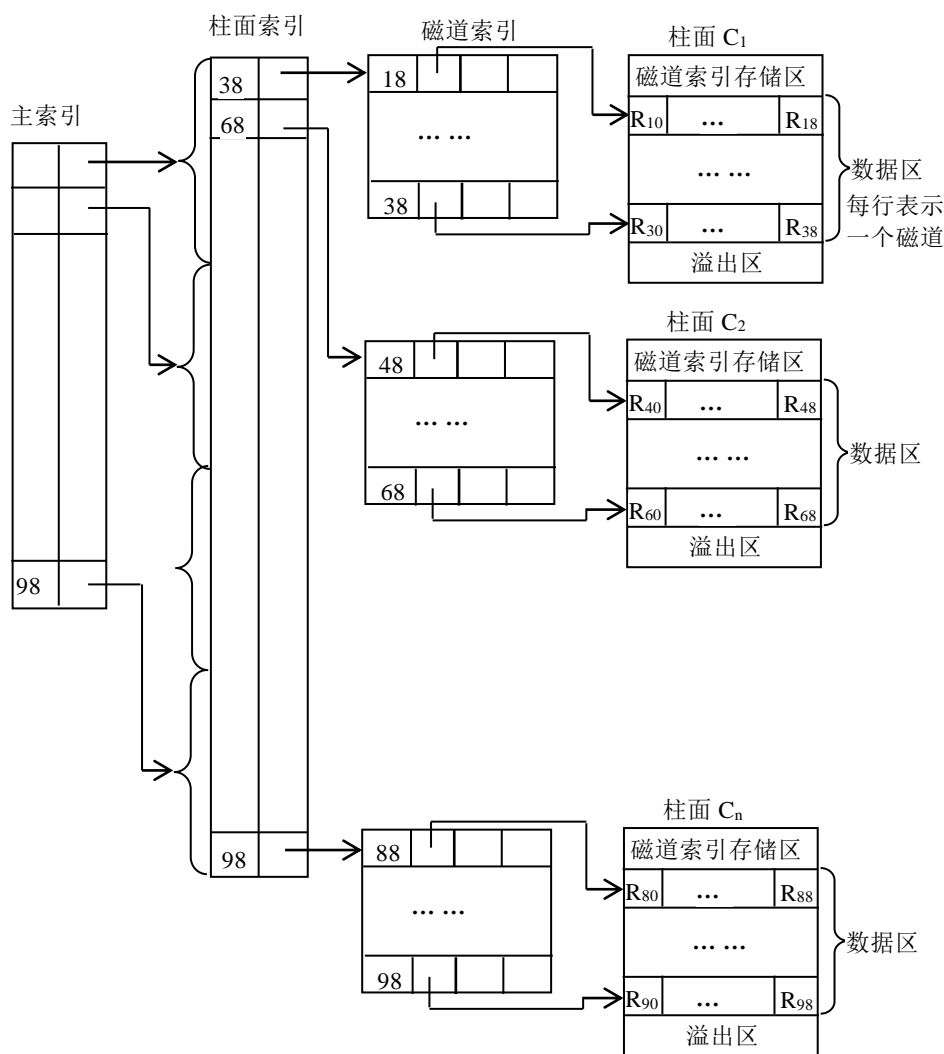


图 10-4 ISAM 示意

§ 10.6 VSAM 方式

§ 10.6.1 VSAM 方式

VSAM (Virtual Storage Access Method: 虚拟存储存取方法) 是一种索引顺序文件的组织方式, 采用树形动态索引结构。称按此方式组织的文件为 VSAM 文件。

VSAM 文件结构由三部分组成: 索引集、顺序集和数据集。如图 10-5 所示。这几部分说明如下:

数据集: VSAM 文件的记录均放在**数据集**中。数据集中一个结点称为**控制段**(Control interval), 它是一个 I/O 操作的基本单位, 由一组存储单元组成, 存放若干条逻辑纪录。控制段的大小可随文件的不同而不同, 但同一文件上的控制段的大小相同。数据集要分块有序, 每个控制段做为一块。控制段内的逻辑记录一般按关键字有序。

顺序集: 顺序集是数据集的分块索引。每个控制段对应一个索引项。每个索引索引项由两部分信息组成, 即该控制段中的最大关键字和指向该控制段的指针。顺序集也分块(每块为一个结点), 每个块中包含的索引是若干相邻控制段对应的索引, 即若干相邻控制块对应一个顺序集结点。结点之间用指针相链结。这种情况与 B+树的终端结点类似。一个顺序集结点和其对应的全部控制段称为一个**控制域** (Control range)。

索引集: 索引集和顺序集一起构成一棵 B+树, 它是文件的索引部分。顺序集对应 B+树的终端结点, 而每个控制段是一个叶子。每个顺序集结点在其上层的结点中按 B+树规则建有索引, 且逐层向上建立索引。所有这些索引就构成了索引集。每个索引项都是由最大关键字和指针两部分组成。

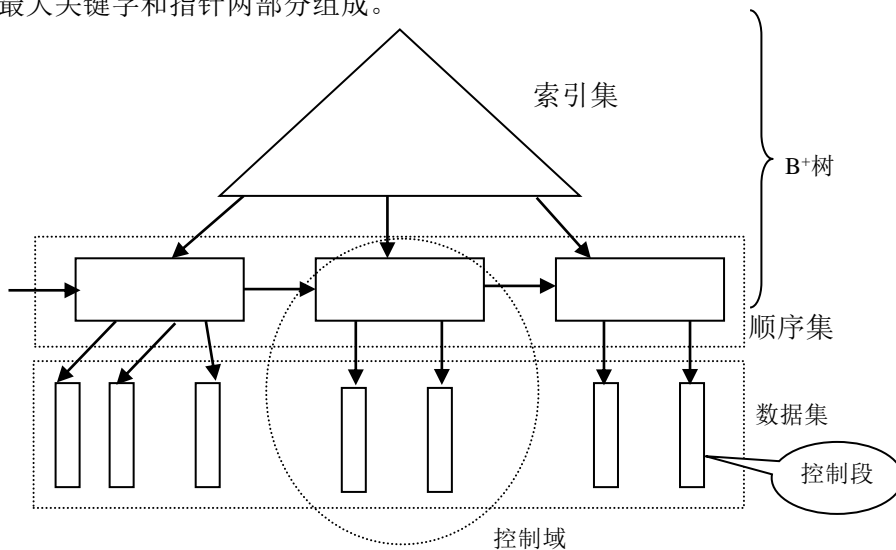


图 10-5 VSAM 文件结构示意图

控制段是一块连续的外存空间，它不仅存放逻辑记录，而且存放一些关于逻辑记录和段的控制信息，如段中记录数目、记录长度等。此外，在控制段中也留有一定的空闲区做为溢出区。

图 10-6 给出了一个 VSAM 文件的例子，其实质是一棵 3 阶 B 树。树中从根起第 3 层为顺序集，最后一层为数据集。

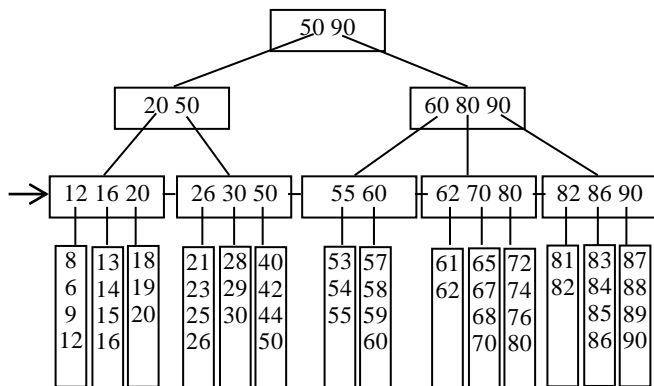


图 10-6 一个 VSAM 文件（3 阶 B+ 树）

§ 10.6.2 VSAM 操作

VSAM 文件的操作与 B+ 树类似。

查找记录时，先在 B+ 树中查找，归结到顺序集（终端结点），然后再到相应的数据集（某个控制段）中查找。在控制段中的查找是简单的顺序查找。当然，也可以直接在顺序集中查找。

插入记录时，首先是在 B+ 树中插入，记录的关键字被插入到了顺序集，这与在 B 树中的情况相同。然后，将记录插入到数据集的每个控制段。需要注意的是，插入“分裂”不发生在顺序集结点上，而是发生在控制段。若控制段已满，则控制段按 B+ 树结点进行分裂。

删除记录时，也与在 B+ 树中删除类似。当删除的不是控制段中的最大的关键字时，只需找到所在的控制段，然后在该段中删除之，过程很简单，不涉及 B+ 树的变动。当删除的是某段中最大关键字时，就涉及 B+ 树的变动。此时，在段中删除后，应用段内的次大关键字代替 B+ 树中的被删关键字。如果段中记录下溢了，则还要合并段，这与 B+ 树的“合并”类似。

显然，VSAM 与磁盘的结构无关，它只要求每个控制段是一个连续空间，因此，对存储使用的要求较低，而不象 ISAM 那样要求占用若干连续的柱面。当然，也可通过 VSAM 按磁盘结构使用磁盘，例如，将每个控制段视为一个逻辑柱面磁道，而每个控制域可视为一个逻辑柱面。因此，VSAM 比 ISAM 有更大的灵活性。

§ 10.7 散列方式

我们在“检索结构”一章中介绍过散列技术，那里，散列是针对内存的。本节讨论针对外存的散列技术。针对外存的散列，组织方法类似于内存散列，只是存储介质是外存储器。我们称按散列方式组织的文件为散列文件或直接存取文件。

对外存的散列，桶的概念特别重要。一个桶存放的记录散列地址都相同，称这些记录为同义词记录，即互相冲突的记录。在散列文件中，桶一般对应一片连续的外存区。假若一个桶能存放 m 个记录，当第超过 m 个同义词出现时，桶发生“溢出”。

在针对内存的散列技术中，一般应尽量避免冲突。但对外存，由于外存的编址不同，往往一个地址（一般是多维地址）对应的存储区较大，可以存储多条逻辑记录，所以，“冲突”是良性的，有利于存储空间利用。在这种情况下，只有桶发生溢出（冲突的记录数目超过限度）时才造成不利。因此，散列函数的设计也有所不同，要特别注意这一点。

桶溢出的解决方法很多，一种常见的方法是设置“溢出桶”。相对地，我们称正常存放非溢出记录的桶为“基桶”。每个基桶可以对应若干溢出桶，基桶和各溢出桶一起组织为链表，基桶为第一链结点，各溢出桶依次为第 2、第 3、... 链结点。当发生桶“溢出”时，将溢出的记录存放在溢出桶。一个溢出桶溢出后，再设立其他溢出桶。

在散列文件中进行查找时，首先根据给定关键字值求得散列地址（即基桶号），将基桶中的记录读入内存进行顺序查找。若查到关键字等于给定值的记录，则检索成功。当在基桶内查不到时，若基桶没有填满，则说明文件中不含待查记录，否则根据指针链的值找到溢出桶，并将桶中的记录读入内存，继续进行顺序查找，直至查找成功或不成功（所有的溢出桶都查过了）。

散列文件删除记录时，仅需对被删记录作一标志。

如果桶的大小适中，散列函数设计得好，溢出桶不太多，则散列方式的查找速度很快。此外，散列文件的插入与删除也很快捷，不需要索引。但是，散列文件不能顺序存取，也只能按关键字随机存取。而且，在经过多次插入、删除后，可能出现溢出桶满而基桶内多数记录已被删除的情况。此时需要重新组织文件。

§ 10.8 多索引文件

在许多情况下，在对文件进行检索操作时，不仅需要对主关键字进行查询，还可能需要对次关键字进行查询。例如，对表 10-1 的职工档案文件，职工号为主关键字，姓名、性别、年龄等为次关键字。可能对该文件作如下询问：性别为“男”的记录，年龄为 25 的记录，等等。如果文件组织中只有主关键字索引，则对于这些询问，只能按顺序对文件中的每一条记录进行比较，效率很低。为此，除了按以上几节讨论的方法组织

文件之外，还需建立一系列的次关键索引，这样建立的文件称为多索引文件，也称多关键字文件。下面讨论两种多索引文件的组织方法。

§ 10.8.1 多重表文件

多重表文件是一种多索引的文件，数据集存储在主文件（数据文件）中，而为每个需要查询的关键字建立一个索引。

在主文件中，为各关键字分别增设一个链域。关键字段 **KEY** 的链域，用于将 **KEY** 值相同的记录链接在一起（对稠密索引），或将在同一块中记录链接在一起（对分块索引）。

主关键字对应的索引（主索引）为分块索引，各次索引为分值索引。所谓**分值索引**，是指每种不同的关键字值（或每个关键字值范围），对应一个索引项。关键字索引的每个索引项都由一个次关键字值、头指针和链表长度构成。对主关键字索引，由于是分块索引，块长固定，所以可以没有“链表长度”一项。

例如，图 10-7 为一多重表文件。其中职工号为主关键字，分 3 个索引：职工索引（主索引）、性别索引、年龄索引。索引如图 10-7(b)-(d)所示。索引项中的主关键字为各子表的最大值。

对这种文件的查找，也比较方便。例如，要找性别为“男”的记录，依据“性别”索引链表，从头指针 01 号记录开始（开始记录的职工号为 0001），找到链表中下一个记录号为 02，其职工号为 0002，再下一个记录为 06，其职工号为 0006。

记录号	职工号		姓名	性别		年龄		住址
01	0001	02	王刚	男	02	30	05	广州市五山路 9 号
02	0002	03	李大	男	06	25	04	广州市中山二路 3 号
03	0003	^	刘花	女	04	27	01	广州市中山二路 1 号
04	0004	05	王美	女	05	25	^	广州市中山八路 6 号
05	0005	06	张丽	女	^	30	^	广州市天河路 9 路
06	0006	^	卫东	男	^	24	02	广州市天河路 9 路

(a) 数据文件

主关键字	头指针
0003	01
0006	04

(b) 主关键字索引

次关键字	头指针	长度
男	01	3
女	03	3

(c) “性别”索引

次关键字	头指针	长度
24~26	06	3
27~30	03	3

(d) “年龄”索引

图 10-7 多重表文件示例

显然，对多重文件的插入和删除，由于有多个索引，而且主文件中也有附加的链信息，所以较复杂。具体的讨论，留给读者进行。

§ 10.8.2 倒排文件

倒排文件 and 多重表文件类似，主要不同点有：

- a) 在主文件中，关键字字段不增设链域；
- b) 次关键字索引（称倒排表）中的每个索引项，由两部分构成：

关键字值	记录号表
------	------

其中，“关键字值”为对应次关键字的值（或块值），“记录号表”为对应次关键字取值等于“关键字值”或范围在“关键字值”中的各记录的记录号。它们按序排列。

例如，上例文件的倒排表如图 10-8 所示。在年龄倒排表中，“24-26”对应的“记录号表”为“02, 04, 06”，表示记录 02、04、06 的“年龄”均在 24 到 26 之间。

男	01, 02, 06
女	03, 04, 05

(a) 性别倒排表

24~26	02, 04, 06
27~30	01, 03, 05

(b) 年龄倒排表

图 10-8 倒排文件索引示例

倒排表方式没有对主文件进行更改，所以比较使用和维护都比较简单，兼容性也好，但是，倒排表中“记录号表”是不定长的，处理起来不方便，为此，也可以将“记录号表”内容独立出去，而在倒排表中它的位置只存储独立出来的“记录号表”的位置。

关于倒排文件的查找、插入、删除的讨论，请读者自行进行。

本章小结

本章介绍了基本外存设备及针对外存的存储/物理组织（结构）问题。

外存储器的主要特点是容量大，但存取速度低。不同的外存储器（本章只介绍了磁带和磁盘）有自己的物理组织结构，其基本存取单位称为物理记录。文件中的逻辑记录最终被表示成物理记录。

目前，主流的外存是硬盘（盘组）。根据硬盘的读写原理，硬盘的地址的结构为（柱面号，盘面号，扇区号），这里，一个柱面是盘组半径相同的一组磁道，而一个盘面是柱面上的一个位于某盘面上的磁道。磁盘的存取速度主要受寻道时间（磁头移到指定柱面所花时间）和等待时间（等待指定的扇段旋转到磁头下面的时间）影响。

存储在外存的数据集一般都组织为文件。即文件是存储在外存的数据集。文件的逻辑结构一般都是线性的，它在外存的组织就是文件的存储结构（物理组织）问题。文件的基本物理结构有：顺序（连续）组织、索引组织、散列组织和链组织。

ISAM、VSAM 和多索引文件都是索引组织的文件。ISAM 是一种线性索引，它根据

盘组的结构组织文件，以获得高速存取。VSAM 是基于 B+树的索引，与外存的物理结构无关，通用性强，而且通过 B+树也可获得很高的存取速度，如果其数据集的控制段安排得好（尽量减少寻道时间），则存取速度会更高。多索引文件也是线性索引，只是通过创建多个关键字索引来方便按多种关键字检索。

由于存储在外存，所以文件与其他数据结构比较，有它的特殊性，例如，在文件中，文件的存取方式也很重要。所谓存取方式，是指访问文件中的记录的方式。常用的存取方式有顺序、直接和按关键字三种。

习 题

1. 什么是文件的逻辑记录和物理记录？它们有什么区别与联系？
2. 简述磁带和磁盘的结构和存储的特点。
3. 简述 ISAM 文件组织方法和操作特点。
4. 简述散列文件的查找方法及优缺点。
5. 叙述在图 10-6 所示 B+树上查找键值为 85 的记录的过程。
6. 文件的组织方法与外存储器的物理特点之间有何联系？试举例说明。
7. 文件的操作与对内存中数据的操作有何不同？试举例说明。
8. 文件的检索效率取决于哪些因素。
9. 编写程序，实现对顺序文件的“批量”更新。
10. 设有下列数据集（只写出关键字），每个控制段最多容纳 3 条记录，请画出对应 VSAM 树：
10, 100, 20, 22, 33, 26, 38, 36, 26, 110, 120, 189, 29, 54, 39, 70, 76, 72, 82, 81, 89, 86, 83, 92, 91, 99, 98, 97, 93, 96, 61, 62, 69, 68, 66, 65, 73, 77, 79
11. 设计并实现编写一个 ISAM 类，其主要数据成员是要管理的磁盘空间，按 ISAM 方式组织。主要接口包括查找、插入、删除。并且，要提供存储区整理和溢出区溢出的处理方法。磁盘的柱面、盘面、扇段等可以逻辑模拟。
12. 在 B+树类的基础，设计并实现编写一个 VSAM 类，主要接口包括查找、插入、删除。
13. 设计并实现编写一个关于多重表文件类，主要接口包括查找、插入、删除。
14. 设计并实现编写一个关于倒排文件类，主要接口包括查找、插入、删除。