

光盘格式化的研究

张原

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 本文在对光盘格式化各个扇区的信息进行分析的基础上, 研究了光盘上信息的调制方法、检错纠错码的计算和光盘格式化的实现过程。

1 概述

本文是作者参加了“七五”重点攻关项目《光盘伺服槽及可预制格式刻划机》的研制的基础上进行的。光盘伺服槽及可预制格式刻槽机是光盘母板制备工艺中的关键设备, 它是用激光束进行刻划的亚微米级工作母机, 它能够实现在光盘母板上预制伺服跟踪用的沟槽, 并刻录格式化信息。它属于难以外购的设备, 在国内首次研制成功。我的研究题目就是根据 ISO 国际标准, 研究如何实现在光盘母板上刻录格式化信息。

2 光盘格式化 ISO 标准

下面将简要概述一下, 130 毫米可重写光盘 ISO 国际标准的有关规定:

(1) 轨道是阿基米德螺旋线; (2) 旋转方向是反时针(从物镜看), 光学头从里向外移动; (3) 道距: $1.60\mu\text{m} \pm 0.01\mu\text{m}$; (4) 格式化区域: 从半径 $29.00\text{mm} \sim 61.00\text{mm}$, 用户区从半径 $30.00\text{mm} \sim 60.00\text{mm}$; (5) 在台阶上记录, 台阶宽 $1.00\mu\text{m}$ 、沟槽宽 $0.60\mu\text{m} \pm 0.06\mu\text{m}$, 沟槽深 $\lambda/8\mu\text{m}$; (6) 轨道跟踪方式是连续——采样混合;

(7) 1024 字节/扇区, 17 扇区/轨道; (8) 调制方法 RLL(2, 7) 凹坑位置编码; (9) 纠错码 Reed—Solomon 里德—索洛门码; (10) 记录次序: 最高字节为 byte 0, 先记; 在一个字节中最低位 bit 0, 最后记。

3 光盘格式化实现方法

下面依照 ISO 国际标准对光盘格式化信息进行分析, 并研究光盘格式化的实现方法:

(1) 反射区: 从半径 $27.00\text{mm} \sim 29.00\text{mm}$, 有记录层, 无沟槽及任何信息的空白区, 用于

驱动器检测盘片是否在反射率范围内;

(2) 控制轨道相位编码部分 PEP: 从半径 29.00mm~29.50mm, 以低频相位调制方法记录, 无沟槽和伺服信息, 记录了读出控制轨道标准格式化部分 SFP 所需最低限度信息, 由于在 PEP 区上的凹坑都在半径方向对准, 故在没有跟踪情况下, 也能读取 PEP 区域中的信息, 省去了驱动器的径向跟踪。一个 PEP 位元有 656 ± 1 个信道位长, 如图 1

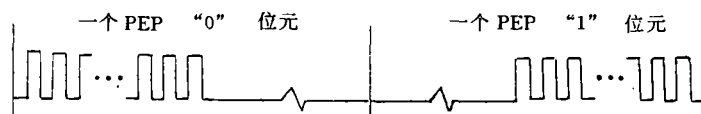


图 1

采用此种调制方法, 可以使信号在信道里不易受到干扰, 而准确地恢复。但由于此种记录复杂, 记录一位信息所占信道位长, 不适于多信息记录。

在 PEP 区中, 每转三个扇区, 每个扇区有 10~12 个 PEP 位长的间隔, 用于避免由于驱动器机械尺寸误差及盘片转速波动而引起的读/写错误的缓冲区。

1) 前兆信号为 16 个“0”; 2) 用 1 个“1”与驱动器同步; 3) 扇段地址分别用 00、01、10 表示 PEP 的三个扇区; 4) 数据区: ① byte 0 表示采用格式 A (即连续伺服方式), 光盘以恒角速度旋转, 调制方法用 RLL(2,7) 码。

所谓 RLL(2,7) 码即游程长度受限码, 在码长为 n 的任一记录序列中, 任一相邻“1”之间“0”的游程长度最小为 2, 最大长度为 7。由于二进制码元不适于在真实信道上传送, 故采取高效编码可以提高光盘存储容量, 减小位串扰, 提高编码正确性。RLL(2,7) 码是在众多码间比较而确定的。衡量一种编码优劣按如下几点:

a 编码效率低即每次磁化翻转所存贮的信息位 $R; R = m/n \times (d+1)$ (m 是数据序列长, n 是记录序列长, d 是相邻“1”之间“0”的最少个数); b 带宽 $\Delta T = m/n \times (k-d)T_0$ (k 是相邻“1”之间“0”的最大个数, T_0 是数据位时间间隔), 越窄越好; c 检读窗口 $T_w = m/n \times T_0$, 越大越好; d 信息相关性越小越好; e 抗噪声和编译电路难易。

RLL(2,7) 码编程实现框图如图 2。

② byte 1: 表示采用 R-S 纠错码, 每用户扇区包含 1024 字节信息; ③ byte 2: 表示 17 扇区/轨道; ④ byte 3: 在激光波长 825nm 下, 基线反射率 R ; ⑤ byte 4: 表示信息在台上记录及预格式数据信息幅度和极性为负; 因为, 台上记录, 槽纹分离, 串扰小, 故采取台上记录; ⑥ byte 5: 确定为 00 或 FF, 保留字节; ⑦ byte 6: 在标准条件 (激光波长 825nm, 光盘转速 30Hz) 下, 读取 SFP 信息的最大读出功率 P ; ⑧ byte 7: 表示可重写型光盘; ⑨ byte 8~byte 9: 外部 SFP 区起始道高低字节, $N+96, N=30.00\text{mm}/1.60\mu\text{m}=18750$; ⑩ byte 10~byte 13: 表示 FFH 保留区; ⑪ byte 14~byte 17: 制造商使用数据, 不用于数据交换; ⑫ 后有 1 字节 CRC 循环冗余校验; ISO 国际标准给出了 CRC 生成多项式:

$$G(X) = X^8 + X^4 + X^3 + X^2 + 1$$

余式多项式:

$$R(X) = \left(\sum_{i=144}^{151} a_i x^i + \sum_{i=0}^{143} a_i x^i \right) x^8 \text{ mod } G(x)$$

这样, 我们从扇段地址开始 19 字节数据 (扇段地址的 bit 7 = a_{151}) 代入 $R(X)$ 中, 由程序计算 CRC (方法如扇段格式中 CRC 的计算)。

(3) 过渡区:从半径 29.50mm~29.52mm,是从无伺服信息到有伺服信息的过渡过程;

(4) 控制轨道的标准格式化部分;分别位于半径 29.92~29.70mm 和 60.15~60.50mm 处,后者是前者的一个备份区,以标准用户数据格式,记录了光盘读/写/擦参数。每一位用两个信道位表示,数据区 512 字节,随后是 512 字节的 FFH。

1) 对 PEP 数据复制的 18 字节,byte 0~byte 17。

2) byte 18~byte 359,给出了不同情况下读/写/擦功率参数。我们所用的激光有恒定功率和恒定脉宽两种,在 byte 18~byte 359,给出了三种流长 $L_1 = 825\text{nm}$, $L_2 = 780\text{nm}$, $L_3 = 0 \sim 1275\text{nm}$; 三种基线反射 R_1, R_2, R_3 ; 四种转速 $N_1 = 30\text{H}$, $N_2 = 40\text{HZ}$, $N_3 = 0 \sim 255\text{H}_z$; 三种半径 30mm、45mm、60mm 处,三种脉宽 $T \times 1.0, T \times 0.5, T \times 0.25$ (T 是相应半径处信道位时间长)下不同组合功率。

3) byte 360~byte 383 表示磁场参数。

a byte 360~byte 和 byte 360~byte 为 FFH 保留区,为将来留用; b byte 364、byte 365 表示磁光信号品质因数极性(即写入码克尔旋转方向)及磁光信号品质因数大小。

4) byte 384~byte 447 表示系统参数; a byte 384~byte 385 表示用户轨道数($n+i$)高低字节; b byte 386~byte 393 为区域等角速度用参数,在此为 FFH; c byte 394~byte 447 为 FFH,保留区;

5) byte 448~byte 551 为保留区,不用于数据交换;

(5) 介质生产者使用区:从半径 29.70mm~30.00mm,用于介质生产者在出厂前检测光盘质量用,包括:

- 保护带:从半径 29.70mm~29.90mm,使试验区与记录信息区分离;
- 试验区:从半径 29.80mm~29.90mm
- 保护带:从半径 29.90mm~30.00mm。

(6) 用户区:从半径 30.00mm~60.00mm

扇段格式,如表 1。

表 1

SM	VFO ₁	AM	ID ₁	VFO ₂	AM	ID ₂	VFO ₂	AM	ID ₃	PA	ODF FLag Gap	VFO ₃	SYNC	Date Field	Buffer
----	------------------	----	-----------------	------------------	----	-----------------	------------------	----	-----------------	----	--------------------	------------------	------	------------	--------

首先是一个扇段标志 SM,标志进入用户区。

1) VFO 锁相字段有三个,用于驱动器读出数据同步,分别为 VFO₁, VFO₂, VFO₃,花样是:

VFO₁ 192 个信道位: 01001001001.....010010

VFO₂ 128 个信道位: 10010010010.....010010

VFO₂ 128 个信道位: 00010010010.....010010

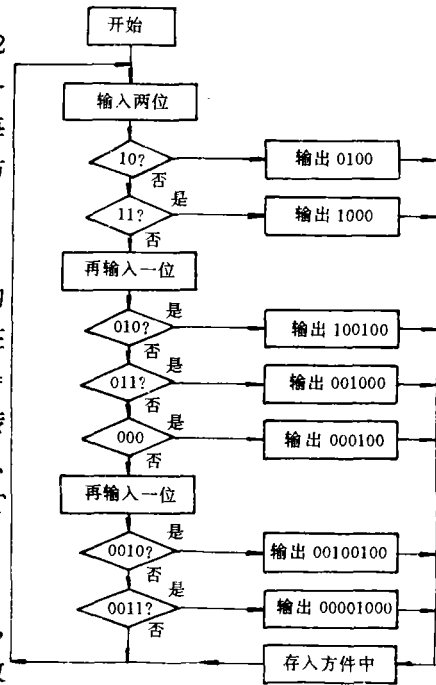


图 2

VFO₃192 个信道位:01001001001……010010

其中,扇段标志 SM 的后部与 VFO₁ 形成驱动器读出选通同步。由于 ID 区数据要进行 RLL(2,7)变换,为使编码闭合,则根据 ID 区数据的不同结尾选择 VFO₂。扇段标志码 SM 形式如图 3

2) 标识码 ID 也为三个,指示地址,第一、二字节记录轨道高、低字节;第三字节记录 ID 区号(即 ID₁、ID₂、ID₃)和扇区号。由于光盘有高密度,故应多次同步读取地址,才能可靠,因此,采用了多 ID 区域。

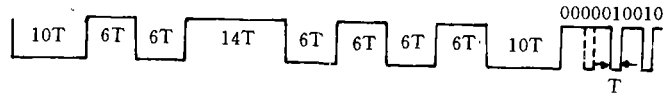


图 3

3) AM 地址码:指示后面字节为地址码。

4) 循环冗余校验 CRC:它是通过对 ID 中前三个字节计算而得。ISO 国际标准给出了它的生成多项式:

$$G(X) = X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$$

余式多项式:

$$R(X) = \left(\sum_{i=8}^{23} a_i x^i + \sum_{i=0}^7 a_i x^i \right) X^{16} \text{ mod } G(x)$$

5) PA 结束信号:是为 ID₃ 区的 RLL(2,7)编码闭合而设立的。

6) ODF 用于驱动器道偏离检测标记。

7) FLAG 标记:用于指示数据块已写,不用于数据交换。

8) ALPC 自动激光功率控制:作为驱动器标定激光器功率水平的检验区,空 2 字节。

9) Sync 写入同步。

10) DMP 失效管理指示:为 FFH,表示用户扇区可用。如有:

a 一个扇区失去至少两个以上头信号; b 扇区码不可读; c 在扇区中有 30 多个字节的缺陷被检出; d 所有扇区中总的缺陷超过 40 字节或产生一个 ECC 码的一串数据中,有 5 字节缺陷。

则为失效,由缺陷处理系统处理。

缺陷处理区域 DMA 有 4 个,最大缺陷扇区替代数 2048,由盘定义结构 DDS,第一缺陷目录 PDL,第二缺陷目录 SDL 组成。

11) 再同步信号 Resync:插在数据区域中,防止字节同步丢失,限制用户数据错误传播。

(7) 生产厂家使用区:从半径 60.00mm~60.15mm,由光盘生产者支配使用区域。

(8) 外头区:从半径 60.15mm~60.00mm,由光盘生产者引出用区。

上面对光盘的各部分进行了分析,以下将讨论 CRC、ECC 的计算方法。

因为,我们计算的 CRC、ECC 均是在 8 价伽罗华域进行的,其生成多项式是:

$$G_p(X) = X^8 + X^5 + X^3 + X^2 + 1$$

若 a 是 GF(2⁸)的本原元,则 G(2⁸)中 255 个非 0 元素均可由 1、a、a¹……a⁷ 和表示。

编程框图,如图 4。

现以用户数据区 CRC 计算为例说明 CRC、ECC 计算方法。

ISO 国际标准给出 CRC 生成多项式:

$$G(X) = \prod_{i=136}^{139} (X + a^i), a^i = (\beta^i)^{88}$$

其中 β 是 $GF(2^8)$ 的本原元。

展开(在伽罗华域中):

$$G(X) = X^4 + \beta^{121} + X^3 + \beta^{174}X^2 \\ = \beta^{96} + \beta^{203}$$

余式多项式:

$$I_c(X) = \left[\sum_{i=1}^{103} \sum_{j=0}^9 (B_i, j)x^i + \sum_{j=0}^5 (B_0, j)x^0 \right]$$

$$R_c(x) = I_c(X)X \pmod{G(X)}$$

其中 B_i, j 是把用户数据区的数据分成 10 列、104 行的矩阵中的元素。

8 位矢量 $\beta^i \gamma$ 乘法实现电路如下: 初始寄存器 A 置 0 将 $\beta^i \gamma$ 分别存入 8 位寄存器 B、C 中, 8 次循环结束乘法, 积存入 8 位寄存器 A 中, 如图 5。

CRC 计算电路: 由于 $\beta_{203}, \beta_{96}, \beta_{174}, \beta_{121}$ 分别是 8 位矢量, 用 8 位寄存器 G_0, G_1, G_2, G_3 存入, 8 位寄存器 R_0, R_1, R_2, R_3 初始置 0, 根据多项式除法电路如图 6。

其中, $I_c(X)$ 用模 2 加(异或)逐—加, 然后逐个输入, \otimes 是调用前面的乘法子程序。这样, 经 104 次循环后, 4 字节 CRC 即存入 R_0, R_1, R_2, R_3 中。

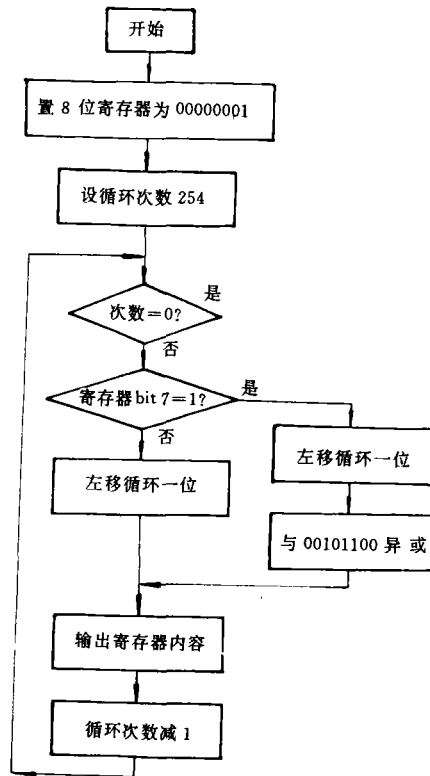


图 4

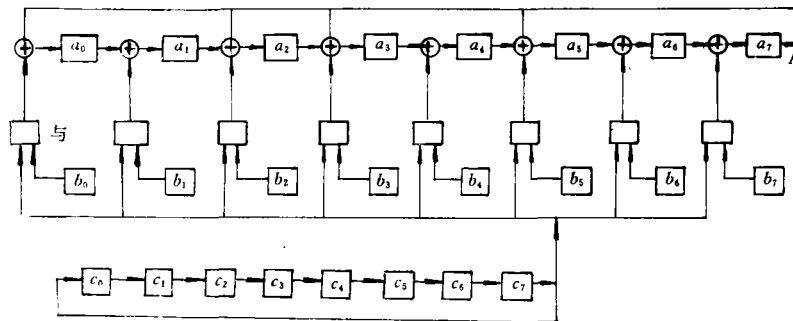


图 5

我们明确了各区域各字节的值, 并实现了 RLL(2, 7) 编码变换后, 我们就可以进行预格式化实现装置的设计了。

首先, 我们可以根据光盘转速, 在 PEP 区, 每圈 3 扇区, 每扇区 177 位和 SEP 区、用户区 17 扇区, 每扇

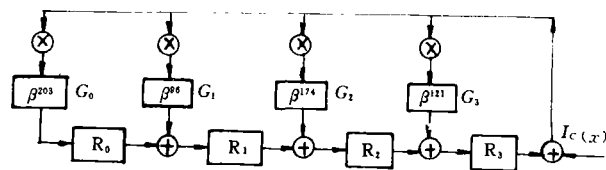


图 6

区 1360 字节及各区编码规则,算出各个区每信道位时间长度 T ,从而确定了信息传输的基本时间参数。

我们把经编码变换的 PRP 区、SFP 区和用户区各一个扇区的信息按二进制形式存入计算机的数据区,不同区域的信息,存入计算机数据区不同部分,形成一个预格式化信号源。

接口电路,主要是使并行输出的数据能以其相应的信道位时间长度串行输出,然后,经功放送至激光器,在光盘上烧蚀成相应的凹坑。

因为我们存入计算机的数据区的只是各区域一个扇区的内容,为了实现同一区域相同扇段信息的重复记录,故需加控制。由于各区域一个扇区的信息变换后具有的字节数一定的,各区域具有的扇区总数也是一定的。那么,我们只要设置好这两种循环值,每输出一个字节信息,循环的字节数减 1,当它减至 0 时,则从头输出,且循环的扇区总数减 1,当它减至 0 时,同输出计算机中数据区古一部分内容,依次下去。在 SFP 区和用户区,当循环的字节数减到 0 时,则输出计算机中数据区下一部分内容,依次下去。在 SFP 区和用户区,当循环的字节数减至 0 时,先使 ID 中扇区号加 1,且判断扇区号是否为 17,若是 17,则下一扇区 ID 中扇区号置 0,轨道号加 1,预格式化实现框图如图 7。

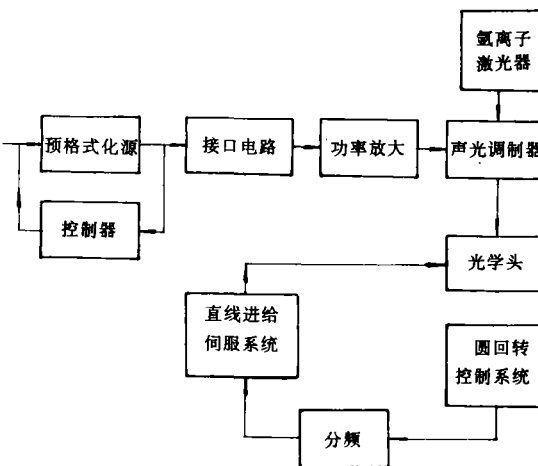


图 7

4 结 束 语

通过前面的论述,我们已经对光盘格式化有了完整的认识。光盘存贮装置虽然在国外已有一些样机,但却对我国实行封销。因此,关于格式化只见到 ISO 标准,没有确切的解释和实施资料,在极其困难条件下,依据光盘格式化 ISO 国际标准和光存贮器的特征,查阅了大批相关资料,对光盘格式化信息进行了认真分析,明确了光盘格式化扇区各个字节的内容,本文格式化分析,已由上海冶金研究所李伟权付研究员通过对日本 C-130FC-10 光盘基片有关格式化信息部分拍摄到的凹坑图案得以证实。本人所完成的 RLL(2,7)编码实现,CRC、ECC 的计算和光盘格式化实现过程的研究,都将会给从事光盘格式化工作的科技人员以有益的启示,为建立实用格式化源(包括软件与硬件)奠定了重要的技术基础。

参 考 文 献

- [1] 张守仁,《光盘存储器》. 科学出版社
- [2] 杨爵,《实用纠错编码》. 中国铁道出版社
- [3] <荷>G. 布休斯,《光盘系统原理》. 国际工业出版社

A Study of the Pre-formatting for Optical Disks

Zhang Yuan

*(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)*

Abstract

In this paper, we analyze the information in every pre-formatting sectors, and then study the modulation method of the information on optical disks, the computation of CRC, ECC and the preformatting system for optical disks.