

能有效抑制光盘数据和值的方法

刘涛^{1,2} 阮昊¹

(¹中国科学院上海光学精密机械研究所高密度光存储技术实验室, 上海 201800)

²中国科学院研究生院, 北京 100049

摘要 针对光盘调制时数据和值(DSV)需要得到有效抑制的问题,提出一种基于枚举能有效抑制 DSV 的方法,通过对待调制数据分段调制,枚举该段数据所有可能数据流,对各个数据流计算 DSV。该方法能完全展示出一段数据的所有可能调制流的 DSV 特性,从而在选取合适的调制流时提供了充分完整的数据,选择出最佳的调制数据流。该方法在实验和生产线测试均完全得到验证,可以非常好地抑制光盘的 DSV。

关键词 光数据存储;数据和值;枚举法;前瞻性

中图分类号 TP333.4 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/CJL201239.0509001

Method to Effective Inhibit Digital Sum Value of the Optic Disc Data

Liu Tao^{1,2} Ruan Hao¹

(¹Research Laboratory for High Density Optical Storage, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China
²Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract Digital sum value (DSV) for the data of the optic discs needs to be effectively suppressed, a method based on enumerating to effectively inhibit the digital sum value of the optic disc data is proposed. This method cuts the raw data into pieces to get modulation, enumerates all possible bit streams, calculates the DSV of each bit stream. This method can completely show the DSV characteristics in all of possible bit streams, thus can select the appropriate stream as the modulation data stream. This method is tested in laboratory and production line, that can be completely verified and is a very good suppression of the DSV.

Key words optical data storage; digital sum value; enumerate; forward looking

OCIS codes 210.1635; 210.4590; 210.4770

1 引言

近年来在光盘数据存储方面国内很多机构均有新的研究成果,如超分辨技术^[1,2]、光盘伺服系统^[3]、光存储材料^[4]、蓝光光存储性能静态测试系统^[5]等。此外对光盘数据的调制方法,国内相关机构也有深入的研究,相关技术如 RLL(1,10;4,6)码的研究^[6]、红光高清调制码的设计^[7]和多阶光存储调制^[8,9]等对光盘技术的发展都有着深远的意义。

光盘数据在存储时,先将数据进行调制,这样可以优化数据的能量谱,从而抑制不需要的低频分量^[10]。光盘的质量取决于光盘直流分量的影响,而

光盘数据和值(DSV)很好地反映了光盘的低频以及直流分量的情况^[11]。因此 DSV 控制得越好的光盘,在刻录过程中引入的噪声就越少,反之则会导致误码率上升,更严重的可能导致刻录失败。因此设计一种能有效地抑制光盘 DSV 的算法有着重要意义。

目前主要使用的抑制光盘 DSV 一般采用的方法有两种:1) 在文献[12]中提到的加入专门的冗余数据位来实现对 DSV 的抑制,此种方法能较好地控制 DSV,但是增加了多余的存储数据,造成实际可用数据相对减少,即相对减少了光盘的存储能力;2)

收稿日期: 2011-12-15; **收到修改稿日期:** 2012-02-13

作者简介: 刘涛(1986—),男,硕士研究生,主要从事光盘数据编码调制方面的研究。E-mail: l_t_jpt@163.com

导师简介: 阮昊(1971—),男,博士,研究员,主要从事超高密度数字光存储技术、光学头技术和新型母盘技术等方面的研究。E-mail: ruanhao@mail.shcnc.ac.cn(通信联系人)

文献[13]所使用的利用调制码表中冗余状态产生的多余可选码字,对单个数据对应的不同调制码计算 DSV,选取 DSV 最小的,以及文献[14]所使用的利用调制码表中本来含有的 DSV 控制位,通过控制位的不同选择,产生不同的可选状态,对含有单个或者多个控制位的数据进行 DSV 比较,选取 DSV 最小的。相对方法 1),没有数据的冗余,DSV 也能得到控制,但是此种方法依然可以改进。由于该方法只能对单个或少量数据进行 DSV 分析后选择,不能对一段数据进行 DSV 分析,导致整体的 DSV 可能在前字节控制相对较好,但是下一个码字的 DSV 可能由于采用上面所选调制码而造成 DSV 更加发散,即 DSV 变差,该方法没有对 DSV 的前瞻性,不能把握 DSV 的整体情况。针对这一缺陷,本文提出了一种新方法对整段数据进行分析,枚举出所有可能组成的调制数据流进行 DSV 分析,达到很好的抑制效果。

2 方法的实现

现有的光盘数据的调制过程均是查找码表的过程(DVD,HD-DVD 和 Blue-ray DVD 均是如此),在调制码表中存在主副码表供不同的选择。

无论使用怎样的 DSV 控制方法,都要从码表选择的基本原则出发,这也是主码表和副码表设计的初衷,DVD 中的这些原则是:

- A. 在主码和副码之间选择同步码;
- B. 当 8 bit 的待调制字节值在 0~87 的时候,可以从主码表中选取,也可以从副码表中选取;

C. 当 8 bit 的待调制字节值在 88~255 的时候,如果该字节所在的状态是 1 或者 4,那么可以从状态 1 和 4 两列中选取对应的信道码比特流,并且在此原则中,一段比特流可被选取的前提条件是要使整个调制流符合游程长度的限制。

在对一个长度为 N 字节的编码数据进行调制时,根据上述原则,那么在理论上,会出现 2^N 种情况, N 越大,需要枚举的流就越多,且呈指数增长。对于一张普通双层光盘而言,编码后的数据一般在 4 G 左右,即使只有 10% 的字节在调制时面临着选择码字的情况,那么出现的可能性也是惊人的,世界上没有任何一台计算机甚至分布式处理器能应付这等规模的实时运算。

所以为了使用枚举法,在实验时需要做出一些调整。例如每 N 个字节的编码数据作为一个组进行穷举, N 选取在合适的范围,最好在 10 以内。

而且由于流数目增多,实验表明,DSV 相等的流将出现更多,如果出现 DSV 相等的情况,将计算各个流的 DSV 反转情况(即 DSV 运算符的变化次数,此数据能间接反映 DSV 的发散性),实验表明,反转次数能很好地从相等的调制流中选出更加合适的调制流。

该方法的基本原理框图如图 1 所示。

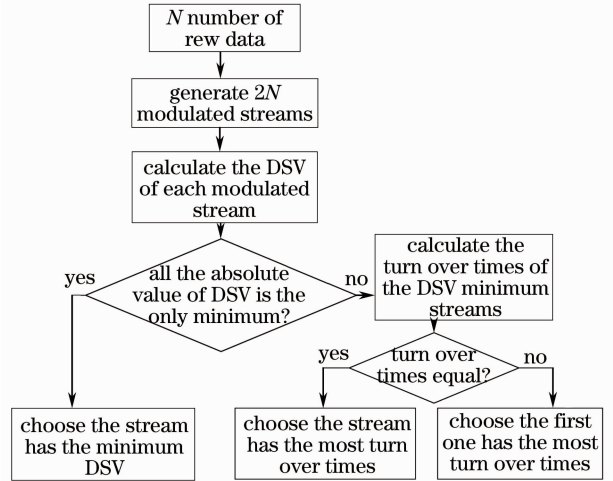


图 1 方法的基本原理图

Fig.1 Basic schematic diagram of the method

该方法设计实现步骤如下:

1) 读入一段 N 个 8 bit 的待调制原始编码数据。

2) 对 N 字节中第一个字节根据上述 3 点原则查表选取出两个对应的调制数据,生成两个数据流(调制流 1 和调制流 2)。

2-1:符合原则 A 时,从同步码的主副码表选择同步码,分别放入调制流 1 和调制流 2。

2-2:符合原则 B 时,从数据调制主副码表选择调制码,分别放入调制流 1 和调制流 2。

2-3:符合原则 C 时。

2-3-1:当该字节本来在状态 1 时,检测该字节在状态 4 的调制码与前一个调制码是否符合游程长度;

2-3-1-1:当符合游程长度时,选择该字节 1、4 两个状态的调制码分别放入调制流 1 和调制流 2;

2-3-1-2:当不符合游程长度时,选择该字节所对应状态 4 的调制码复制 2 份,分别放入调制流 1 和调制流 2;

2-3-2:当该字节本来在状态 4 时,检测该字节在状态 1 的调制码与前一个调制码是否符合游程长度;

2-3-2-1:当符合游程长度时,选择该字节在主码

表中 1、4 两个状态的调制码,分别放入调制流 1 和调制流 2;

2-3-2-2:当不符合游程长度时,选择该字节所对应状态 1 的调制码复制 2 份,分别放入调制流 1 和调制流 2。

3) 对 N 字节中第二个字节。

3-1:将上述所得两个调制流复制一份,生成调制流 3、调制流 4(调制流 3 为调制流 1 的备份,调制流 4 为调制流 2 的备份)。此时已经生成 4 个调制流,两个待调制数据要生成 2^2 个调制流。

3-2:按照步骤 2 中的选择方法,选择出两个调制数据,分别放入调制流 1 和调制流 2(放在前述步骤 2 中所得数据后面)。

3-3:将上述新得到的两组数据,顺序调换(调制流 1 的新数据与调制流 2 的数据互换)复制给调制流 3 和调制流 4。此时已经完成对两个字节 4 种调制数据的完全组合排列。

4) 对 N 字节中第三到 N 字节根据步骤 3 的方法,将第三个字节到最后一个字节,完成一个对 N 个字节的调制数据的完全组合排列,此时生成 2^N 个调制流。

5) 对步骤 4 得到的 2^N 个调制流分别计算其 DSV,以及 DSV 的反转次数。

5-1:如果各个流中 DSV 绝对值最小的流唯一,此流被选定。

5-2:如果各个流中 DSV 绝对值最小的流不唯一,比较 DSV 的反转次数。

5-2-1:如果反转次数最大值的流唯一,选定该流;

5-2-2:如果反转次数最大值的流不唯一(实验表明此种情况为少数),由于此时 DSV 已经得到很好的收敛,所以选定第一条出现反转次数最大值的流即可。

3 实验结果

将本文所述算法思想,结合 DVD 数据编码方法,通过 VC 软件设计平台,利用 C 语言编写软件,实现了一套完整的使用本文算法的 DVD 数据编码调制软件程序。通过对一个 3230293248 字节大小的原始数据进行 DVD 数据编码与调制,在抑制 DSV 的选择算法上,采用本文方案,将一次调制的调制数据个数 N 设为 3,将这 3 个数据称作一段。根据这 3 个数据以及它们对应的调制码表,生成 8 个不同的调制流,对不同的流分析计算 DSV,最后选出

一个最合适的调制流。原始数据被分解成多个段,按顺序连续接受上述处理,最后得到一个完整的 DVD 格式数据。

经编码调制后所得的 DVD 格式的部分 DSV 的实验结果如图 2~4 所示。

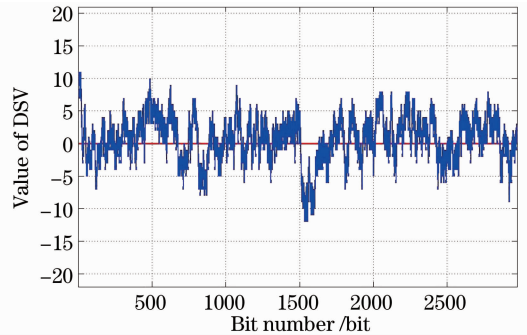


图 2 部分数据连续 DSV 结果 1

Fig. 2 The first DSV results of continuous part of the data

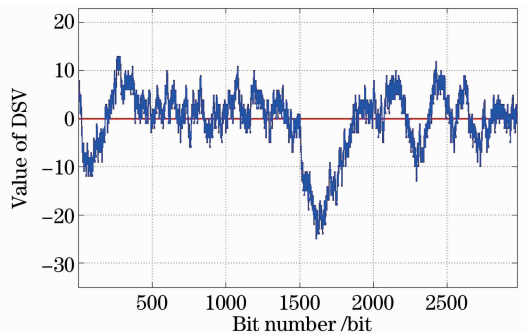


图 3 部分数据连续 DSV 结果 2

Fig. 3 The 2nd DSV results of continuous part of the data

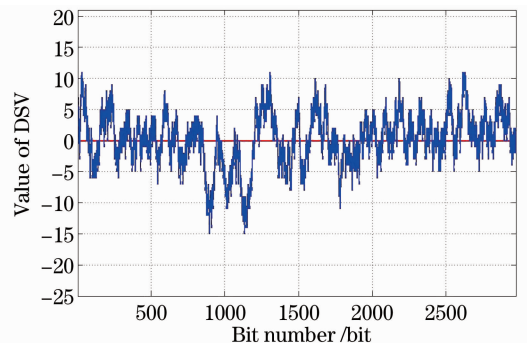


图 4 部分数据连续 DSV 结果 3

Fig. 4 The 3rd DSV results of continuous part of the data

图 2~4 为对 3230293248 字节大小的原始数据最后调制结果中随机选取的 3 段调制数据的 DSV,可以很好地代表整体的 DSV 控制情况,实验数据表明以本方法得到的 DSV 可以很好地控制在 ± 50 之内,对 DSV 具有极佳的抑制能力。参照参考文献

[2], DVD 格式数据的 DSV 应该在 ± 1024 之间, 这样才能保证光盘的刻录成功。根据参考文献[3]提供的数据, 按单个数据进行 DSV 抑制的方法得到的 DVD 格式数据一般在 ± 100 之间, 以控制位来抑制 DSV 的算法的 DSV 则只能达到 ± 200 之间。

进一步将该实验数据与某著名国际光盘生产线制造公司对同一原始数据提供的生产线实时刻录系统的 DVD 格式数据的 DSV 进行了直接比较。对比结果如图 5~7 所示, 3 个图中蓝色实线为按照枚举法获得的调制结果, 红色虚线为光盘生产线实时刻录系统的调制结果(彩图见网络电子版)。

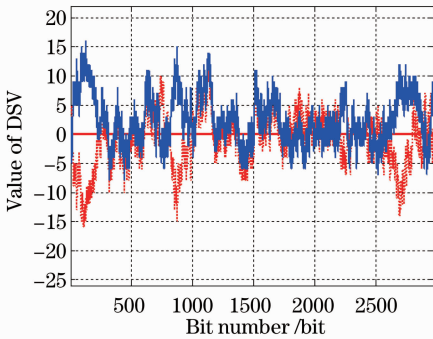


图 5 DSV 对比结果 1

Fig. 5 The first DSV comparison result

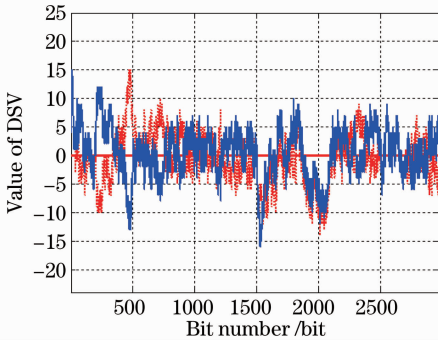


图 6 DSV 对比结果 2

Fig. 6 The 2nd DSV comparison result

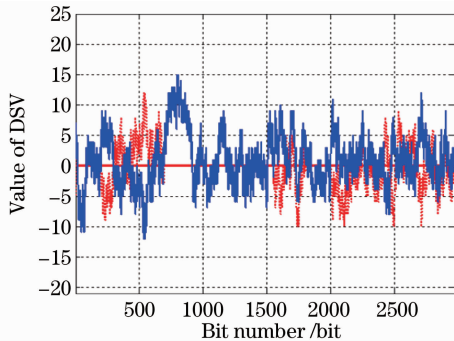


图 7 DSV 对比结果 3

Fig. 7 The 3rd DSV comparison result

图 5~7 为对 3230293248 字节大小的原始数据

两种不同调制结果中随机选取的 3 段调制数据, 可以很好地代表两种不同方法得到的整体 DSV 控制情况, 可以看到, 按照本文方法得到的实验数据的 DSV 收敛性达到完全的工业化要求。

最终, 将该方案所得 DVD 格式数据通过生产线刻录成母盘, 所压制出的光盘能在 DVD 播放机中流畅地播放。

4 结 论

提出一种基于枚举的能有效抑制 DSV 的新算法, 对待调制数据分段调制, 枚举该段数据所有可能的数据流, 对各个流比较选择最佳调制流, 通过实验及生产线验证, 可以得到如下结论:

1) 该方法对一段数据的调制流枚举, 不同于一般方法中单个数据的 DSV 比较, 具有很好的前瞻性, 能完全了解一段数据的所有可能调制流的 DSV 特性的优点, 在选取合适的调制流时提供了充分完整的数据。

2) 该种算法可以将 DSV 抑制到很低的范围, 而且完全能实现工业应用。

参 考 文 献

- Wei Jinsong, Ruan Hao, Shi Hongren *et al.*. A novel approach to super-resolution pits readout [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(5): 526~528
魏劲松, 阮昊, 施宏仁等. 一种新的超分辨记录点的读出技术 [J]. *光学学报*, 2003, **23**(5): 526~528
- Li Jinyan, Ruan Hao, Gan Fuxi. Calculation and analysis of multi-layers for the read only super-resolution optical disk [J]. *Chinese J. Lasers*, 2002, **A29**(4): 366~370
李进延, 阮昊, 干福熹. 只读式超分辨光盘的膜层设计和分析 [J]. *中国激光*, 2002, **A29**(4): 366~370
- Zhu Lu, Ruan Hao. Design of optical storage servo controller based on sliding-mode variable structure control theory [J]. *Chinese J. Lasers*, 2011, **38**(5): 0517001
朱路, 阮昊. 基于滑膜变结构控制理论的光存储伺服控制器设计 [J]. *中国激光*, 2011, **38**(5): 0517001
- Wang Guangbin, Hou Lisong, Gan Fuxi. Study on the thermal stability of azo dyes in optical storage [J]. *Chinese J. Lasers*, 2000, **A27**(9): 833~836
王光斌, 侯立松, 干福熹. 光存储偶氮染料的热稳定性研究 [J]. *中国激光*, 2000, **A27**(9): 833~836
- Gao Xiumin, Xu Wendong, Zhou Fei *et al.*. Modularized static tester for blue ray optical recording properties [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(8): 1127~1131
高秀敏, 徐文东, 周飞等. 模块化蓝光光存储性能静态测试系统 [J]. *中国激光*, 2005, **32**(8): 1127~1131
- Liu Dan. Research and Implementation of RLL(1, 10; 4, 6) Modulation Code of High-Density Optical Disc [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2007. 10~15
刘丹. 用于高密度光盘的 RLL(1, 10; 4, 6) 码的研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2007. 10~15
- Ma Binwu. Design and Implementation of Modulation Code for Red-Laser High-Definition Disc [D]. Wuhan: Huazhong

- University of Science and Technology, 2007. 4~25
- 马斌武. 红光高清光盘调制码的设计与实现[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007. 4~25
- 8 Hu Hua, Xiong Jianping, Xu Duanyi *et al.*. Modulation principles and code design for multilevel optical data storage[J]. *Acta Physica Sinica*, 2007, **56**(1): 208~212
- 胡 华, 熊建平, 徐端颐 等. 多阶光存储的调制原理分析与编码设计研究[J]. *物理学报*, 2007, **56**(1): 208~212
- 9 Tang Yi, Pei Jing, Pan Longfa *et al.*. Simulation analysis and experimental validation of a new multi-level read-only optical recording method [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(7): 1353~1358
- 唐 毅, 裴 京, 潘龙法等. 一种新的多阶只读光存储方法的仿真分析和实验验证[J]. *光学学报*, 2008, **28**(7): 1353~1358
- 10 J. Justesen. Information rates and power spectra of digital codes [J]. *IEEE Trans. Inform. Theory*, 1982, **28**(3): 457~472
- 11 Johannes P. Sinjou, Herman G. Lakerveld. Digital sum value corrective scrambling in the compact digital disc system[P]. US, United States Patent, 1986, 4603413
- 12 Xu Duanyi. High Denstiy Optical Data Storage[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003. 92~106
- 徐端颐. 高密度光盘数据存储[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003. 92~106
- 13 Standard ECMA-267. 120 mm DVD-read-only disk[S]. Europe: ECMA General Assembly, 2001. 18~20
- 14 Chen Xinzhen, Liu Bihai, Zhao Mingyang. Modulation method and system[P]. China Patent, C, ZL200610126429.0, 2010
- 陈新正, 刘碧海, 赵铭阳. 调制方法和系统[P]. 中国专利, ZL200610126429.0, 2010

栏目编辑: 李文喆