

光盘的数据容量

问题:

CD 的信息容量 (Data Capacity) 一般为单层 650 MB, DVD 的信息容量一般为单层 4.7 GB. 这些数值是怎么确定的, 在一定条件下怎样使其最大化?

问题分析

- 光盘的尺寸

光盘的外观尺寸是由大公司联盟决定的. CD, DVD 等盘片的外径为 **120mm**, 并且沿外边缘留有 **2mm** 宽的环形区域不存储信息, CLV 光盘存储信息的内圈直径为 **45mm**.

- 光盘的编码方式

在内外圈之间的环形区域, 经过编码的数字信息, 以一定深度和宽度, 不同长度的凹坑的形式, 用烧蚀技术存储在光盘表面呈螺旋线形状的通道上, 相邻两螺旋线间的距离称为信道间距.

- 光盘信息容量的决定

光盘的信息容量有光盘的信道总长度以及信道的信息线密度 (单位长度上存储多少字节的信息) 来决定. 而这两者又由光盘的刻录激光的波长以及光盘驱动的机械形式来决定.

- 光盘刻录激光的波长对信道总长度的影响

激光束要准确识别处凹坑所携带的信息, 必须精确的聚焦. 由于光的衍射作用, 激光束不可能聚焦成一点, 而会是一个有一定大小的光斑. 激光束的衍射光斑的大小与激光束的波长成正比. 为了提高线密度, 应该使光斑尽量小, 即波长也应该尽量小.

激光器	激光波长/ μm	光斑直径/ μm	信道间距/ μm	数据线密度/($B \cdot mm^{-1}$)
红外(CD)	0.78	2	1.6	121
红色(DVD)	0.64	0.925	0.74	387
蓝色(DVD)	0.41	0.4	0.32	800

- 光盘驱动的机械形式对光盘线密度的影响

驱动光盘的机械形式分为两种: 恒定角速度 CAV (Constant Angular Velocity) 和恒定线速度 CLV (Constant Linear Velocity).

CAV光盘的角速度恒定, 每一圈上存储等同数量的数据信息, 随着由内而外各圈螺旋线长度的增加, 数据的线密度递减, 信息容量取决于螺旋线最内圈的长度, 线密度以及总圈数.

CLV光盘的线速度恒定, 各圈螺旋线上的线密度不变, 信息容量取决于固定的线密度以及螺旋线总长度.

CLV相比CAV在信息容量上要更有优势, 但是当读取磁头在内外圈移动时, 有等待光盘加速和减速的时间, 读取数据的时间更长. 对于音乐, 影响, 计算机文件等按顺序播放的信息, 多用CLV; 而对于词典, 数据库, 人机交互等常要随机查找的信息, 多用CAV.

模型建立

CLV光盘

CLV光盘的线密度恒定,故其上所存储的数据容量为

$$C_{CLV} = \rho L_{CLV}$$

其中 ρ 为常数, 计算总容量只需计算螺旋线的长度, 有以下几种方法

- 信道间距 d 和信息存储环形区域 $R_2 - R_1$ 相比很小, 螺旋线的总长可以用一圈圈的圆周长总和来近似, 即

$$L_{CLV} \approx \sum_{k=0}^{n-1} 2\pi(R_1 + kd), n = \frac{R_2 - R_1}{d}.$$

利用数项级数求和可以得到

$$L_{CLV} = \frac{\pi(R_2 - R_1)(R_2 + R_1 - d)}{d}$$

- 利用环形区域面积除以信道间距

$$L_{CLV} \approx \frac{\pi(R_2^2 - R_1^2)}{d}$$

- 用同心圆的平均周长乘以总圈数, 即

$$L_{CLV} \approx 2\pi \frac{R_2 + R_1}{2} \frac{R_2 - R_1}{d}$$

CAV光盘

最内圈的长度可近似为 $2\pi R_1$, 总圈数可视为 $\frac{R_2 - R_1}{d}$, 于是CAV光盘的信道有效长度 L_{CAV} 和信息容量 C_{CAV} 为

$$L_{CAV} = 2\pi R_1 \frac{R_2 - R_1}{d}, C_{CAV} = \rho L_{CAV}.$$

其中 ρ 是最内圈的线密度. 当 ρ, d, R_2 给定后, 环形区域的内圈半径 R_1 有一个最佳选择 (二次函数最值), 使信息容量最大.

模型求解

CLV光盘

取 $R_2 = 58mm, R_1 = 22.5mm$, 对于表中的三种激光器的结果如下

激光器	激光波长/ μm	信道长度/ mm	信息容量/ MB	影像时间/ min
红外(CD)	0.78	5611179	679	18
红色(DVD)	0.64	12132279	4695	126
蓝色(DVD)	0.41	28055895	22445	603

CAV光盘

当 $R_1 = R_1/2$ 时, 存储信息的环形区域的内圆半径是外圆半径的一半时, L_{CAV} 和 C_{CAV} 最大, 为

$$L_{CAV} = \frac{\pi R_2^2}{2d}, C_{CAV} = \rho L_{CAV}.$$

取 $R_2 = 58mm$, 三种激光器的信息容量以及有效长度如下:

激光器	激光波长/ μm	信道长度/ mm	信息容量/ MB	影像时间/ min
红色(CD)	0.78	3302599	400	11
红色(DVD)	0.64	7140755	2764	74
蓝色(DVD)	0.41	16512996	13210	355