



计算机组成原理

第四章 存储子系统

2025-8-22



信息与软件工程学院
School of Information and Software Engineering



主要内容

- ① 概述
- ② 半导体存储器
- ③ 主存储器组织
- ④ 磁表面存储器



4.4 磁表面存储器

- 01. 存储原理与技术指标
- 02. 磁记录编码方式
- 03. 磁盘存储器
- 04. 校验码

一、存储原理与技术指标

1、读写原理

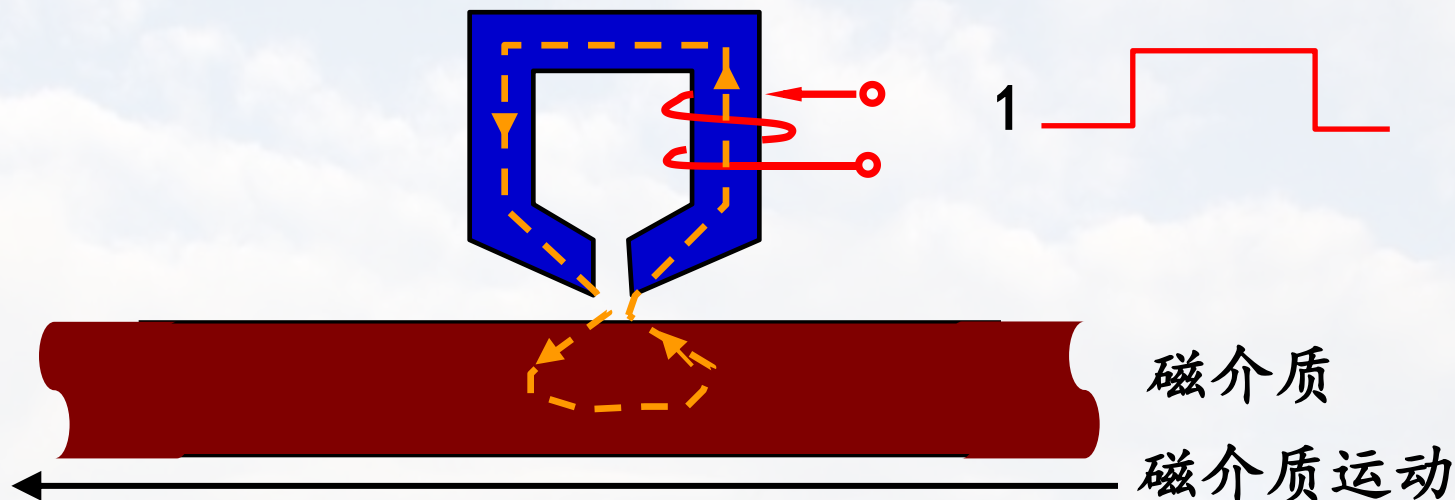
存储介质：磁层(如聚酯薄膜、铝合金、陶瓷等覆盖氧化铁物质等)

读/写部件：磁头

读/写过程：

1) 写入

在磁头线圈中加入磁化电流(写电流)，并使磁介质移动，在磁层上形成连续的小段磁化区域(位单元)。被磁化的区域是存储的信息；用不同磁化方向来表示二进制信息“1”和“0”。



2) 读出

磁头线圈中加电流, 磁层移动。当被磁化的记录磁层(位单元)的转变区经过磁头下方时, 在线圈两端产生感应电势。

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} \text{ 读出信号}$$

一、存储原理与技术指标

2、技术指标

1) 记录密度

- 道密度: 单位长度内的磁道数。
- 位密度: 磁道上单位长度内的二进制代码数。

2) 存储容量

- 非格式化容量: 总位数
用位密度计算。
- 格式化容量: 有效位数
用扇区内的数据块长度计算。

3) 速度指标

- 平均存取时间
 - 磁带: 平均等待时间
 - 磁盘: 平均定位、平均旋转时间
- 数据传输率
 - 衡量查找速度 ms
 - 衡量读/写速度 b/s、B/s

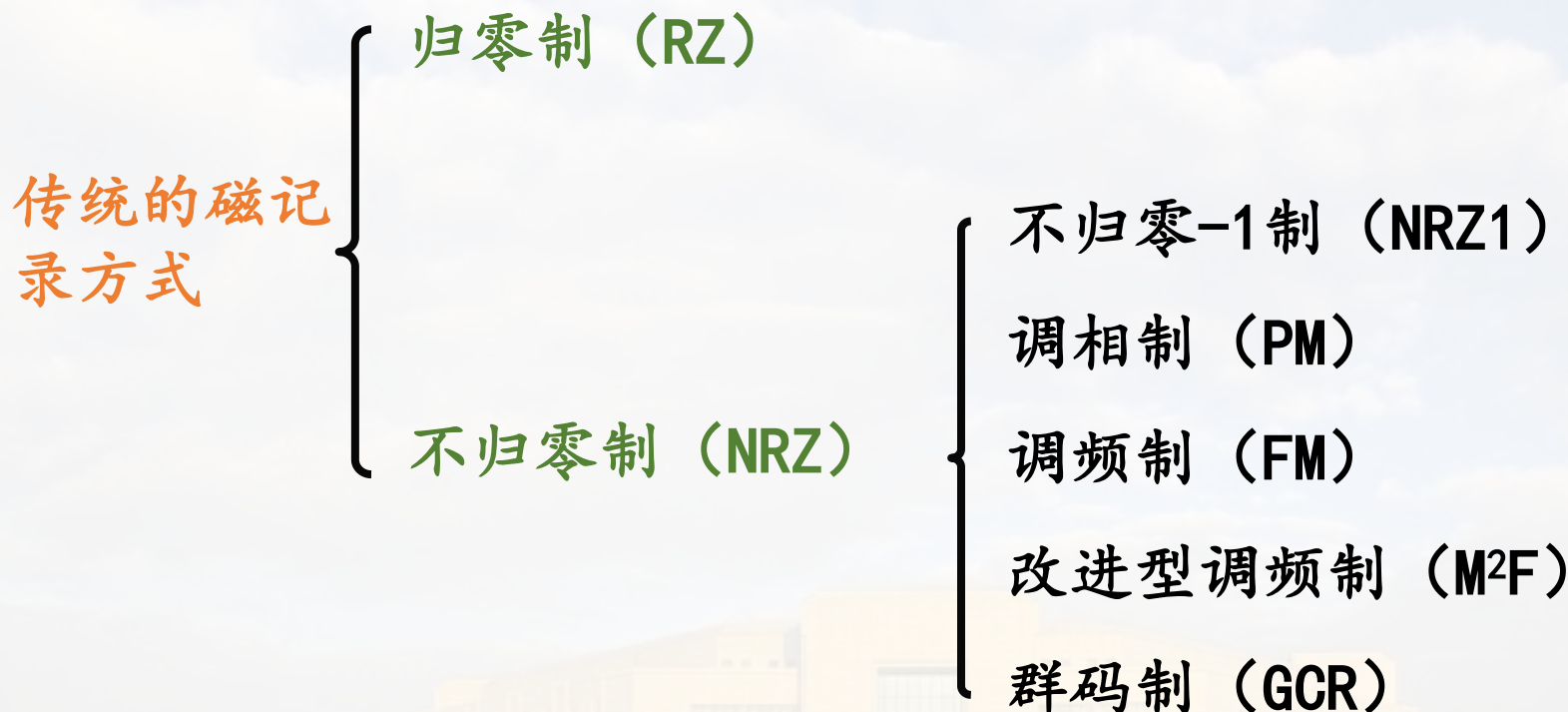
二、磁记录编码方式



磁表面存储器中读写过程的电磁转换原理在前面介绍了，那么究竟什么是“0”？什么是“1”？这取决于采用何种**磁记录编码**方式。

磁记录方式就是采用某种变换规律，将一串二进制代码序列转换成记录磁层中相应的磁化状态，即如何按照写入代码序列形成相应的**写入（磁化）电流波形**，还派生出相应的读出识别方法。

记录方式对提高记录密度至关重要。



1、不归零-1制 (NRZ1)

1) 写/读规律

写入：电流见1则翻转（位单元起始处）

- a. 写0时，写入电流维持原方向不变（-1或+1）。
- b. 写1时，写入电流方向翻转（由-1 \rightarrow +1，或由+1 \rightarrow -1）。

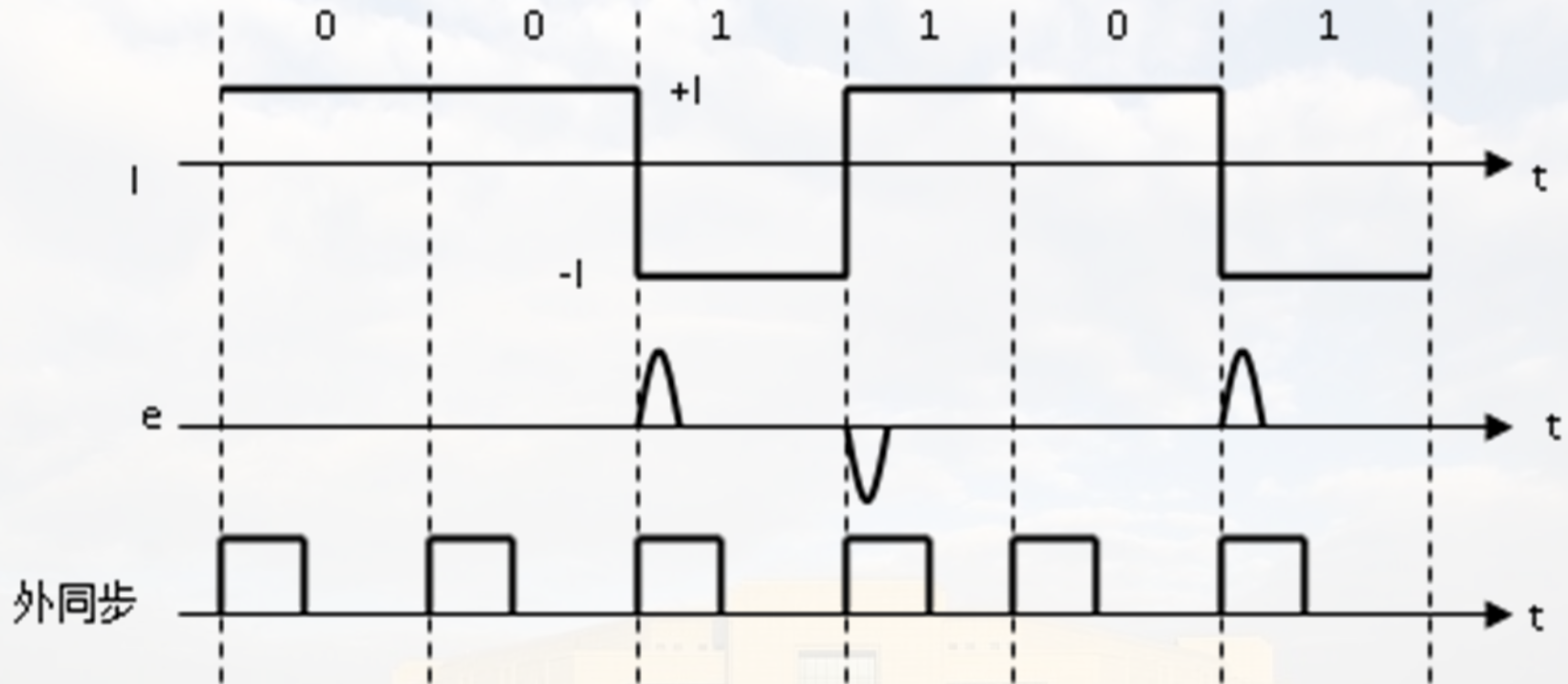
读出：

- a. 读0，无读出信号
- b. 读1，有读出信号

二、磁记录编码方式



2) 举例：001101



不归零-1制写入电流波形

3) 特点

①NRZ1制产生的转变区数较少，可以提高记录密度，但读一连串0时，由于没有转变区存在而没有读出信号，如何识别这是几个0呢？这就需要外加同步信号来辨识各个位单元，称为外同步方式。换句话说，NRZ1制没有自同步能力。

- ②改进方式有两种：
- a. 每位写入一个同步信号；
 - b. 各位采取奇校验。

4) 适用范围：早期低速磁带机。

2、调相制 (PM)

1) 写/读规律

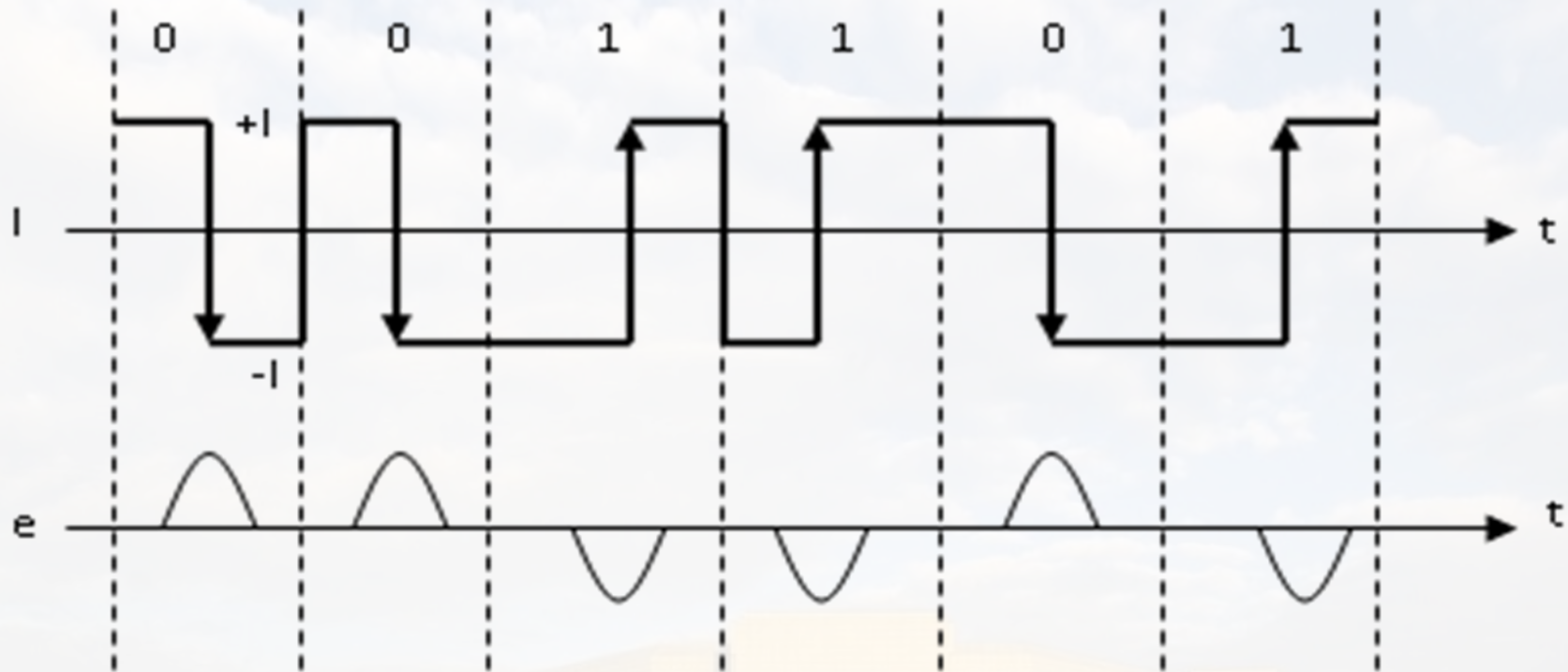
写入:

- a. 写0: 在位单元中间位置让写入电流负跳变, 由 $+I \rightarrow -I$;
- b. 写1: 在位单元中间位置让写入电流正跳变, 由 $-I \rightarrow +I$ 。

读出:

读出时, 位单元中间的转变区将产生读出信号。它既是数据信号。也是同步信号, 所以调相制具有自同步能力。

2) 举例：001101



调相制波形

二、磁记录编码方式

3) **特点**：可靠性较高，有自同步能力，密度较高。

4) **适用范围**：常规磁带机。

3、调频制 (FM)

1) 写/读规律

写入：每个位单元起始处，写入电流都改变一次方向，留下一个转变区作为本位的同步信号。

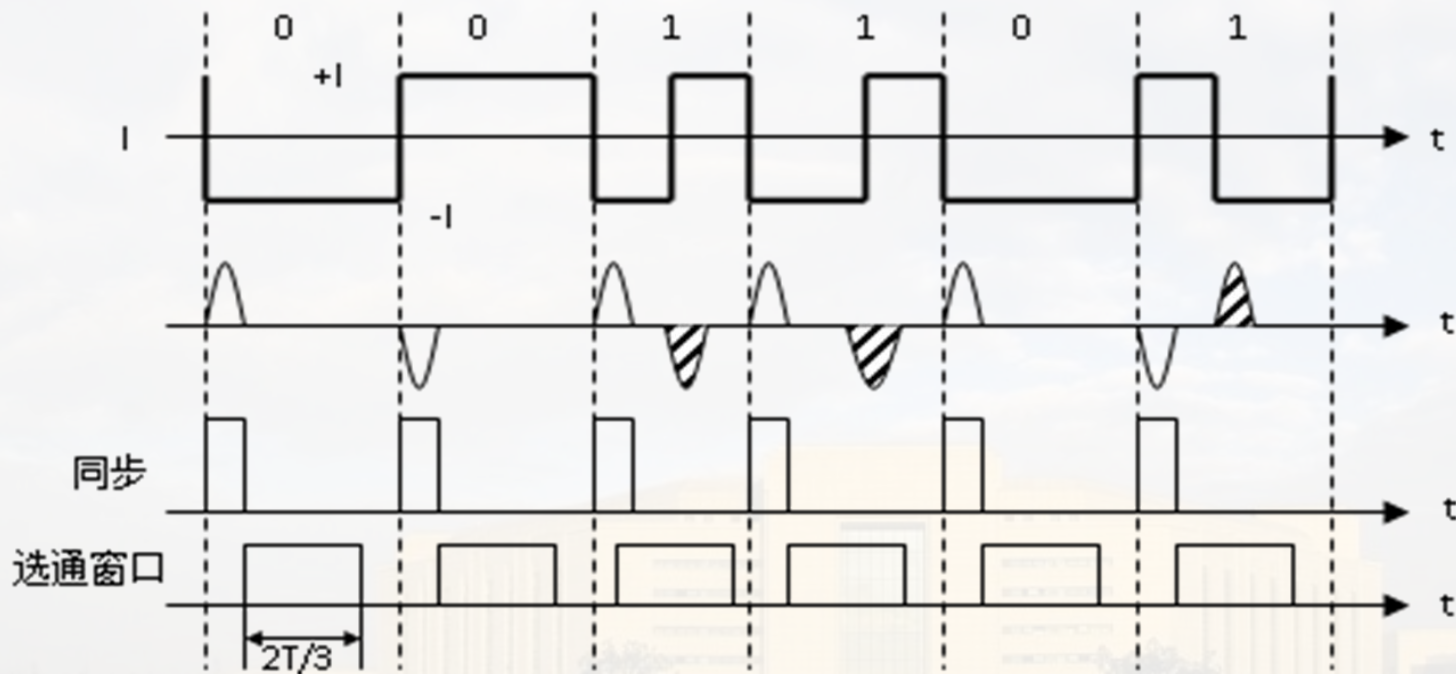
a. 写0：位单元中间不变（整个位单元只变一次）；

b. 写1：位单元中间改变一次电流方向（由 $+I \rightarrow -I$ ，或由 $-I \rightarrow +I$ ；整个位单元变两次）。

二、磁记录编码方式

读出：每个转变区都将产生一个感应电势，所以读出信号序列中包含了同步信号和数据信号。

2) 举例：001101



调频制波形

3) 特点：密度较高，有自同步能力。

4) 适用范围：早期磁盘机。

4、改进型调频制 (M²F)

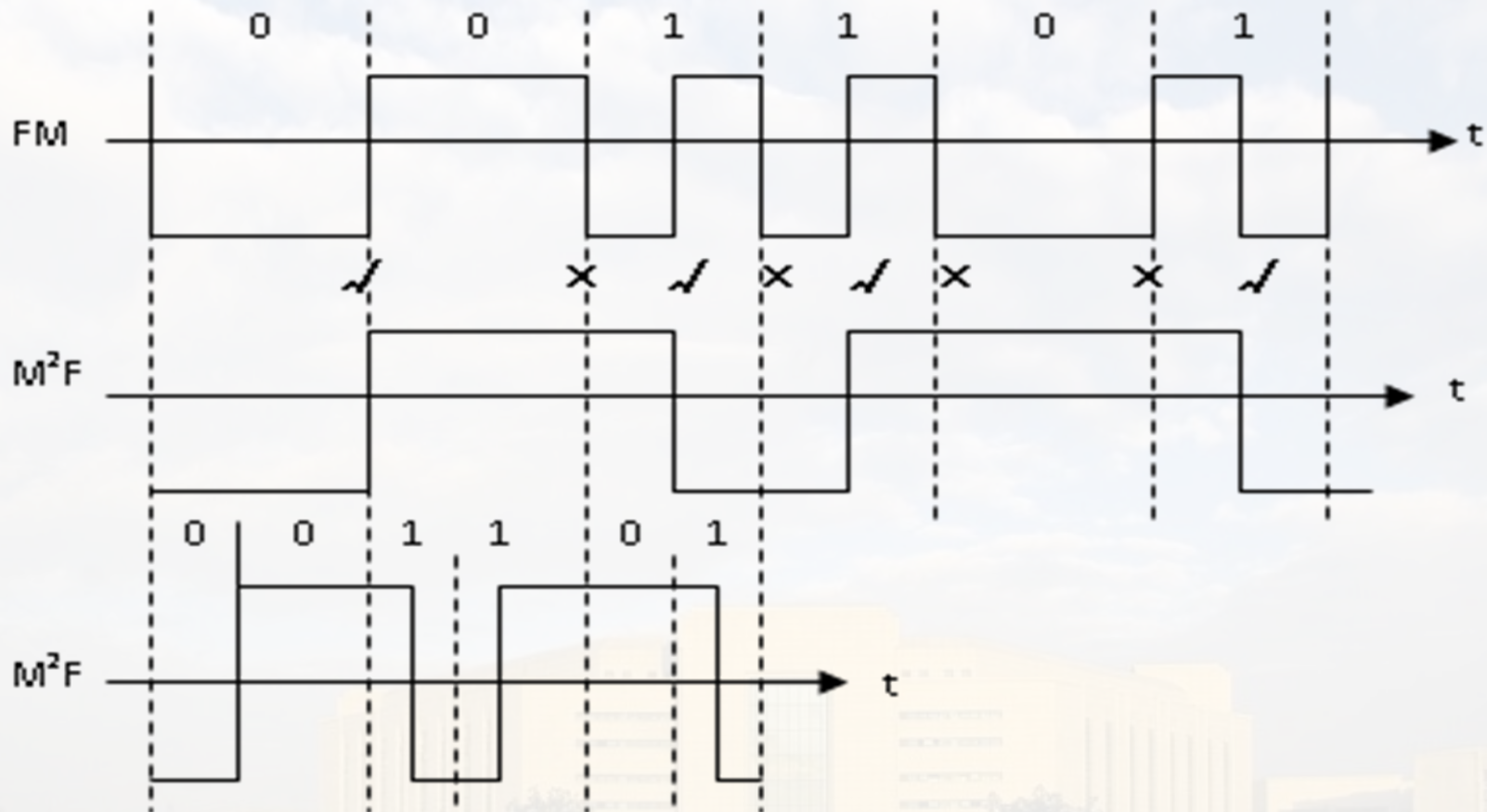
1) 写/读规律

- a. 写1时，在位单元中间改变写入电流方向，即由 $+I \rightarrow -I$ 或由 $-I \rightarrow +I$ ；
- b. 写入两个以上0时，在它们的交界处改变写入电流方向；
- c. 在0、1，或1、0，或1、1交界处写入电流方向不改变。

二、磁记录编码方式



2) 举例：001101



改进型调频制波形

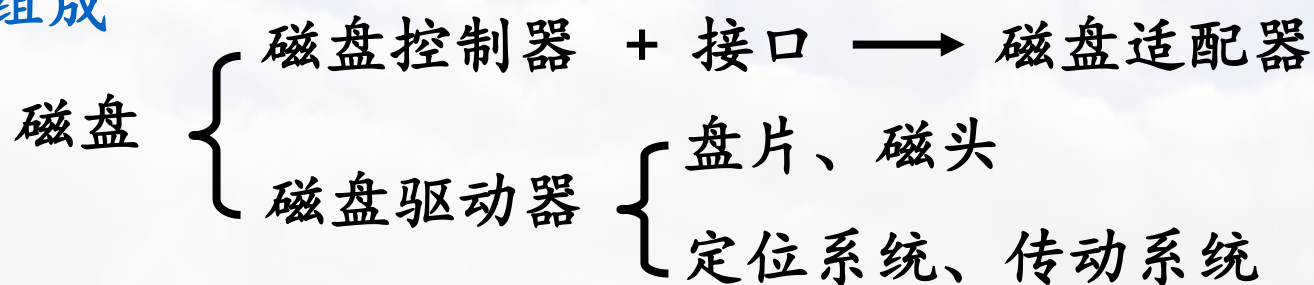
3) 特点：密度高，有自同步能力。

5、群码制（GCR）——对NRZ1的改进

4位数据码 $\xrightarrow{\text{转换}}$ 5位记录码

适用于调用较频繁的场所，常作为主存的直接后援。

1、组成



1) 软盘信息分布与寻址信息

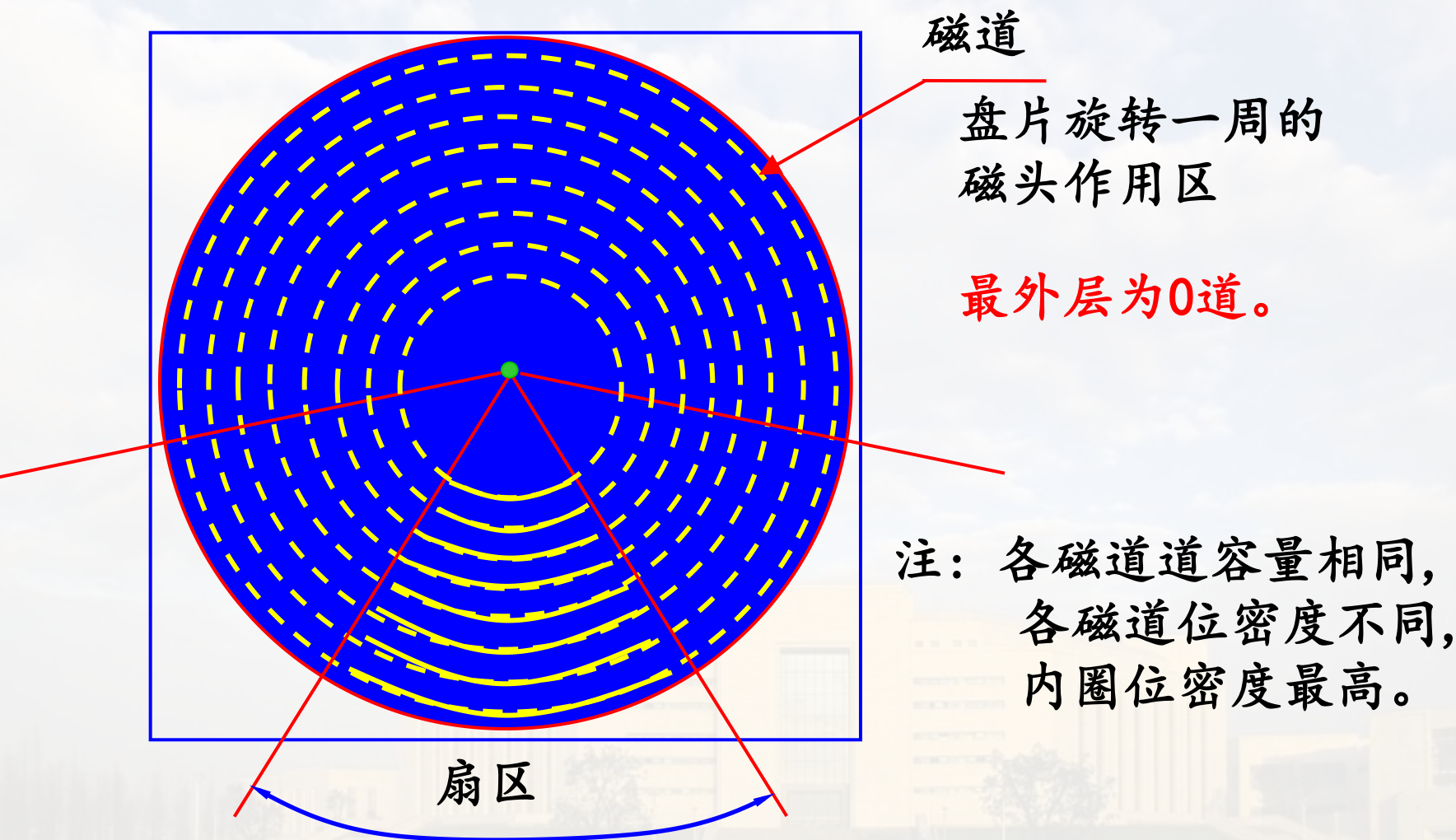
a. 信息分布

磁盘：单片，双面记录。

磁道：盘片旋转一周，磁头的作用区域。

扇区：磁道上长度相同的区段。**存放数据块。**

各道容量相同，各道位密度不同，内圈位密度最高。



三、磁盘存储器

非格式化容量 = 内圈位密度 \times 内圈周长 \times 道数/面 \times 面数

格式化容量 = 字节数/扇区 \times 扇区数/道 \times 道数/面 \times 面数

b. 寻址信息

驱动器号、磁头号、磁道号、扇区号、扇区数

2) 硬盘信息分布与寻址信息

a. 信息分布

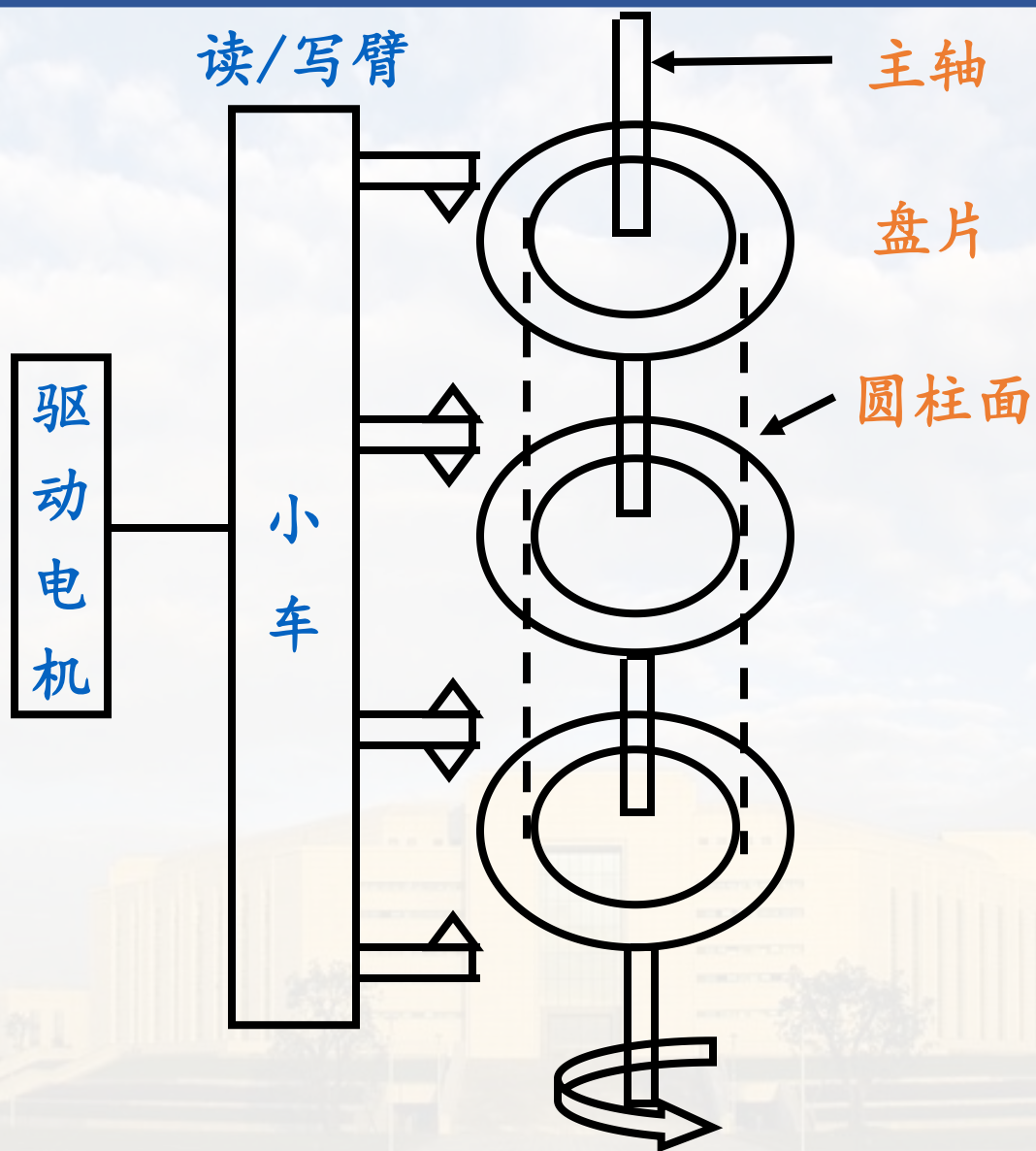
盘组：多个盘片，双面记录。

圆柱面：各记录面上相同序号的磁道构成一圆柱面。

(柱面数 = 道数/面)

数据块 { 扇区 (定长记录格式)
记录块 (不定长记录格式), 无扇区划分。

三、磁盘存储器



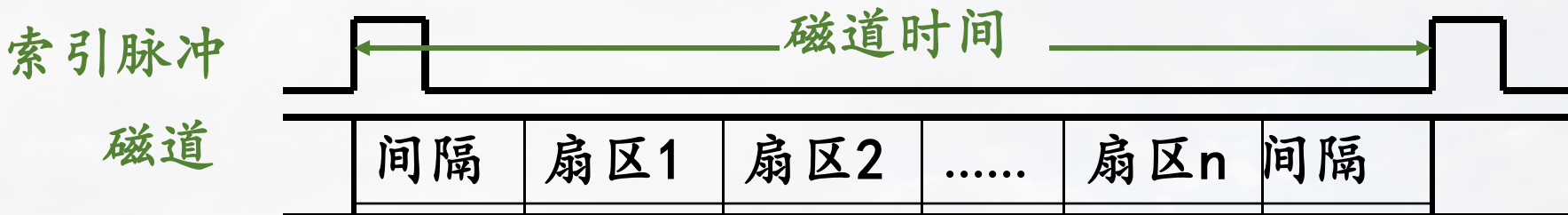
三、磁盘存储器

b. 寻址信息

驱动器号、圆柱面号、磁头号、扇区号（记录号）、交换量

选择磁盘组 选择磁道 选择盘面 选择起始扇区 扇区数

2、记录格式（磁道格式） 例：定长记录格式



扇区 i { 标志区：标志信息、CRC校验码

数据区：标志信息、CRC、数据字段

3、磁盘基本操作

1) 寻址操作 { 寻道：磁头径向移动

寻找扇区：盘片旋转

2) 读/写操作 { 串行读/写

DMA方式传送

四、校验码

1、码距的概念

1) 码距定义

一种编码体制中，各组合合法代码间的不同位数称距离，其最小距离为该编码的码距。

2) 码距作用

衡量一种编码查错与纠错的能力。

3) 差错与纠错的基本出发点

a. 约定某种规律，作为检测的依据。

有效信息位+校验位 \longrightarrow 校验码 \longrightarrow 译码检测

b. 增大码距，从信息量上提供指错的可能。

2、举例

例1. 8421码 码距 $d=1$ 无查错、纠错能力。

四、校验码

例2. 奇偶校验码

有效信息位+1位校验位 \longrightarrow 校验码

检测依据(编码规则): 约定校验码中1的个数为奇数/偶数

如: 偶校验

1011001	0	码距d=2
1011011	1	

通过统计校验码中1的个数是否为偶数来查错。

可检测一位错, 不能纠错。用于主存校验。

例3. 海明校验码

检测依据: 多重奇偶校验。

代码分组 \longrightarrow 各组进行奇偶校验 \longrightarrow 形成多位

指误字	{	=全0	无错	指误字状态对应出错位序号, 将出错位变反纠错。
		≠全0	有错	

海明校验码能发现并纠正一位错，则应满足下述关系：

$$n=k+r \leq 2^r-1$$

n : 校验码

k : 有效信息位（待编信息位）

r : 校验位（冗余位）

若 $k=4$ ，则 $r \geq 3$ ，且 $n=k+r \geq 7$

四、校验码

3、循环校验码 (CRC)

1) 约定规律: 校验码能被某代码除尽。

设有效信息为A, 约定代码为G。

$$\frac{A}{G} = Q + \frac{R}{G} \xrightarrow{\text{余数}} \frac{A-R}{G} = Q$$

校验码

2) 编码方法

例. 有效信息A=1100, 约定代码G=1011

将有效信息与余数拼在一起形成校验码



K: 有效信息位数

r: 余数位数

n: 校验码位数

a. A左移r位 (r=3): 1100000

b. 求余数: $\frac{1100000}{1011} = 1110 + \frac{010}{1011}$ 余数

四、校验码

c. 形成校验码 $1100000 + 010 = 1100010$

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}_{K=4} \underbrace{\hspace{1.5cm}}_{n=7} (7, 4) \text{ 码}$

3) 译码与纠错

循环校验码

约定代码

生成多项式

余数为0, 无错

余数非0, 有错

不同余数对应不同
出错数位

利用余数循环的特点, 将出错位移至校验码最高位, 变反纠错。节省硬件。

4) 生成多项式

满足三个条件 { 出错, 余数不为0。
不同出错位对应不同余数。
余数循环。

可查表获得生成多项式

第四章 复习提纲

- 1、半导体存储器逻辑设计(地址分配、片选逻辑、框图)。
- 2、动态刷新(定义、刷新方式)。
- 3、磁盘信息分布、寻址信息、指标(速度、容量)。
- 4、基本概念如：随机存取、顺序存取、直接存取、静态M的存储原理、动态M的存储原理…等。



谢谢观看

计算机组成原理

2025-8-22



信息与软件工程学院
School of Information and Software Engineering