

Chapter3.存储器(Part2)

3. 相联存储器(CAM)

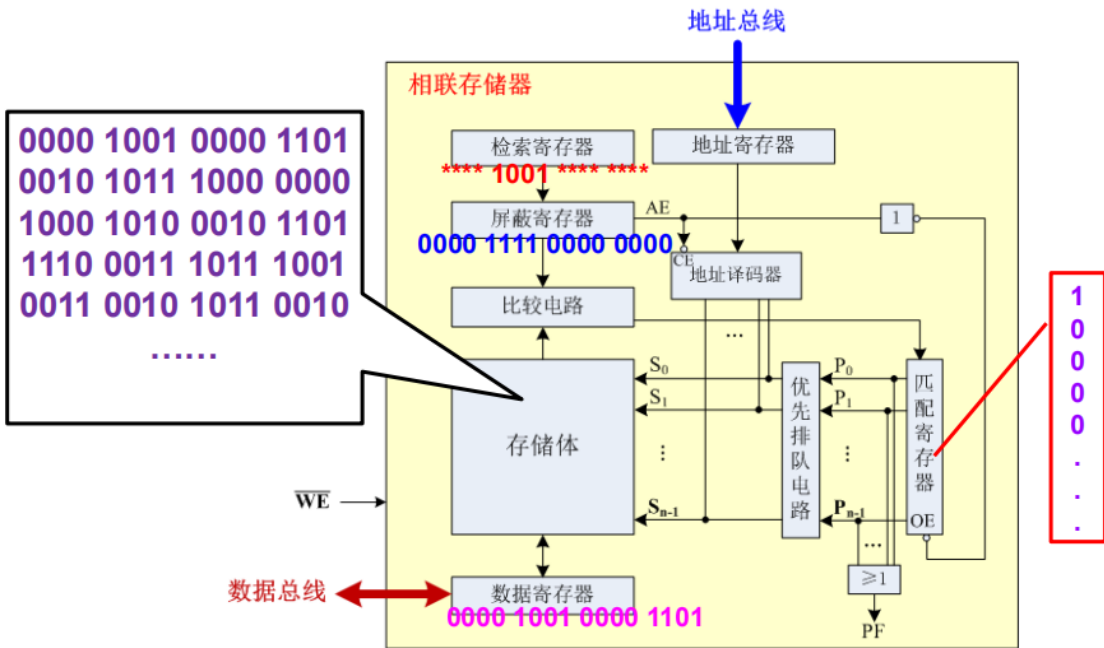
1 含义：按内容访问存储器，读的时候可以按地址访问/按CPU给出的关键字匹配(访问)，写只能按地址

2 特点：价格随容量指数增加

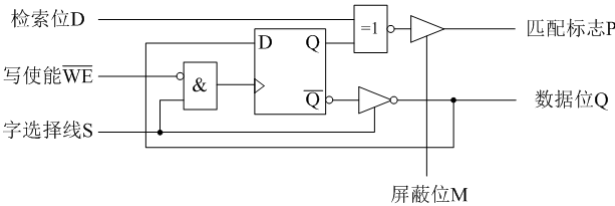
3 结构：

1. 查找的关键字放检索寄存器
2. 屏蔽寄存器屏蔽检索时不关注的数据位(与检索寄存器相于)
3. 靠匹配寄存器选出匹配的数据(匹配记为1/否则为0，存储体一个数据段元对饮匹配寄存器一位)
4. 数据寄存器输出匹配的数据
5. 排队优先电路：存储体中多个字和检索字匹配，然后需要给匹配寄存器排队输出

可以只保留匹配寄存器第一个1输出，标志位PF=1表示检索到内容匹配，当检索寄存器全为0时输出低电平AE表示按地址访问

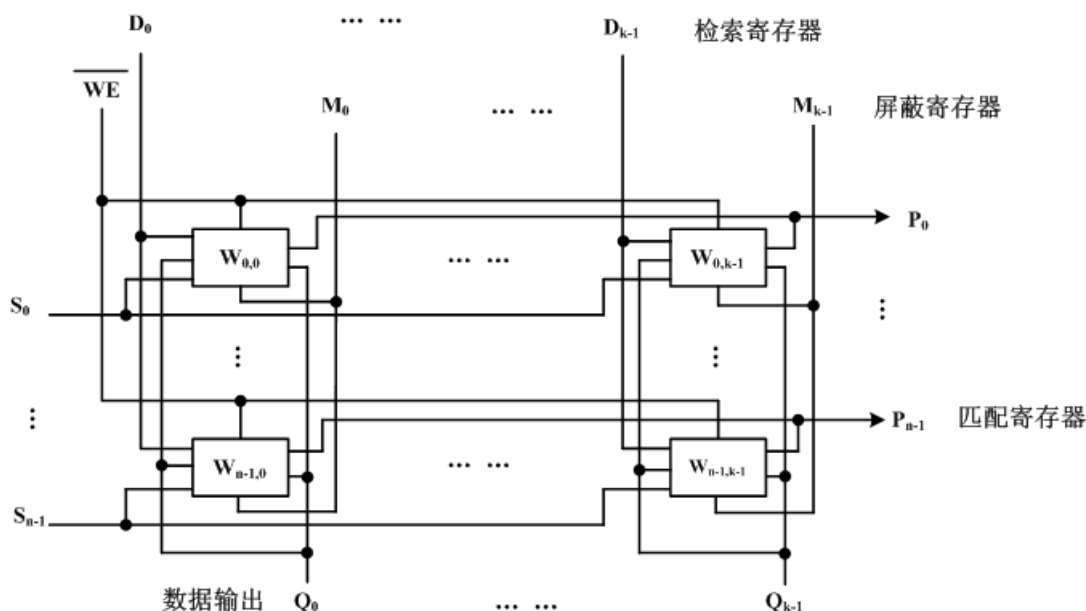


4 CAM单元



1. M=0存储单元屏蔽，P高阻(断开)
2. M=1未被屏蔽，P=检索位-同或-D触发器的存储位(相同输出1，不同为0)
3. 字选线S：来自优先排队电路/地址译码器。S=1时D触发器数据输出数据寄存器对应位，S=0不读不写

5 n×k位相联CAM存储矩阵



4. Cache

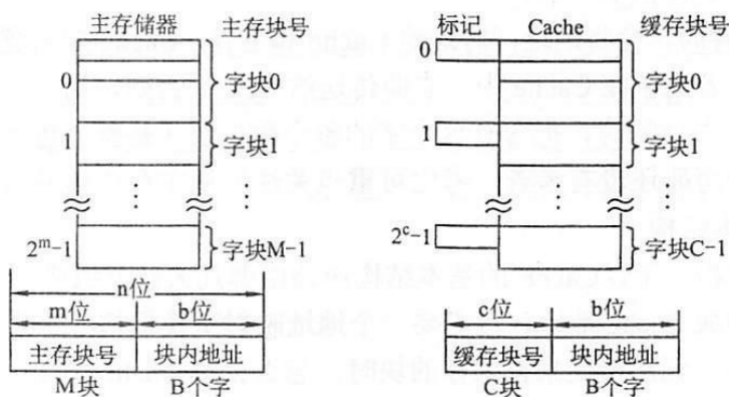
4.0. 前置知识

- 1 Cache为何而生：IO优先级最高，CPU与IO都要访存时CPU只能干等，有了Cache后CPU可以干等时转而访问Cache
- 2 局部性原理：时间局部性(CPU倾向于短时间内频繁访问内存某地址)，空间局部性(附近某块也可能即将被访问)

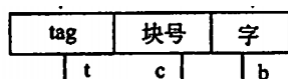
4.1. Cache 的基本工作原理

4.1.1. 主存&Cache编址

- 1 前提：二者每块大小一致，因为CPU $\xleftrightarrow{\text{字/字节}}$ Cache \leftrightarrow 主存，块内地址都是相对起始的偏移量
- 2 主存结构：主存分为若干块，每块若干字；地址分为两部分，一部分寻块一部分寻块中的字/字节， $2^m = M$, $2^b = B$



PS：事实上块还带有标记(Tag)，有t位且其中有一位为有效位，有效位为0表示Cache无内容，为1反之



- 3 Cache结构：一样的，只不过C远小于M， $2^c = C$, $2^b = B$

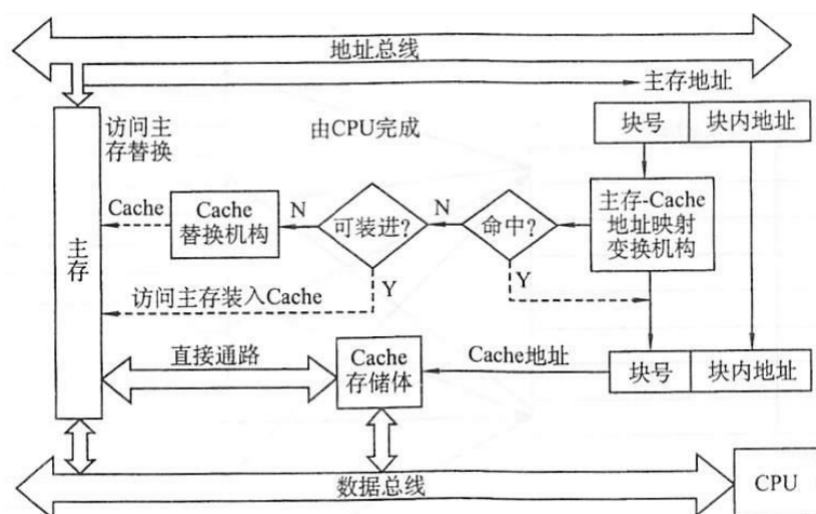
4 Cache效率的衡量

1. 命中率: CPU要访问的信息在Cache中的比例
2. 平均访问时间: $\text{命中概率} \times \text{命中后访问Cache时间} + (1 - \text{命中概率}) \times \text{不命中后访问主存的时间}$
3. 主存系统效率: $\text{访问Cache时间} / \text{平均访问时间}$

5 Cache,CPU,主存联动大致过程

1. CPU要访问主存, 但是会把地址同时给Cache/主存
2. 若该字在Cache中则直接给CPU
3. 若不在, 主存在读周期把字丢给CPU, 然后把含有这个字的块一块给Cache

4.1.2. Cache结构



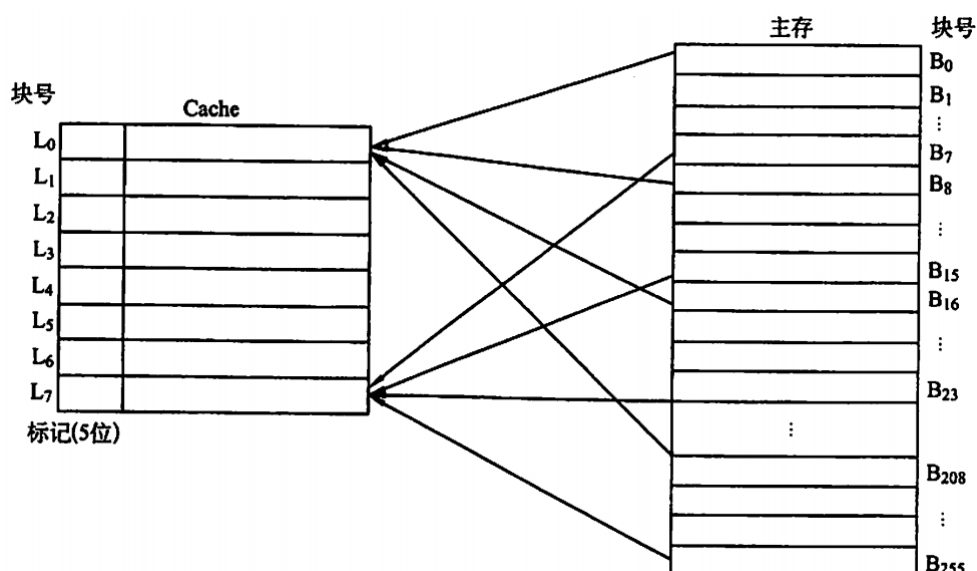
PS 1: 多级Cache, 一级Cache指令数据分开, 二级混放

PS 2: Cache对程序员透明

4.1.3. Cache-主存映射

关键在于主存块号与Cache块号间的转换

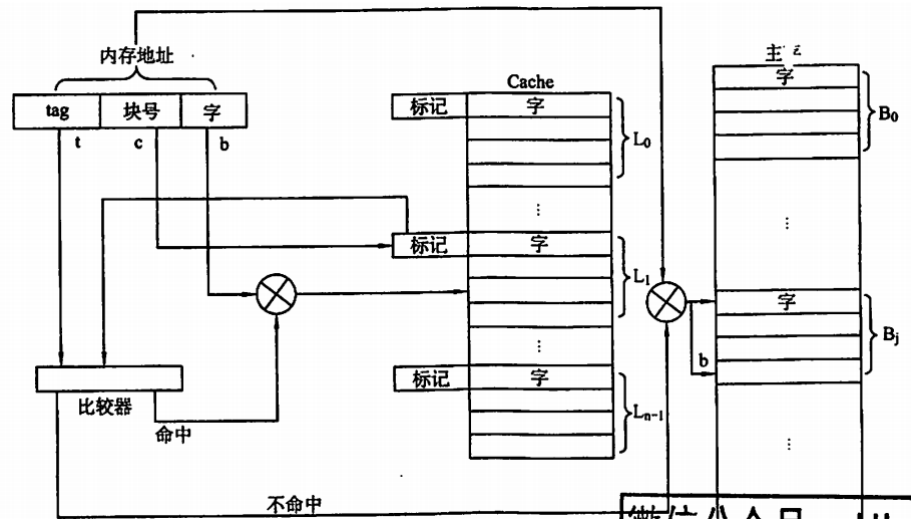
4.1.3.1. 直接映射: 适合大容量Cache



1 原理：Cache有8块，主存256块；将主存中每8块当作一个轮回，共32个轮回；主存每轮中第i块映射到Cache中第i块。一般情况下为，Cache块号=主存块号 mod Cache总块数

2 缺陷：不灵活(主存一块只能映射到Cache固定位置)&冲突率高(抖动，Cache的某一块需要总换)

3 操作:



1. CPU指出一个内存地址(tag+块号+字), 求出: $\text{Cache块号} = \text{主存块号} \bmod \text{Cache总块数}$

(求出的Cache块号不唯一)

2. 在比较器中, 比较内存地址中的tag&求出的Cache的标记相同(加上Cache有效位为1这一条件), 则命中, 否则不命中

3.1. 如果命中：则Cache中对应块的低b位，被读取进CPU

3.2. 如果不命中：主存中块替换Cache中的块，然后信息送往CPU，同时修改Cache的标记

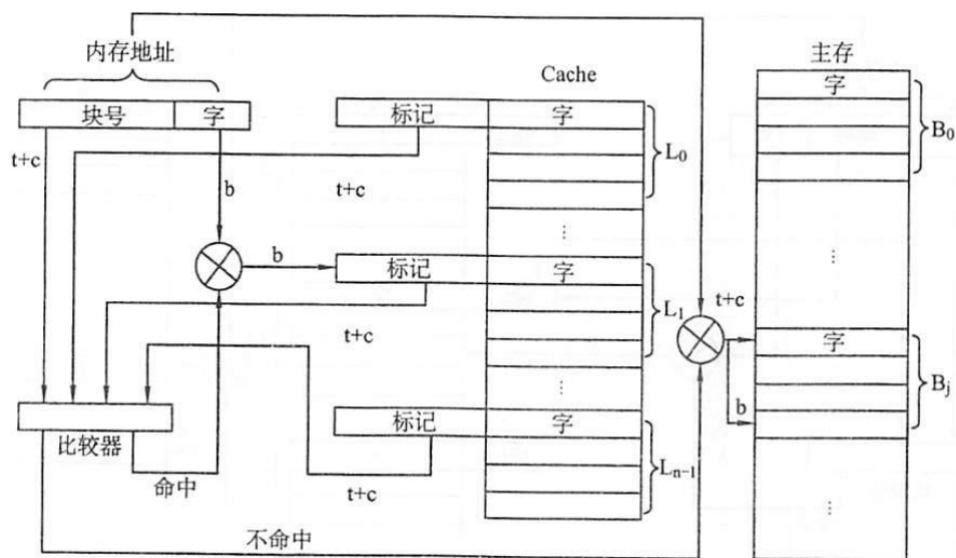
3.3. 如果有效位为0: 将有效位置1, 然后重复不命中的操作

4.1.3.2. 全相联映射：小容量Cache

1 含义：允许主存任一块映射到Cache任一块，而不是每组的某个固定位置

2 特点: Cache命中率/利用率高, 但tag位数增多(例如以上256位分32组tag为5位, 全相联是就要8位了), 同时tag也需要和Cache所有标记比较了(由CAM完成)

3 操作:



1. CPU指出一个内存地址(块号+字)
2. Cache所有行的标记位+内存块号，一起送入比较器，比较(有效位不考虑其实也行)
- 3.1. 命中，CPU直接从相应Cache块中读取字
- 3.2. 不命中，若Cache有空则把对应的地址块读入Cache，Cache全满就以一定策略替换

4.1.3.3. 组相联映射：将前二者折中

1 概述：把直接映射的映射到Cache的哪一块，改成映射到Cache的哪一组，至于具体放到组里的哪一块，随机放就行。每组N块叫做N路组相联

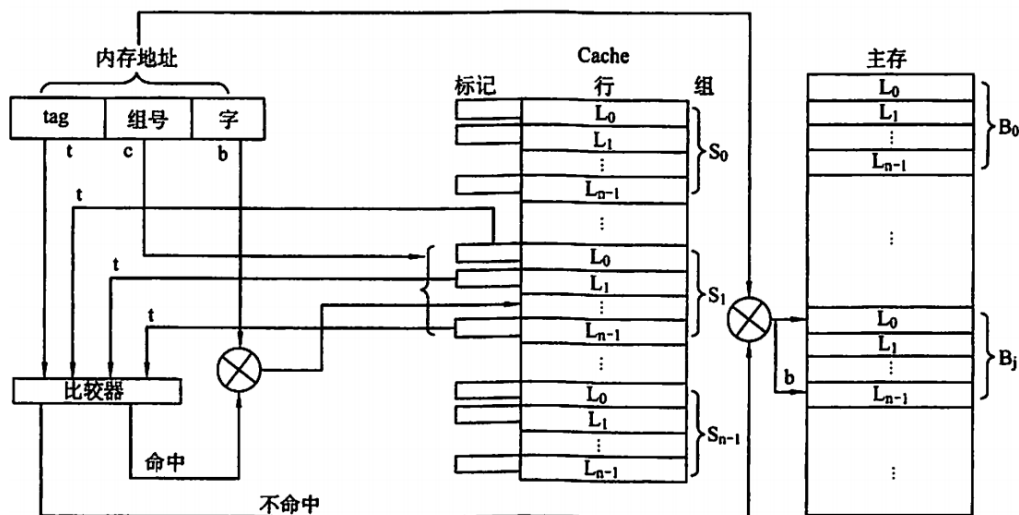
同例，Cache分4组8块，主存256块被分为 $256/4=64$ 个轮回，tag需要6位

2 与其他二者的关系：每组一块=直接映射，只有一个组=全相联映射

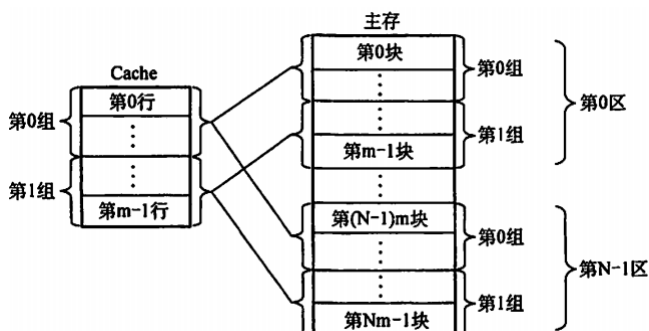
3 主存地址高到低位分为3部分：tag(剩余位)，组号($\log_2(\text{Cache组数})$ 位)，字($\log_2(\text{块大小})$ 位)

4 操作原理：

1. CPU指出一个内存地址(tag+块号+字)，求出：Cache组号=主存组号 mod Cache总组数
2. 将选定Cache组中每一块tag与内存地址的tag比较
- 3.1. 若某个tag相同则命中，然后对应块的低b位(字)送CPU
- 3.2. 若所有tag都不相同，则miss，则将内存中这一块塞进组中随机一块，若满了就按策略替换



4.1.3.4. 另一种组相联映射的方法



- 1 不仅给Cache分组，还给主存按照Cache大小分区，每个分区中再分组，组内分块
- 2 主存中不同区的相同序号的组和Cache同序号的组采用直接映射，组序号不同不映射
- 3 同序号的组各块采用全相联映射

4.1.3.5. 关于Cache标记项

- 1 结构为：有效位(1bit)+一致性维护位(1bit)+标记位Tag+替换算法控制位
- 2 对于组相联，每一组的标记项只有一行，每组对应的每行标记项拼成标记矩阵
- 3 对直接和全相联：标记项一行就是一组

4.1.4. Cache的块替换策略

对于直接映射，把特定位置的块换出Cache即可。对于全相联和组相联，需要一定的策略：

- 1 先进先出算法：选最早调入Cache的字块替换，开销小，但是不符合局部性
- 2 最少使用算法：随时记录Cache各块的使用情况(或简化为每块最近一次使用时间)，替换掉最少使用(近期最不使用的)

4.1.5. Cache写操作策略

Cache的内容主存一定要有，但CPU会写入内容到Cache，所以Cache需要写操作，方法有：

- 1 写回法：
 1. CPU写Cache命中，只修改Cache内容，不立即写入主存，只有当这一块被换出时才写入主存

2. CPU写Cache不命中，则在主存中找到这一块，把这块放到Cache后，再重复以上操作
修改写回
3. 所以需要有一位一致性维护位，来记录Cache是否被修改(1修改/0没改)
4. 优点是减少访问主存的次数

2 全写法

1. CPU写Cache命中，同时修改Cache&主存内容
2. CPU写Cache不命中，不和Cache废话了，直接在主存中修改，也不一定要主存复制到Cache中了

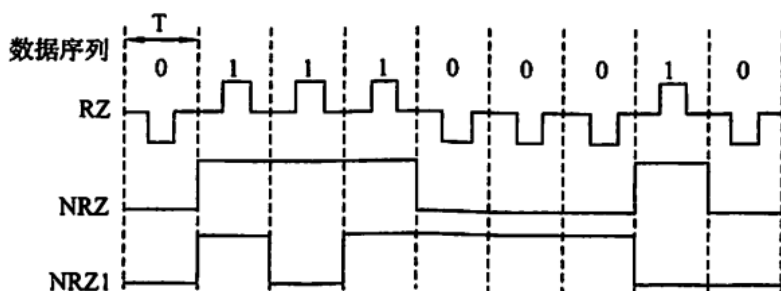
3 写一次法(折中法): 写命中/未命中和写回法一样，但只有第一次写命中要同时写入主存

5. 辅助存储器(外存)

磁盘存储器，磁盘阵列，光盘

5.1. 硬盘存储器

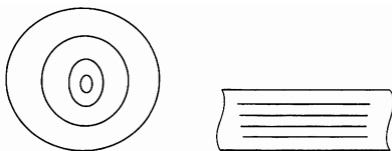
5.1.1. 硬盘如何记录数据?



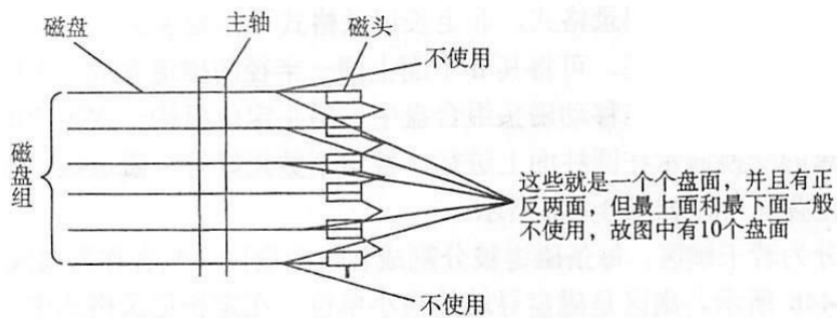
- 1 归零制RZ: 记录1通正脉冲，记录0通负脉冲
- 2 不归零制NRZ: 记录1通正脉冲，记录0通负脉冲，但只有相邻信息不同时才翻转
- 3 NRZI: 见1才翻转

5.1.2. 硬盘的技术指标

- 1 概述: 磁盘分为盘状/带状，表面有磁性材料，在磁层的磁道上记录信息



- 2 记录密度: 单位长度存储的二进制信息量
 1. 道密度: 半径方向单位长度有多少同心圆(道距: 相邻磁道间距)
 2. 位密度(线密度): 单位长度磁道记录的二进制信息位数，圈越大位密度越小，因为每圈的数据量一样
- 3 存储容量: 总容量=盘面数×每个盘面磁道数×每个磁道上记录的二进制数量



4 平均寻址时间：(最小+最大寻道时间)/2+(最小+最大等待时间)/2

1. 寻址过程：找到所在的磁道(寻道时间)+在道上找到数据(等待时间)
2. 考虑到寻道/等待时间因情况而异，所以，见顶上的公式

5 传输速率：单位时间内磁表面存储器向主机传输数据的位/字节数

或者说，传输速率=每一条磁道的容量×磁盘转速

6 误码率：读出N位数据，M位出错，误码率就是M/N。通常用循环冗余码来校验数据

5.1.3. 硬盘的概述

1 概念：记录介质为硬质圆盘的磁表面存储设备

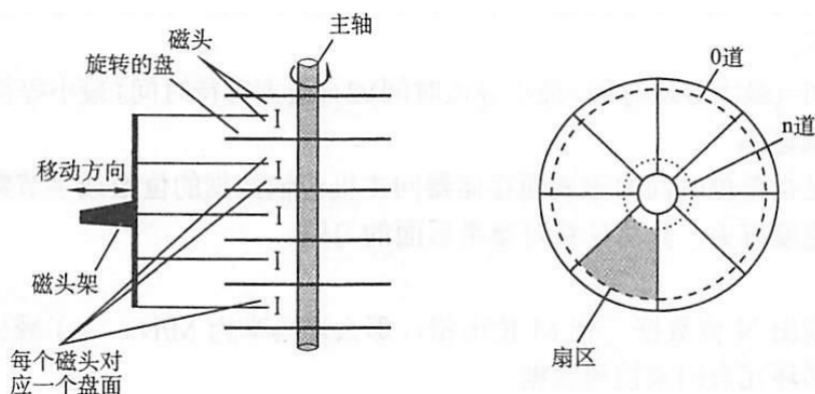
2 组成：磁记录介质+磁盘控制器(逻辑/时序/串并控制)+磁盘驱动器(读写电路/读写转换/读写磁头定位)

3 分类(依据)：可换(硬盘主板焊一起)还是不可换？磁头固定(每磁道都有磁头)还是移动(一个磁头)？

4 磁道记录格式：定长记录格式，不定长记录格式，关于定长记录格式：

1. 柱面：由若干盘片的同半径磁道构成，所存的信息集合叫磁面信息，磁头一次定位一个柱面。不难理解磁道号就是柱面号

PS：当一个磁道存满了后，优先放在同一柱面下一盘面磁道，柱面都满了的话就放在盘面中下一个磁道



2. 扇区：盘面又分为扇区，每个磁道因而被分为扇段
3. 台号：系统挂多个磁盘组，每个磁盘组都有一个号码(台号)
4. 定长记录格式：台号-磁道号-盘面号-扇区号：

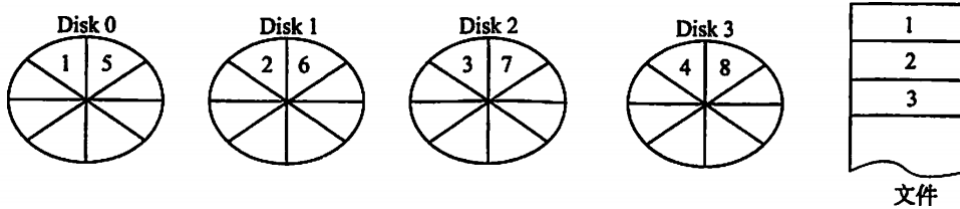
先确定台号(哪一个磁盘组)→磁盘寻址确定柱面(寻道时间)→选定磁头(找到盘面)→找到扇区(等待时间)

5.2. 磁盘阵列(RADI)

1 RAID是什么：由多个小容量磁盘代替一个大容量的磁盘，数据交错分块放置处理，此外其还设置一块区域来放多于重复资料(某磁盘一失效就利用重复资料重建信息)

2 RAID分级：共7级，了解1,2级

1. RAID0：写时将资料分为小块每块送入不同磁盘，读时从不同磁盘取出然后组合



2. RAID1：镜像备份，两个硬盘各一份完全相同的备份。写入时相同资料同时写到每个磁盘，读时读一个磁盘即可



5.3. 光盘：激光刻录/读出信息

1 分类1：第一代光存储技术(激光照非磁性介质来读写，不可擦除)，第二代(磁介质，可擦除)

2 分类2：CD-ROM(厂家写入，只读)，只写一次(用户写入，只读)，可擦写(重复读写)

3 特点：非接触读写寿命高，也分了磁道扇区(也和磁盘一样，扇区是他最小可寻址单元)