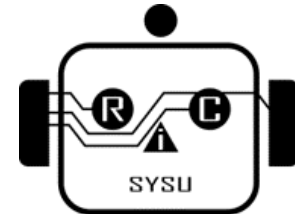




中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY



计算机组成原理

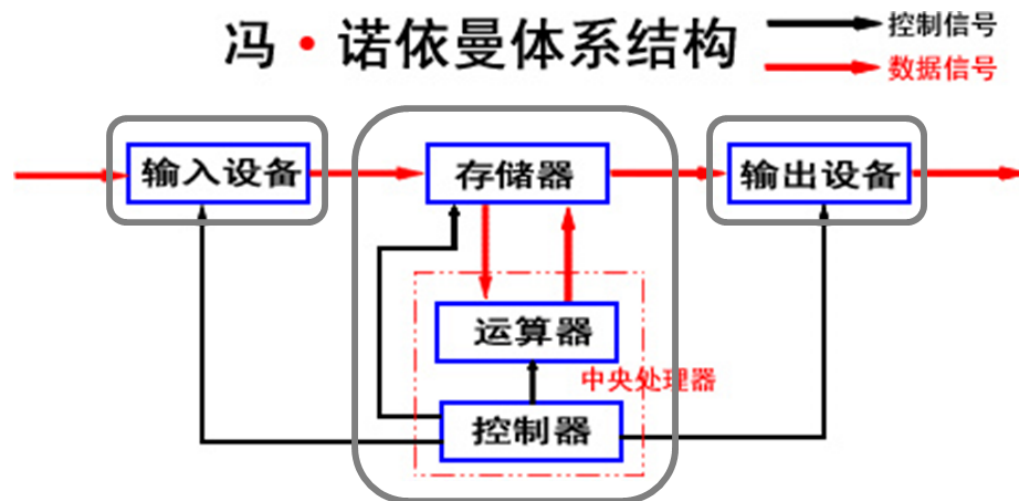
第七章：输入使出系统

中山大学计算机学院
陈刚

2022年秋季

输入输出系统概述

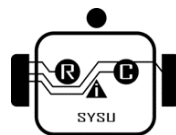
什么是输入输出系统



输入输出系统是用于控制外设与主存、外设与CPU之间进行数据交换的**软、硬件系统**。

I/O硬件：I/O设备（外设）和I/O接口

I/O软件：参与I/O任务的专用软件



I/O设备

I/O设备的分类

- 从交互方式来分
 - 人-机交互设备
 - 机器可读设备
- 从操作功能来分
 - 输入/输出设备
 - 外部存储设备



I/O设备

I/O设备的地位和作用

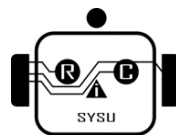
① I/O设备是计算机系统重要组成部分，相当于计算机的五官四肢

- 如果没有I/O设备，计算机不能工作
- 不全或性能不好，计算机效率低

② 人机通信和对话的工具

- 了解机器运行状态，进行故障诊断，控制、操作计算机，都通过I/O设备。如**键盘**、**显示器**，等

第一代计算机中，I/O设备在整机中的造价比重不到5%，第二代机中迅速上升至30~40%。第三代机中已超过50%，而现在达80%以上

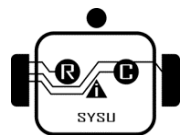


I/O设备

I/O设备的地位和作用

- ③不同媒体间信息变换的装置
- ④系统软件及信息资源的驻留地
- ⑤推广应用的桥梁

计算机的普及应用促进了I/O外设的发展，而新型I/O外设的出现又推动了计算机在不同领域的广泛应用



I/O设备

I/O设备的特点

- 速度慢

- 多样性

品种多、功能强、涉及学科领域多

- 复杂性

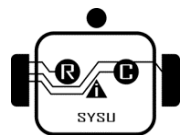
传输方式、传输速率、工作原理差异大



I/O系统

I/O操作的特点

- ①**异步性**：外设速度远远低于处理器，两者不使用统一的时钟
 - I/O设备通常按照自己的时钟工作，但又要在某些时刻接受主机的控制
 - 外设与处理器间的信息交换是随机的
 - 主机与I/O设备之间、I/O设备与I/O设备之间能够并行工作
- ②**实时性**：外设速度慢，但一经启动，则以固定速率工作，要求主机在规定的时间内完成信息交换
 - 一般外部设备：可能丢失数据，或造成外围设备工作的错误
 - 实时控制计算机系统，例如，工业过程控制，导弹、卫星等，如果处理机提供的服务不及时，可能造成巨大的损失，甚至造成人身伤害



I/O系统

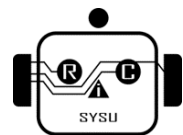
I/O操作的特点

③数据交换的复杂与多样性

- 数据交换的对象种类繁杂，所传输的数据类型不一
- 数据传输的速率相差巨大，所传输的数据格式千差万别，……

④ I/O操作的实现与设备的无关性

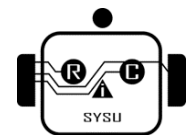
- 主机尽可能少地考虑外设的内部细节，让外设的特殊性隐藏在各自的设备控制器和接口的某些可变部分中
- 处理器通过简单命令控制外设并完成I/O操作



I/O系统

I/O系统的常用性能指标

- **响应时间** (Response time) : 即I/O延迟 (Latency)
 - 完成一次I/O事务所需要的时间
- **吞吐量** (Throughput)
 - 单位时间内完成的输入/输出**操作次数**
- **I/O带宽** (Bandwidth)
 - 单位时间内从系统输入/输出的**数据量**



I/O系统

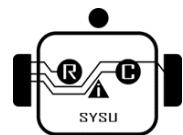
- **输入/输出系统的功能：** 解决各种形式信息的输入和输出
 - 用户如何将所需的信息(文字、图表、声音、视频等)通过不同的外设输入到计算机中
 - 计算机内部处理的结果信息如何通过相应的外设输出给用户

怎样在CPU、主存和外设之间建立信息传输“通路”？

怎样将用户的I/O请求转换成设备的命令？

如何对外设进行区分，并使CPU方便地寻找到要访问的外设？

I/O硬件和操作系统如何协调完成主机和外设之间的数据传送？ 等等



I/O接口

为什么需要I/O接口?

- ① 键盘鼠标接口
- ② 串行接口
- ③ 并行接口
- ④ VGA接口
- ⑤ IEEE1394接口
- ⑥ USB接口
- ⑦ 网络接口
- ⑧ 集成声卡接口



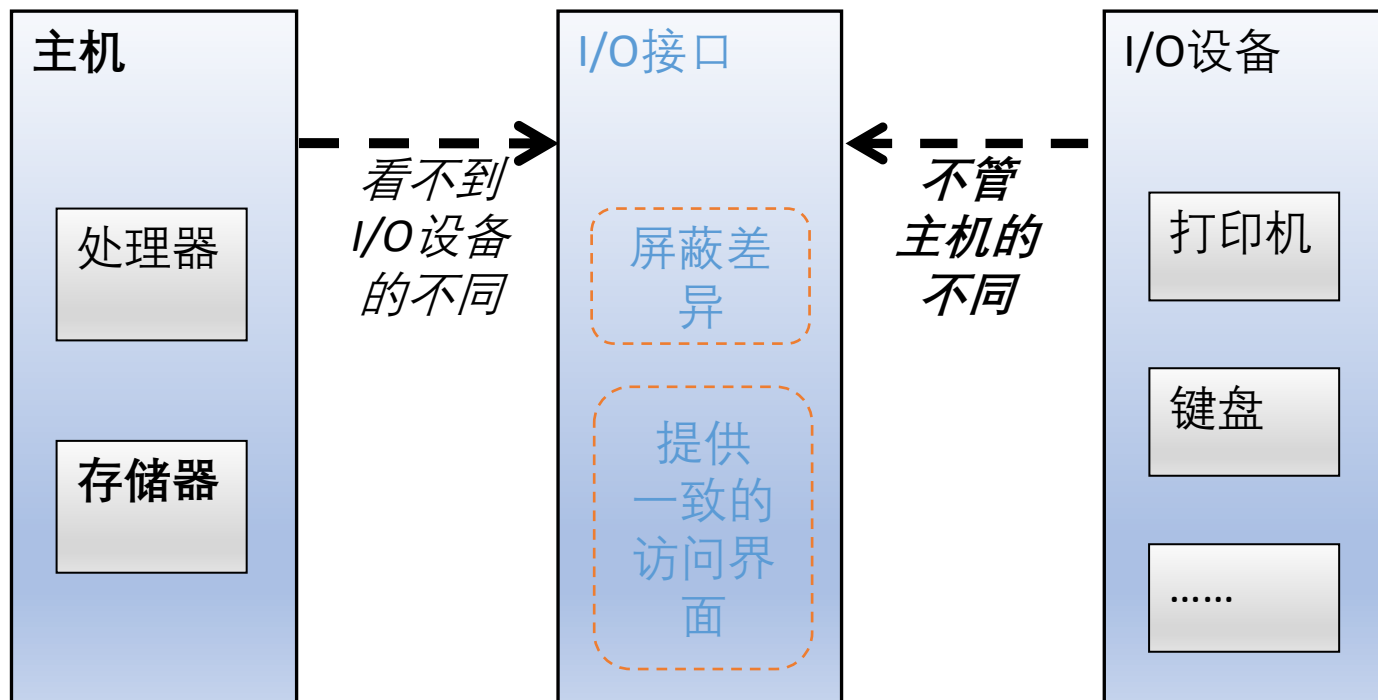
为什么需要I/O接口?



为什么需要I/O接口?



I/O接口是“主机”与“I/O设备”之间数据交换的界面

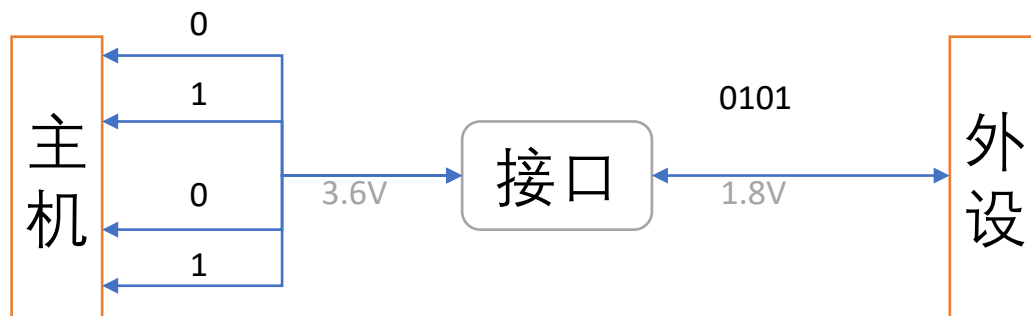


I/O接口的功能

1、数据格式转换和电平变换

接口和主机之间通常以并行方式传送信息，而接口与外设之间，有的采取并行传送，有的采取串行传送。

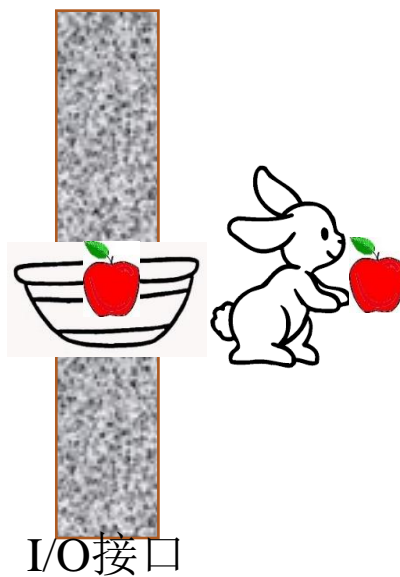
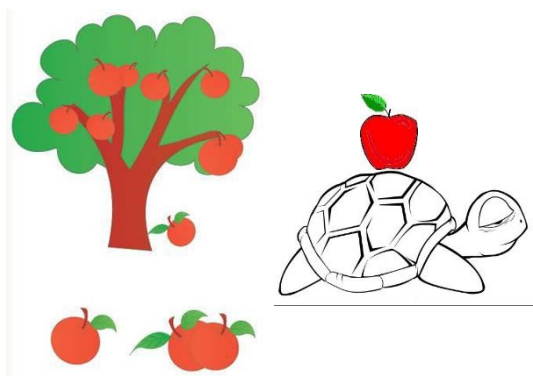
外设及其控制线路所需电源与主机可能不同，导致信号电平存在差异。



I/O接口的功能

2、数据缓存

如何完成速度不匹配的设备之间的数据传输呢？

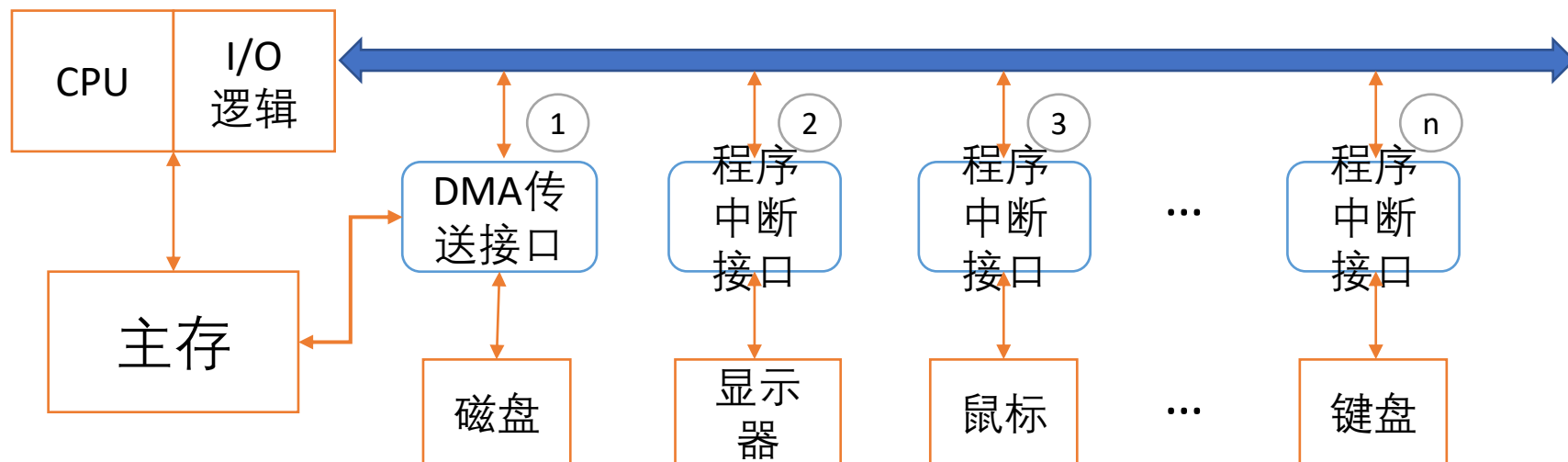


I/O接口的功能

3、寻址功能



主机如何区分各种I/O设备？

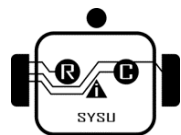


I/O接口的功能

4、提供外设和接口状态

I/O接口中的状态寄存器：忙/闲、就绪、中断、屏蔽、数据传送错、设备故障，等等

接口中专门为主机设置了反应设备各种状态的触发器，所有这些触发器共同组成了接口中的状态寄存器



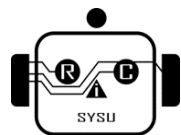
I/O接口的功能

4、提供外设和接口状态

I/O接口中的状态寄存器：忙/闲、就绪、中断、屏蔽、数据传送错、设备故障，等等

5、实现主机对外设的控制

读写、端口选择、外设的启动、磁盘的寻道、中断请求等等



I/O接口基本结构和寻址

□ 数据寄存器

- 暂存外设与主机要交换的信息，其与数据线相连

□ 状态寄存器

- 存放外设和接口的状态信息

□ 控制寄存器

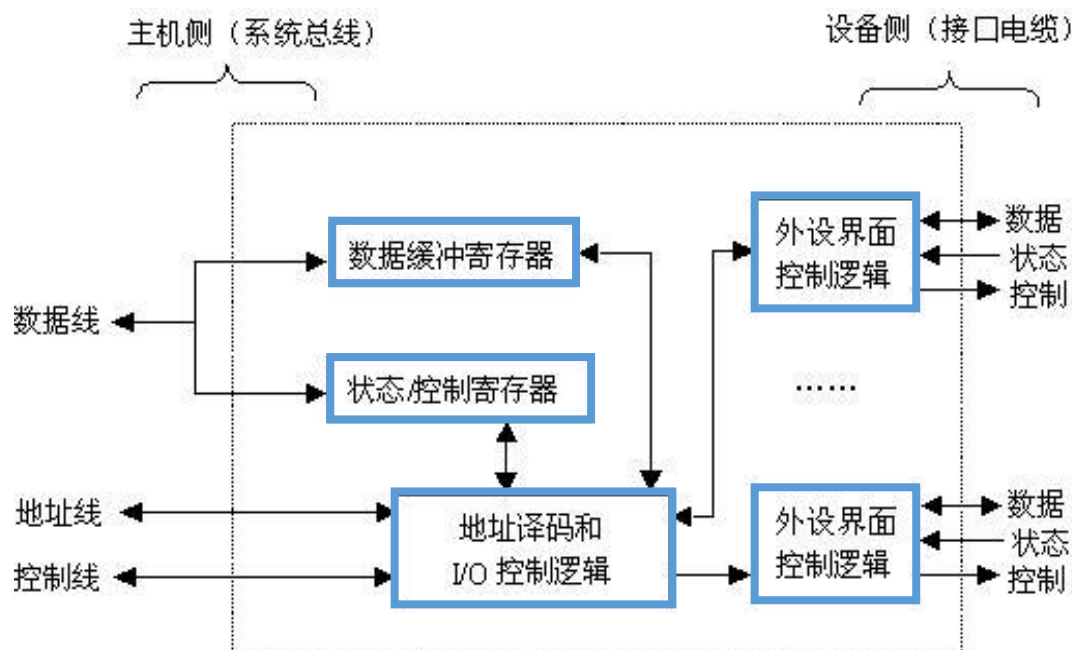
- 寄存I/O指令中的命令码

□ I/O控制逻辑模块

- 所有控制线路的集合，控制实现外设与主机的信息传送

□ 外设界面控制逻辑

- 接收送来的设备地址，和外设完成数据交换



I/O接口是由各种寄存器和逻辑电路构成的

I/O接口基本结构和寻址

I/O接口

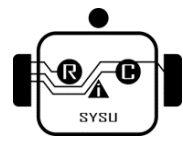
I/O接口

I/O端口

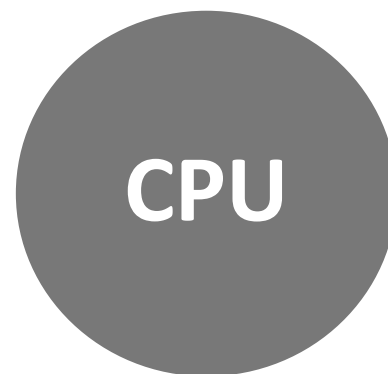
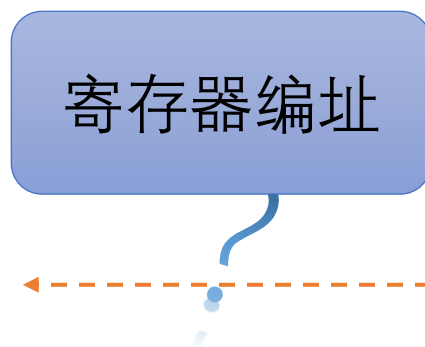
I/O端口

主机和外设之间设置的一个硬件电路和相应的软件控制，包括各种寄存器和逻辑电路等。

I/O接口中包含的**各种寄存器**，是为了和主机内部的寄存器作区别而统一取了个名字。



I/O接口基本结构和寻址



I/O接口基本结构和寻址

统一编址

- 将I/O端口映射到主存空间的某区，与主存统一编址，将主存空间分出一部分地址给I/O端口进行编号，也被称为“存储器映射方式”
- 将外设接口中可访问的寄存器和存储器的存储单元同等对待，可用访存指令去访问外设中的寄存器
- 例如：IBM公司的处理器采用统一编址方式

独立编址

- 对I/O端口单独编号，使之成为独立的I/O地址空间，存储单元地址和外设地址毫无关系
- 需要专门的I/O指令，把I/O操作和存储器读写截然分开
- 例如Intel公司的处理器采用独立编址方式

I/O接口基本结构和寻址

	优点	缺点
统一编址	与访存指令一致的存/取指令	主存空间减少
	读写控制逻辑简单	外设寻址时间长
独立编址	不占用存储器地址空间	I/O指令类型少
	寻址速度快	
	使用专用I/O指令，程序清晰，便于理解和检查	增加了控制逻辑的复杂性和处理器引脚数

磁盘存储器

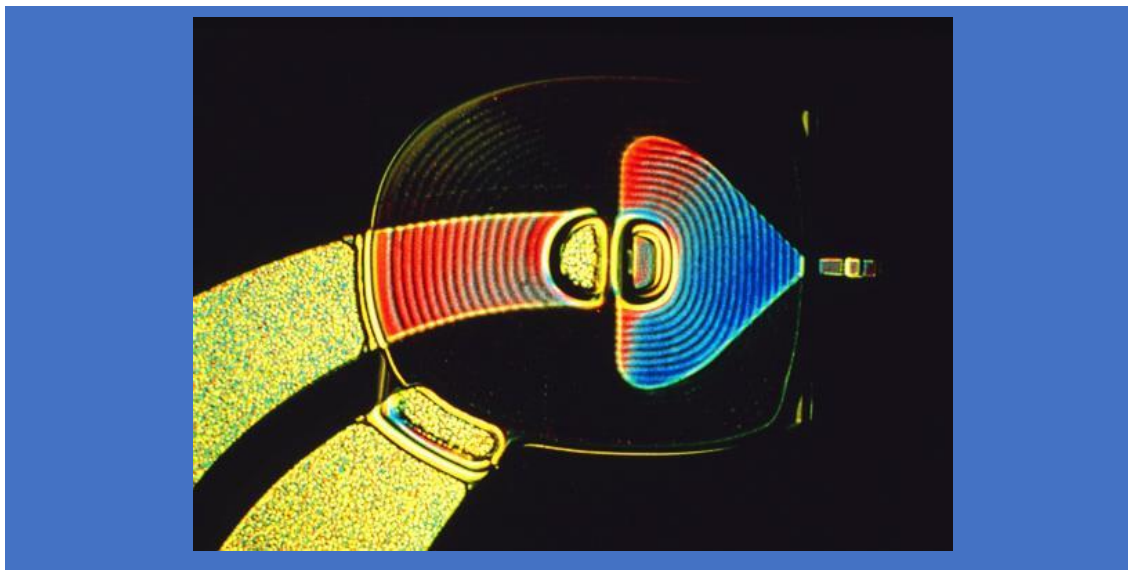
磁盘的发展历史



1973年，IBM公司推出了第一款**温彻斯特**硬盘——IBM3340
14英寸的规格，由两个分离的盘片构成，容量60MB



磁盘的发展历史

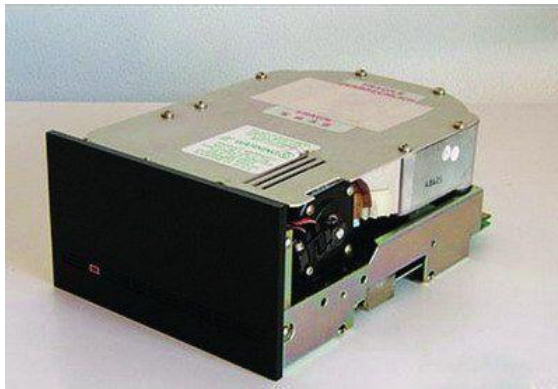


1979年，IBM再次发明了**薄膜磁头**，为进一步减小硬盘体积，增大容量，提高读写速度提供了可能



磁盘的发展历史

- Alan Shugart & Finis Conner
 - Shugart Technology公司
- ST-506 & ST-412
 - 第一块用于微型计算机的5.25英寸硬盘驱动器



磁盘的发展历史



80年代末期，IBM发明**磁阻(MR)磁头**，磁阻磁头在读取数据时对信号变化相当敏感，使得的磁盘存储密度提高了数十倍



1991年，IBM生成的**3.5英寸**硬盘使用MR磁头，容量首次达到了**1GB**。
从此硬盘容量开始进入GB数量级

磁盘的发展历史

- 体积不断减小
- 容量不断增大
- 速度不断加快

硬盘 - 简史



**IBM RAMAC
(1956)**

50 碟
24英寸碟片
1,200 rpm
5 MB
6英尺高

第一款硬盘

1950

1960

**IBM 1405
(60年代)**

25碟
24英寸碟片
1,200 rpm
10-20 MB
6英尺高

1970

**IBM 3340 Disc
'Winchester'
(1973)**

20 碟
14英寸碟片
3,600 rpm
30 MB (每天)
4 英尺高



**CDC Cricket
(1982)**

2 碟
90 毫米碟片
3,600 rpm
5 MB
1.65英寸高

1980

**Seagate ST506
(1980)**

2碟
5.25英寸碟片
3,600 rpm
5 MB
3英寸高



**Seagate
Barracuda
(1991)**

10 碟
5.25英寸碟片
7,200 rpm
2.5GB
1.65英寸高

1990



**Seagate
Cheetah X15
(2000)**

5 碟
2.5英寸碟片
15,000 rpm
36 GB
1.65英寸高

2007

**Seagate
Cheetah
(1997)**

8 碟
3.5英寸碟片
10,000 rpm
9GB
1.65英寸高



**Seagate
Barracuda
(2007)**

1 TB
7,200 rpm
垂直记录



52Hardware.com

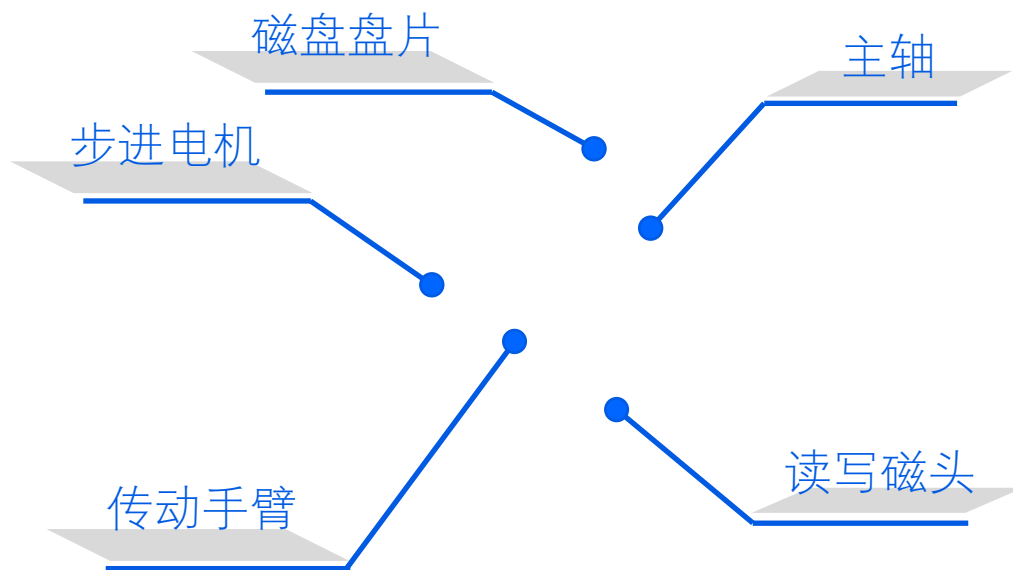
www.52hardware.com



磁盘的组织结构



步进电机控制磁头精确定位到每个磁道



主轴将磁盘盘片固定在磁盘内部，在电动马达的驱动下，磁盘盘片以主轴为中心高速转动

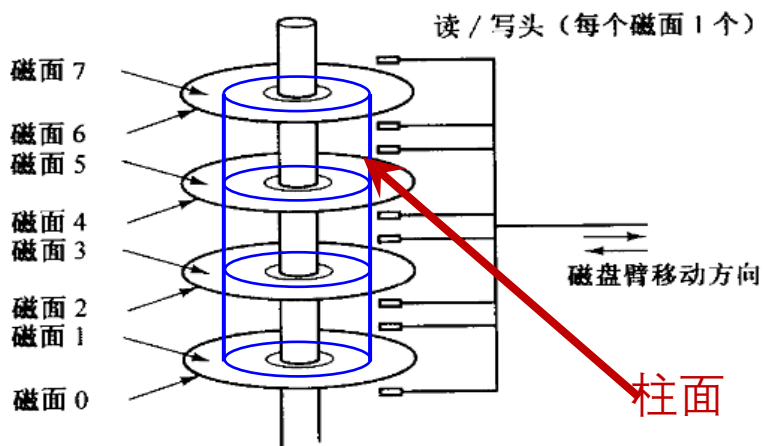
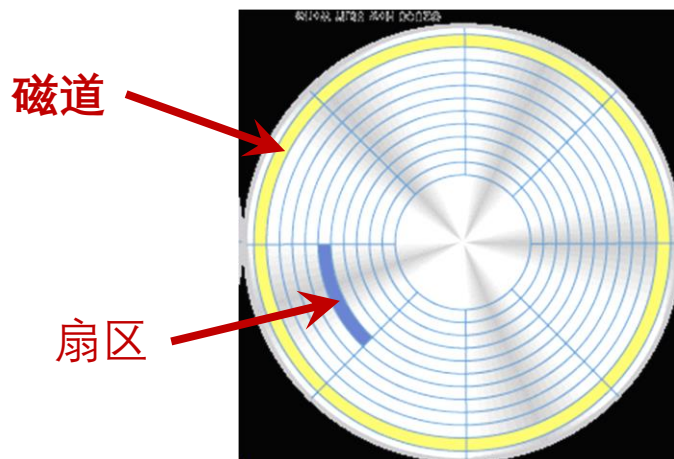
磁盘的工作原理

• 磁盘组织

磁道：每个记录面划分为许多个同心圆，每个同心圆轨迹称为一个磁道

扇区：每个磁道被分成若干大小相同的圆弧(段)

柱面：多个盘面上位于同一半径的磁道构成的一个圆柱

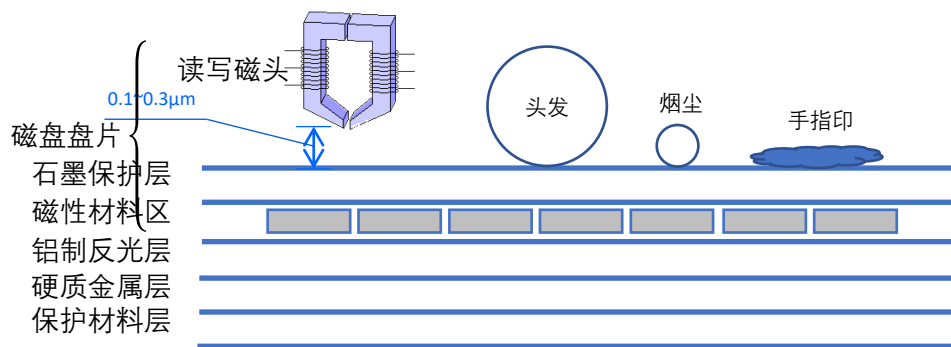
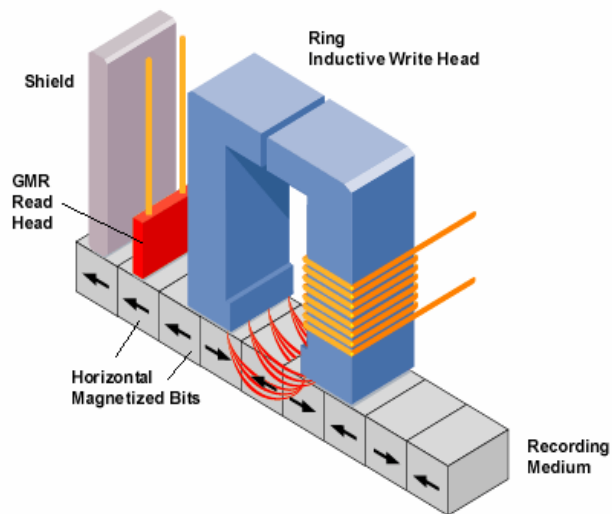


磁盘的工作原理



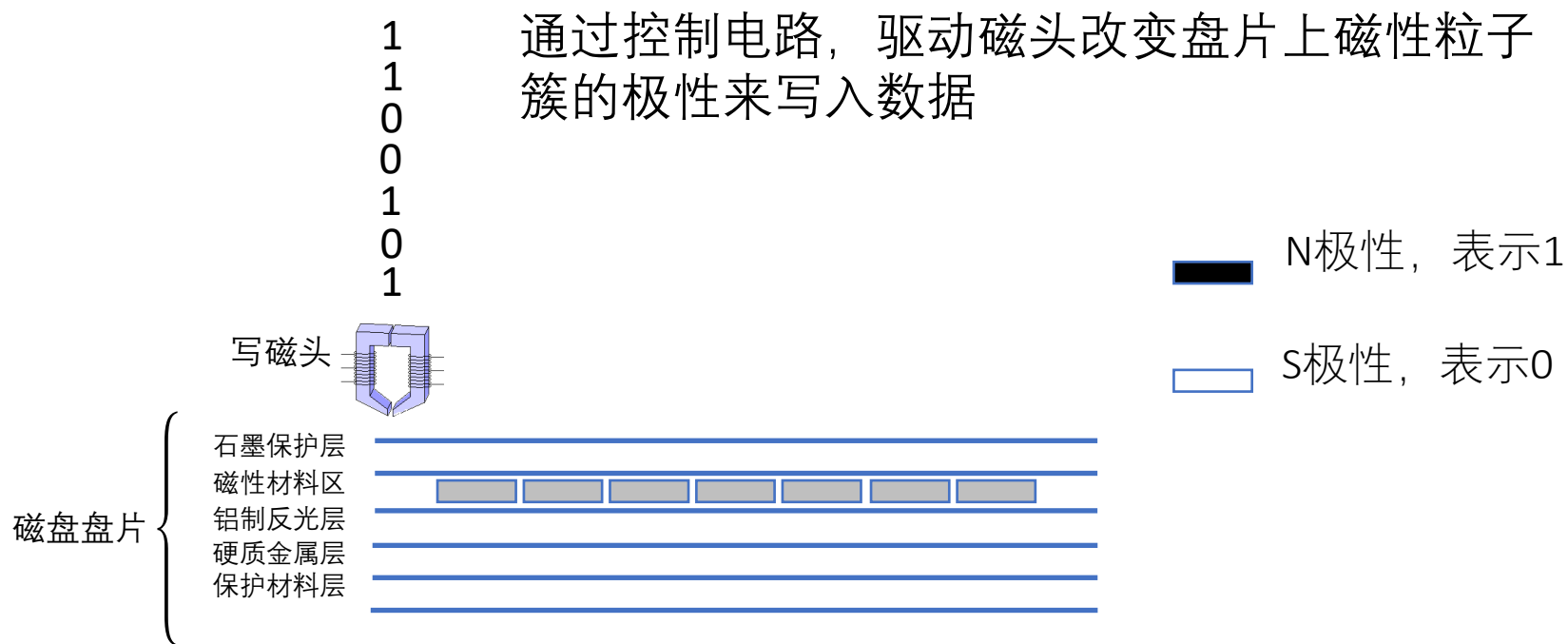
读写磁头：将电脉冲信号转换成介质上的**磁化状态**，或将介质的磁化状态转换成电脉冲信号，是**电磁转换**的“桥梁”

磁盘盘片：将硬磁材料涂敷、电镀或沉积在金属或玻璃材质的基板上，是记录二进制信息的载体



磁盘的工作原理

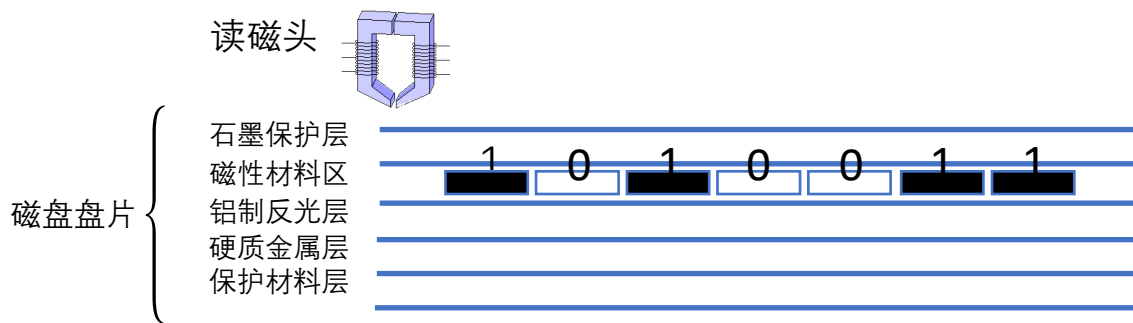
磁盘的基本操作 —— 数据写入



磁盘的工作原理

磁盘的基本操作 —— 数据读取

盘片上被极化的磁性粒子与磁头上的磁感应物质相互作用，在磁头上产生感应电压，进一步被转换为能够被计算机处理的二进制信号



■ N极性，表示1

□ S极性，表示0

磁盘的指标性能

记录密度

磁盘容量

存取时间

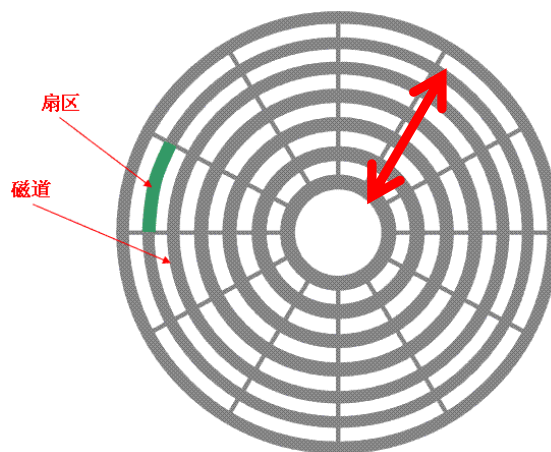
误码率

单位长度或单位面积磁表面存储的二进制信息数

① 道密度 (Track Density)

■ 在垂直于磁道或光道方向上单位长度磁介质所容纳的磁道数

■ 单位: tpm 或 tpi



磁盘的指标性能

记录密度

磁盘容量

存取时间

误码率

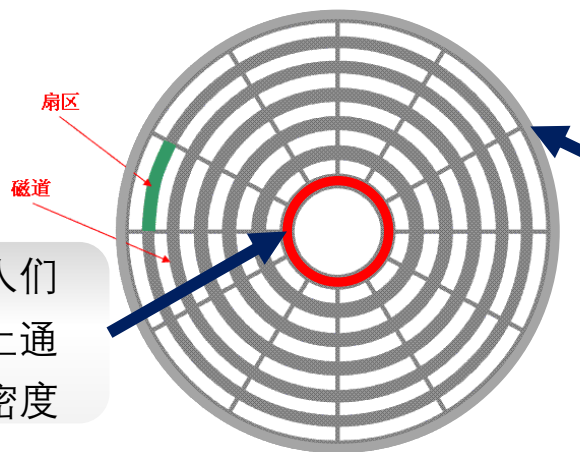
单位长度或单位面积磁表面存储的二进制信息数

② 位密度 (Bit Density)

■ 单位长度磁道上所能记录的二进制信息位数

■ 单位: bpm 或 bpi

内圈磁道位密度高。人们所说的位密度，实际上通常指最内圈磁道的位密度



外圈磁道位密度低，记录信息出错概率小，常用来存储操作系统等重要信息

磁盘的指标性能

记录密度

磁盘容量

存取时间

误码率

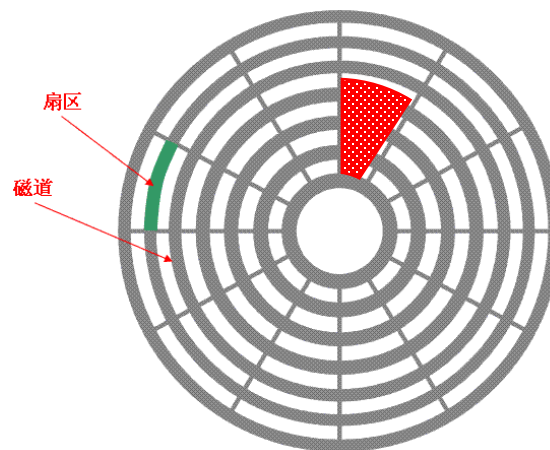
单位长度或单位面积磁表面存储的二进制信息数

③ 面密度 (Surface Density)

■ 单位面积上记录的二进制信息位数

■ 单位: bpm^2 或 bpi^2

■ 面密度 = 道密度 \times 位密度

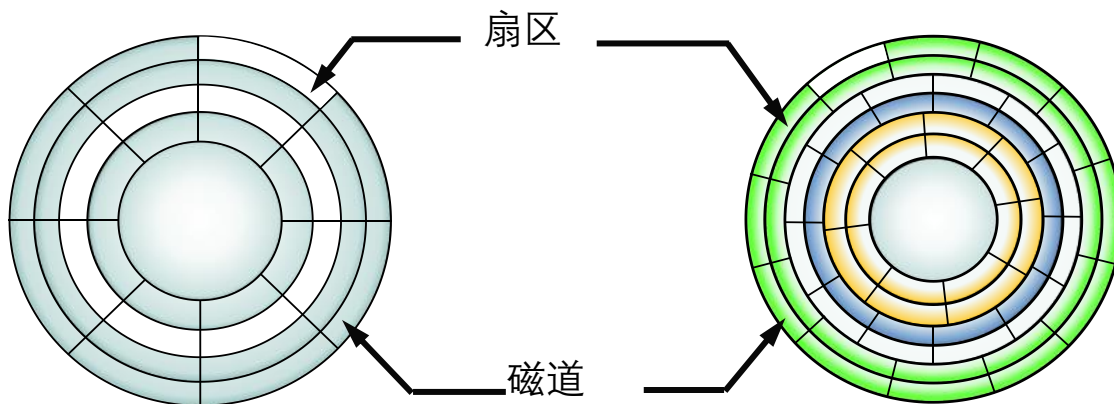


磁盘的指标性能

如何增大磁盘的片上容量？

提高盘片上的信息记录密度——面密度！

- 提高道密度：增加磁道数目
- 提高平均位密度：不同磁道的扇区数不同，增加总扇区数



早期磁盘所有磁道上的扇区数相同，位密度不相同，内道上的位密度比外道位密度高

现代磁盘磁道上的位密度相同，故外道上的扇区数比内道的扇区数多，使整个磁盘的容量提高

磁盘的指标性能

记录密度

磁盘容量

存取时间

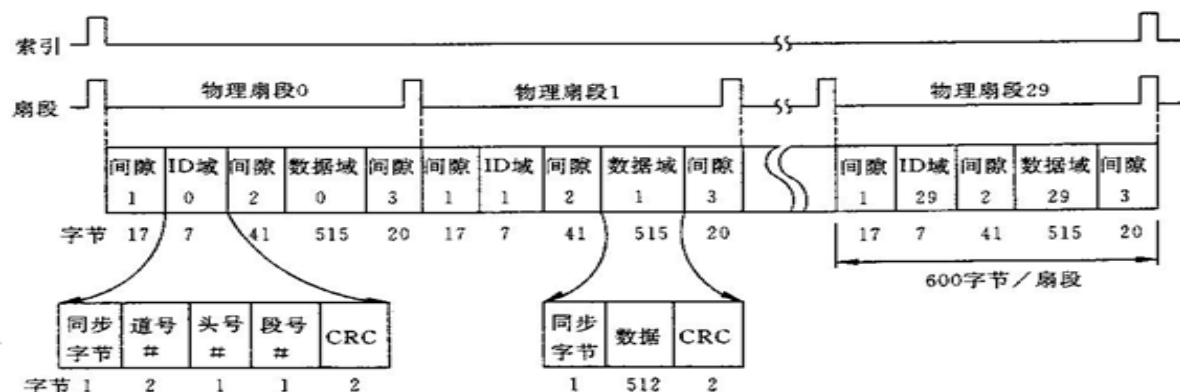
误码率

磁表面存储器所能记录的二进制信息总量

■ 单位：B, MB, GB

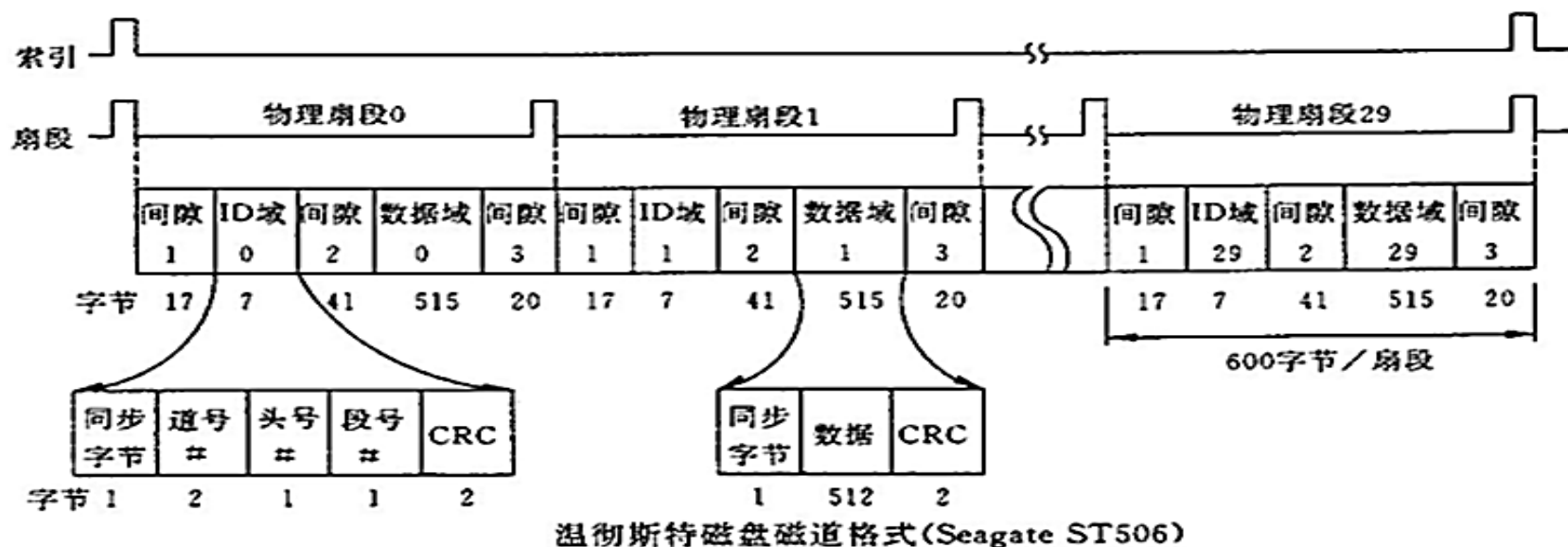
磁盘格式化

■ 依记录格式要求，对磁道划分扇区，留出各种间隙并写入各种标志信息、地址信息和其他控制信息的过程



温彻斯特磁盘磁道格式 (Seagate ST506)

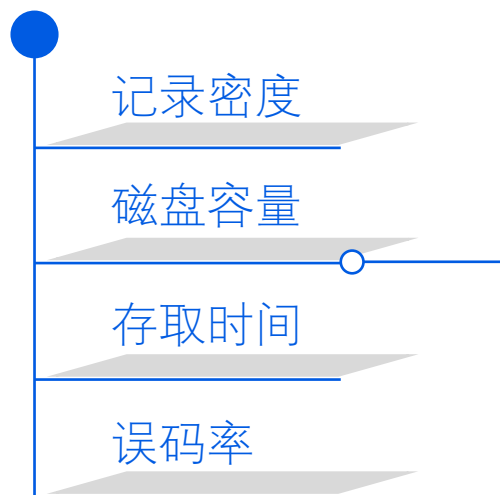
磁盘的指标性能



磁道中为什么要留有间隙？

- 区分不同扇区和扇区内不同信息区
- 为同步、伺服定位、读地址等操作提供缓冲时间
- 留出控制余量，以便在环境、电压变化或换盘组时确保可靠读出

磁盘的指标性能



磁表面存储器所能记录的二进制信息总量

■ 单位：B, MB, GB

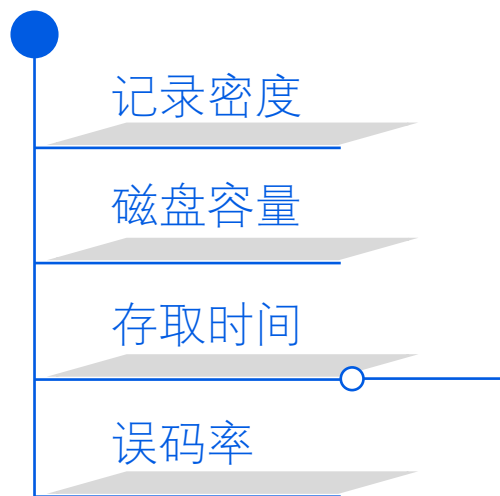
磁盘格式化

■ 依记录格式要求，对磁道划分扇区，留出各种间隙并写入各种标志信息、地址信息和其他控制信息的过程

存储容量有格式化和非格式化之分

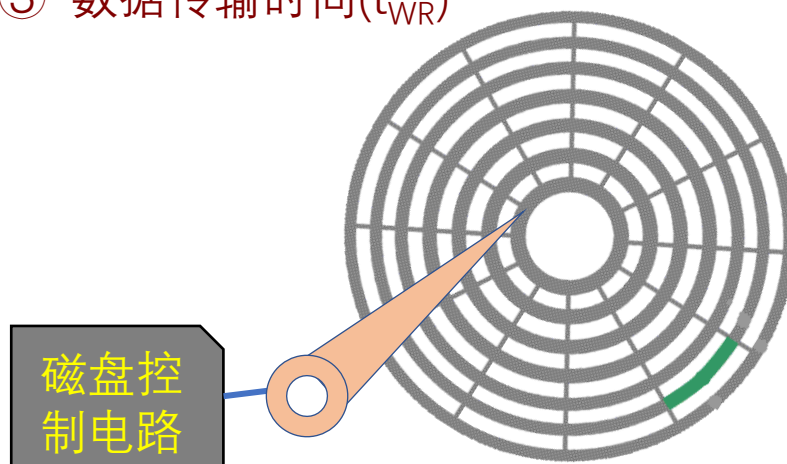
- ① 格式化容量：格式化后所能记录的信息量
- ② 非格式化容量：完全从记录密度考虑的容量
通常，格式化容量是非格式化容量的0.7~0.9倍

磁盘的指标性能

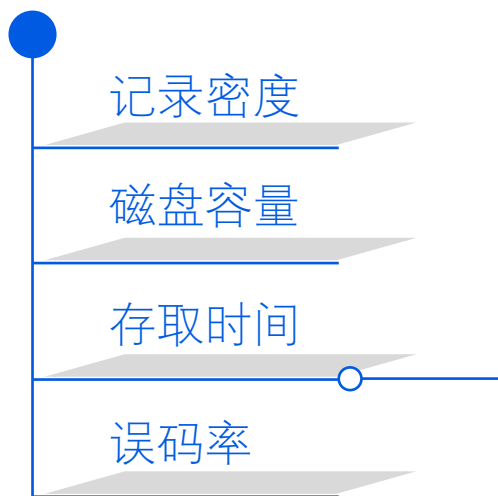


磁头从当前所在位置移动到目标扇区，并完成读写所需的时间

- ① 寻道时间(t_s)
- ② 旋转等待时间(t_w)
- ③ 数据传输时间(t_{WR})



磁盘的指标性能



磁头从现行磁道到目的磁道，并完成读写所需的时间

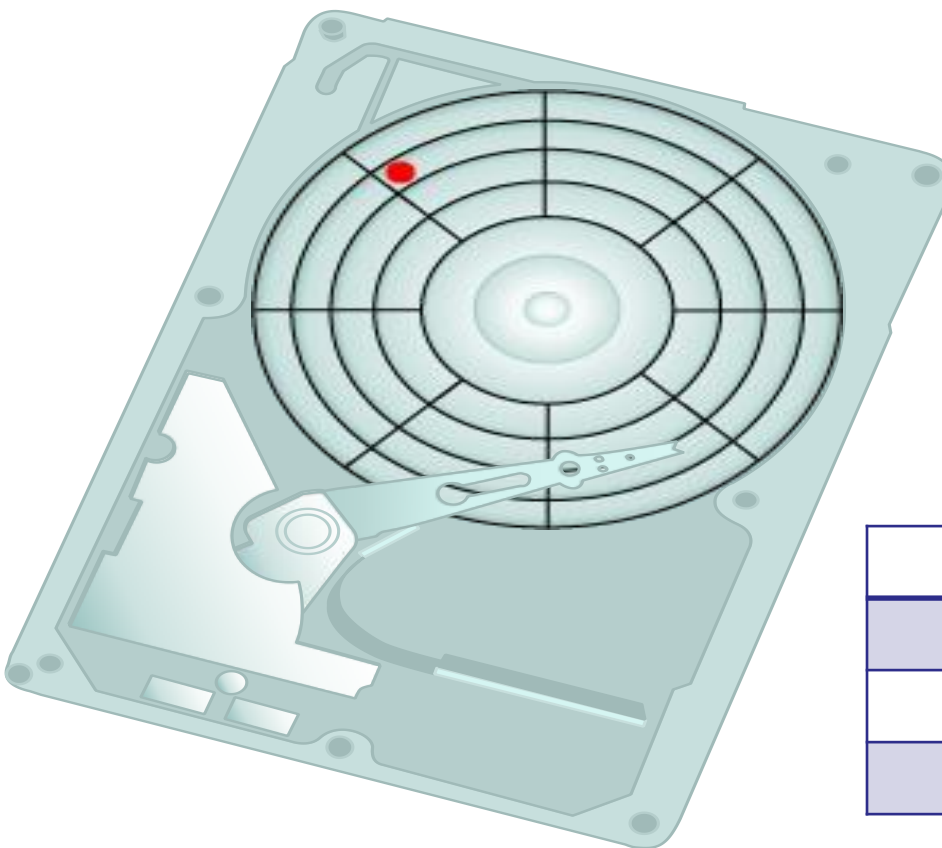
■ 平均存取时间()

- 首道、末道间移动的时间
- 寻找相邻磁道的时间，由寻道机构决定
- 最大旋转等待时间，即转一圈的时间
- 最小等待时间为0，即磁头正好在需读写扇区位置正下（上）方

■ 平均寻道时间

■ 平均旋转等待时间

例1——磁盘的性能指标

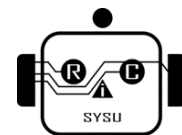


- 最大旋转延迟 $T_{\text{max rotation}}$
 $= (1 / \text{磁盘转速}) * (60 \text{秒} / 1 \text{分钟})$

- 平均旋转延迟

$$T_{\text{avg rotation}} = (T_{\text{max rotation}}) / 2$$

磁盘转速	平均旋转延迟
5400 rpm	5.5 ms
7200rpm	4.17ms
15,000 rpm drive	2.0 ms

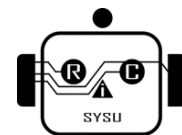


磁盘的性能指标

例：磁盘单盘性能

参数	值
旋转速率	7200rpm
平均旋转延迟 $T_{\text{avg rotation}}$	4.17ms
平均寻道时间 $T_{\text{avg seek}}$	8 ms
平均数据传输时间 $T_{\text{avg transfer}}$	0.02ms

访问磁盘的时间主要开销是**寻道时间**和**旋转延迟**！



磁盘的指标性能

记录密度

磁盘容量

存取时间

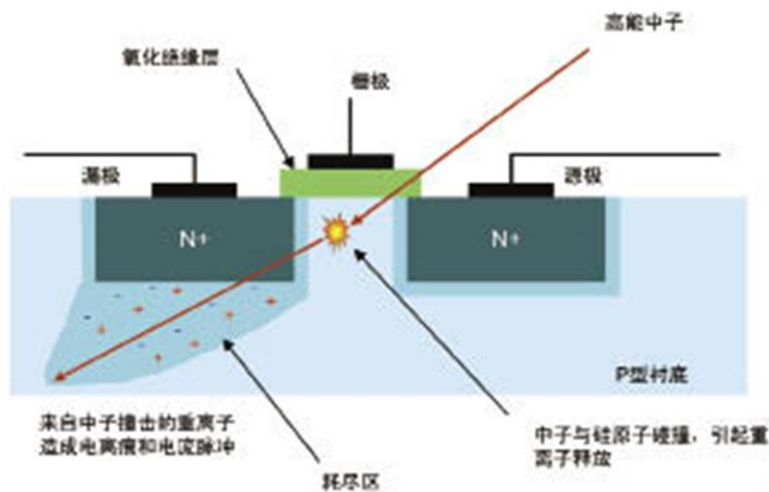
误码率

- ❑ 读出数据出错位数占总位数的比例
- ❑ 衡量磁表面存储器的可靠性指标之一

数据错误

1. 软错误

- 亦称随机错误(偶然性错误)
- 要求误码率 $< 10^{-9}$



磁盘的指标性能

记录密度

磁盘容量

存取时间

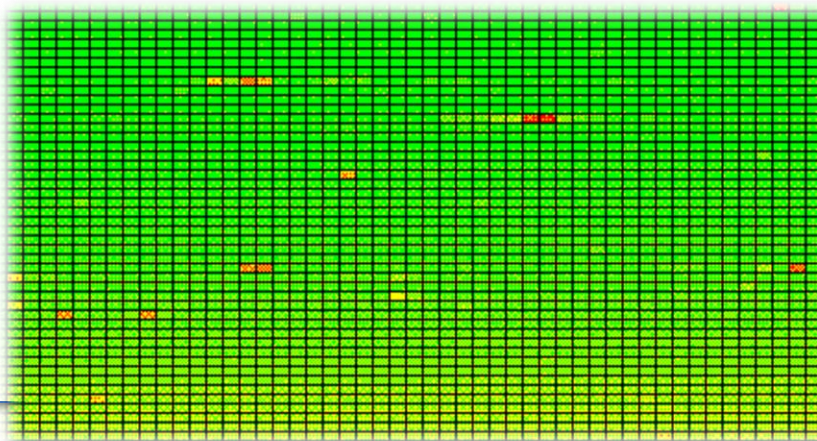
误码率

- ❑ 读出数据出错位数占总位数的比例
- ❑ 衡量磁表面存储器的可靠性指标之一

数据错误

2. 硬错误

- 亦称突发错误(永久性错误)
- 要求误码率 $< 10^{-12}$



快速扫描
速度图

开始 0
结束 80,043
单位 MB

图例
■ = 30 MB
■ 快
■ 慢

损坏的块 0.0 %
扫描速度

磁盘计算举例

例1：访问一个转速为10000RPM的典型磁盘，读写一块512个字节的扇区所需的平均时间是多少？手册给出平均寻道时间是6ms，传输速度是50MB/s，控制器开销是0.2ms。假设磁盘空闲无需等待时间。

解：平均磁盘存取时间=平均寻道时间+平均旋转延迟+传输时间+控制器开销：

$$=6.0\text{ms}+0.5\text{转}/(10000\text{RPM}/60\text{s/m})+0.5\text{KB}/50\text{MB/s}+0.2\text{ms}$$

$$=6.0\text{ms}+3.0\text{ms}+0.01\text{ms}+0.2\text{ms} = 9.21\text{ms}$$

磁盘计算举例

例2：访问一个转速为10000RPM的典型磁盘，读写一块512个字节的扇区所需的平均时间是多少？手册给出平均寻道时间是6ms，传输速度是50MB/s，控制器开销是0.2ms。假设磁盘空闲无需等待时间。

解：平均磁盘存取时间=平均寻道时间+平均旋转延迟+传输时间+控制器开销：

$$= 6.0\text{ms} + 0.5\text{转} / (10000\text{RPM} / 60\text{s/m}) + 0.5\text{KB} / 50\text{MB/s} + 0.2\text{ms}$$

$$= 6.0\text{ms} + 3.0\text{ms} + 0.01\text{ms} + 0.2\text{ms} = 9.21\text{ms}$$

如果实际的平均寻道时间是已知平均寻道时间的25%，则平均磁盘存取时间

$$= 1.5\text{ms} + 3.0\text{ms} + 0.01\text{ms} + 0.2\text{ms} = 4.71\text{ms}$$



为什么实际的寻道时间只有平均寻道时间的1/4？

程序访问局部性使得每次磁盘访问大多在局部磁道！

磁盘计算举例

例2：访问一个转速为10000RPM的典型磁盘，读写一块512个字节的扇区所需的平均时间是多少？手册给出平均寻道时间是6ms，传输速度是50MB/s，控制器开销是0.2ms。假设磁盘空闲无需等待时间。

解：平均磁盘存取时间=平均寻道时间+平均旋转延迟+传输时间+控制器开销：

$$= 6.0\text{ms} + 0.5\text{转}/(10000\text{RPM}/60\text{s/m}) + 0.5\text{KB}/50\text{MB/s} + 0.2\text{ms}$$

$$= 6.0\text{ms} + 3.0\text{ms} + 0.01\text{ms} + 0.2\text{ms} = 9.21\text{ms}$$

如果实际的平均寻道时间是已知平均寻道时间的25%，则平均磁盘存取时间 = $1.5\text{ms} + 3.0\text{ms} + 0.01\text{ms} + 0.2\text{ms} = 4.71\text{ms}$

如果转速提高为15000RPM，则平均磁盘存取时间：

$$= 6.0\text{ms} + 2.0\text{ms} + 0.01\text{ms} + 0.2\text{ms} = 8.21\text{ms}$$

磁盘转速非常重要！

联系方式

□ Acknowledgements:

□ This slides contains materials from following lectures:

- Computer Architecture (ETH, NUDT, USTC, SYSU)

□ Research Area:

- 计算机视觉与机器人应用计算加速,
- 人工智能和深度学习芯片及智能计算机

□ Contact:

- 中山大学计算机学院
- 管理学院D101 (图书馆右侧)
- 机器人与智能计算实验室
- cheng83@mail.sysu.edu.cn

