

基于FPGA的光学头E-F相位差检测系统

赵 骞¹, 李 挥¹, 马建设²

(1. 北京大学 深圳研究生院 信息工程学院, 广东 深圳 518055;
2. 清华大学 深圳研究生院 光盘国家工程中心, 广东 深圳 518055)

摘 要: E-F相位差信号是DVD光盘伺服系统用于循迹的重要信号。研究并设计了一种基于现场可编程门阵列器件(FPGA)的E-F相位差信号检测系统;介绍了系统设计原理,包括:光学头模型、循迹误差信号和E-F相位差的检测原理,并阐述了预处理环节、低通滤波环节、二值化处理环节和相位比较器。该检测系统通过QUARTUS软件进行逻辑仿真和功能验证,并基于数字伺服控制实验平台进行了实验,验证了E-F相位差信号检测的准确性。

关键词: DVD光学头; E-F相位差; 光盘; FPGA

中图分类号: TP206

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2009)08-0182-04

Test System of E-F Phase Difference of Optical Pick-up Heads with FPGA

ZHAO Qian¹, LI Hui¹, MA Jian-she²

(1. Dept. of Info. Eng., School of Shenzhen Graduate, Peking University, Shenzhen 518055, China;
2. Compact Disc State Eng. Center, School of Shenzhen Graduate, Qinghua University, Shenzhen 518055, China)

Abstract: E-F phase difference is one of the important parameters of DVD optical pick-up heads. Analyses and addresses a test method of E-F phase difference of DVD optical pick-up heads based on FPGA. Introduces the design methods of the system including: the model of the optical head, tracking difference and the principle of tracking error photo detectors. Expatiates the pretreatment aspect, the low-pass filter aspect, the binarization treatment aspect and the phase comparator and simulated the module with QUARTUS. Experiment displayed the accuracy of this presented method and system.

Key words: DVD optical head; E-F phase difference; optical disk; FPGA

0 引言

光存储具有容量大、成本低、寿命长等显著优点,已成为现代信息存储的重要手段之一,广泛应用于音频、视频和数据存储等领域,是现代信息社会中不可或缺的信息载体。目前,随着高清影视技术和蓝光DVD技术的出现,DVD光盘又成为了信息产品市场上新的热点。

DVD光学头主要由激光器、光学系统和光电探测器三部分组成。其中,光电探测器分为离焦探测器和道跟踪探测器,它的主要功能是:把通过光学系统处理后的聚焦光斑与光盘信息轨道之间的轴向距离和径向

距离转换为电压信号,作为伺服系统的输入信号,因此其装配与加工精度直接影响光盘伺服系统的控制精度。文中基于光盘信息衍射物理模型理论,针对光点探测器的位置误差对循迹信号的影响进行了计算与分析。该系统有助于分析解决光学头生产过程中的光点探测器装配和加工工艺误差所来的质量问题。

1 系统原理

光学头(PUH, Pick up head)是光存储系统的重要部件,DVD类光盘光学系统标准规定了光盘检测标准装置中对光学头的要求。光学头的结构包括(如图1所示):半导体激光器、整形准直透镜、偏振分光棱镜、1/4波片、物镜、像散元件(如柱透镜)、读出信号检测器、功率探测器、直流放大器。

标准检测光学头的特性如下:半导体激光器波长(λ): $650\text{nm} \pm 5\text{nm}$;准直、整形后的线偏振光束经过1/4波片后到达光盘信息面的激光偏振态为圆偏振

收稿日期:2008-11-06;修回日期:2009-03-10

基金项目:广东省粤港关键领域招标项目(2005A10208004)

作者简介:赵 骞(1983-),男,硕士研究生,研究方向为基于嵌入式技术的光盘伺服系统;李 挥,副教授,博导,研究方向为网络路由交换结构,网络编码技术及其应用、数字媒体及其SoC设计,嵌入式系统开发。

光;激光器相对噪声强度(RIN): $-134\text{dB/Hz}(\text{max})$ 。测量扫描速度:对单层为 $3.49 \pm 0.03\text{m/s}$,对双层为 $3.84 \pm 0.03\text{m/s}$;盘片夹持:盘片夹持力为 $2.0 \pm 0.5\text{N}$,盘片夹持区为直径 $22.0 \sim 33.0\text{mm}$;物镜数值孔径为 0.6 ± 0.01 ;物镜入瞳光强:是径向最大光强度的 $60\% \sim 70\%$,切向最大光强度的 90% 以上;波前色差小于 0.033λ 。标准光电检测器的尺寸: $100\mu\text{m}^2 < S/M^2 < 144\mu\text{m}^2$, S 是光学头检测器的有效面积, M 是从光盘到检测器的横向放大倍数。

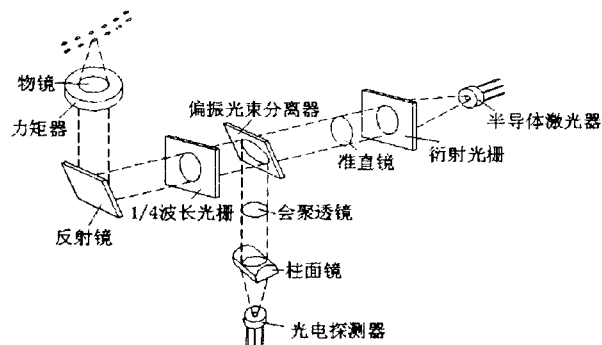


图1 普通光学头的基本结构

1.1 三光束法的循迹信号

在光路中加一衍射光栅,激光束通过平面衍射光栅分成三束光,其中0级光用来读出信号, ± 1 级光用来跟踪信道。

使 ± 1 级光斑在像面上与主光之间距离为 $23\mu\text{m}$,以便能投影到六象限探测器左、右两侧的光电二极管上,于是三光束法循迹信号为

$$EF(v) = I_E(t, v) - I_F(t, v) \quad (1)$$

1.2 差动相位检测法的循迹信号

当探测器偏左时, $I_A(t, v) + I_C(t, v)$ 超前于 $I_B(t, v) + I_D(t, v)$;当探测器偏右时, $I_A(t, v) + I_C(t, v)$ 落后于 $I_B(t, v) + I_D(t, v)$;当聚焦光斑正好位于信道中央时, $I_A(t, v) + I_C(t, v)$ 和 $I_B(t, v) + I_D(t, v)$ 具有相同的相位。于是,DPD信号可表示为^[1]:

$$\text{DPD}(v) = \text{Phase}[I_A(t, v) + I_C(t, v)] - \text{Phase}[I_B(t, v) + I_D(t, v)] \quad (2)$$

1.3 循迹误差信号与E-F相位差

在循迹误差信号的实际操作中,可以通过观察两个辅助光斑产生的低频电信号的相位差来判断光栅是否调整到位。当两个辅助光斑分别处在轨道的两侧,且离轨道的距离都是四分之一轨道间距时,它们产生的电信号刚好相差半个周期。因此可以通过检测这两个光斑产生的电信号的相位差是否 180° 来判断光栅是否处在正确的位置上^[2]。在循迹信号的评价方面,经

常以聚焦光斑偏离轨迹中心一定距离(如DVD-ROM系统中定义为循迹误差 100nm ^[3])的信号情况进行说明。如无特殊说明,在分析中也采用循迹误差 100nm 处的DTD信号进行比较评价。

1.3.1 循迹误差信号

DVD光学头采用衍射光栅对入射光进行分光,0级衍射光束为主光束,用于读取信号,产生高频信号(RF信号), ± 1 级衍射光束为辅助光束,用于检测循迹误差信号,分别产生E、F信号。

图2为主光斑和 ± 1 级光斑在光盘信道上的分布示意图,其中阴影部分表示信道。当主光束恰好落在信道上,两束辅助光反射后探测器输出平衡,此时没有道偏差;若辅助光斑在信道两侧有一微小偏移,则反射后被六象限探测器的E、F两个象限的差分输出,即可检测出循迹误差信号。

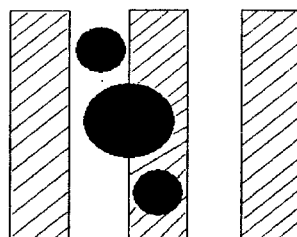


图2 光斑的分布示意图^[2]

在实际的处理中,循迹误差信号一般通过低通滤波器得到。当光点处在信息轨道上时,其值最小;而当光点处在两条轨道之间的反射面上时,其值最大。光盘信息面的光点要稍大于轨道的宽度,一般光点的大小是 $1.8\mu\text{m}$,而轨道的宽度是 $1.6\mu\text{m}$,因此当光点和信息轨道的相对位置发生变化时,探测器上的低频信号也不会发生阶跃型的变化,而会是正弦型或者余弦型的变化,根据Hopkins提出的视盘激光读出系统的衍射理论,低频分量和轨道的径向位置之间的关系可以近似表示为:

$$S(v) = a + b\cos(2\pi \cdot \frac{v}{q}) \quad (3)$$

其中, q 为道间距, v 为光斑位置, a 是信号幅度的平均值, b 是交流成分的幅值, a 、 b 为常数。 $v = nq$ 时,光斑位于道中央,此时探测器输出信号最小。通常来说, a 比 b 大,这是因为光盘表面的反射率不可能是零,因此即使当光点处在轨道的正中间时,检测器上总是存在一定的信号输出。为了增强误差信号的幅度,在光学读取头中,采用两个相对于主光点发生径向偏离的辅助光点来检测循迹误差信号。这两个光点分别位于轨道的两边。假设两个分离的辅助光点相对于轨道中间的偏离分别是 v'_0 和 $-v'_0$,则这两个辅助光点产生的信号可以用式(4)来表示。循迹误差信号可以用这两

个信号的差值来表示,这样就相当于强主光点相对于轨道的径向误差信号加倍了。

$$\begin{cases} S_{+1} = a + b \cos \frac{2\pi(v_0 + v_0')}{q} \\ S_{-1} = a + b \cos \frac{2\pi(v_0 - v_0')}{q} \end{cases} \quad (4)$$

因此,循迹误差信号为:

$$\begin{aligned} TE &= S_{+1}(v_0 + v_0') - S_{-1}(v_0 - v_0') = \\ &-2b \sin\left(\frac{2\pi v_0}{q}\right) \sin\left(\frac{2\pi v_0'}{q}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

由式(5)可以看出^[4],当辅助光点相对于光盘的轨道偏离四分之一轨道间距时,循迹误差信号的幅值最大,这个偏置条件可以通过调节光栅绕光轴旋转来达到。

1.3.2 E-F 相位差

由式(5)可见,TE的大小取决于 v_0 和 v_0' 。在光盘系统中, v_0 主要由主光斑在信道的位置决定, v_0' 主要由光学系统中的分光光栅的角度 θ 决定。 v_0 不变时,调节光栅的角度来改变偏置 v_0' ,当 $v_0' = q/4$ 时,TE = $-2b \sin(\frac{2\pi v_0}{q})$ 取到最大值,得到最佳的循迹误差,此时E、F象限输出的信号存在 180° 的相位差。因此,E、F信号之间需要存在接近 180° 的相位差。

如果TE幅值过小,会影响开环增益从而导致闭环精度下降或跟踪范围减小。E-F相位差在实际生产和使用中一般要求光学头的E-F相位差为 $180^\circ \pm 35^\circ$ 范围内变化。

2 系统设计与实现

2.1 检测原理

根据式(3)、式(4)可知,E、F信号的低频分量存在一定的相位差,通过比较两者相位差的大小,即可检测出E-F相位差。DVD光学头的E-F相位差主要受到衍射光栅的角度和光学头安装位置的影响,故测量时,光盘在CD $1\times$ 的速度下旋转,光学头在光盘固定半径处读取信号。因为要产生E、F信号,故DVD伺服系统要处于聚焦闭环、循迹开环的状态。在此条件下,采用E-F相位差检测系统进行检测E-F相位差。

2.2 设计方法

E-F相位差检测系统如图3所示。六象限光电探测器输出的E、F信号,送入预处理模块,完成信号的射随、放大,同时滤去信号中引入的高频噪音。由于E-F相位差比较的是E、F信号低频分量的相位差,所以,将预处理后的信号送入低通滤波模块进行滤波,滤去E、F信号的高频信号。而光盘在CD一倍速下旋转,E、F低频信号频率不会超过1kHz,故采用截止频

率为1kHz的低通滤波器进行滤波。将滤波后得到的E、F低频信号过零比较,进行二值化处理,得到数字信号。然后,二值化的信号送入FPGA中实现的数字相位比较模块,比较两信号的相位差,并输出两路信号。如图4所示^[5],信号A1为E信号低频分量,信号A2为F信号低频分量,信号A1、A2经二值化后分别得到信号B1、B2,信号C1、C2反映了B1、B2信号的相位差。若E、F信号存在相位差,当E信号超前F信号时,一路输出脉宽方波信号,另一路输出低信号,当E信号滞后F信号时,输出则刚好相反。输出信号的脉宽反映了两者的相位差情况,并根据其输出脉宽宽度反映到测量仪表的刻度上。同时为了便于数据采集和处理,也可以利用积分电路搭建数模转换模块,将输出的信号通过数模转换模块转化为模拟信号,送到A/D采集卡,计算机采集后完成后续的数据处理和分析。

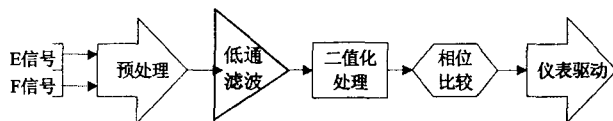


图3 E-F相位检测框图^[5]

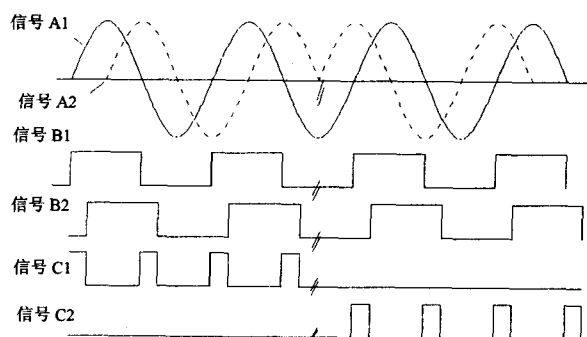


图4 E-F相位比较图^[6]

2.2.1 预处理环节

图5为预处理模块,完成信号的射随、放大,同时滤去信号中引入的高频噪音。

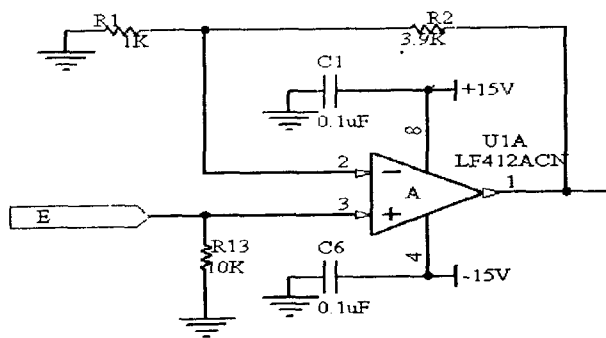


图5 预处理环节

2.2.2 低通滤波环节

图6为采用压控电压源二阶低通滤波电路。电路中既引入了负反馈,又引入了正反馈。只要正反馈引

入得当,就既可能在 $f = f_0$ 时使电压放大倍数增大,又不会因正反馈过强而产生自激振荡。

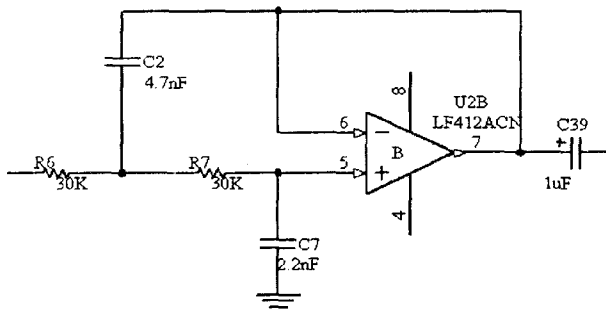


图6 低通滤波环节

其传递函数

$$A_u(s) = \frac{A_{up}(s)}{1 + [3 - A_{up}(s)]sRC + (sRC)^2} \quad (6)$$

在式(6)中,只有当 $A_{up}(s)$ 小于3时,即分母中 s 的一次项系数大于零,电路才能稳定工作,而不产生自激振荡。

2.2.3 二值化处理环节

图7所示为将滤波后得到的E、F低频信号过零比较,进行二值化处理,得到数字信号^[7]。

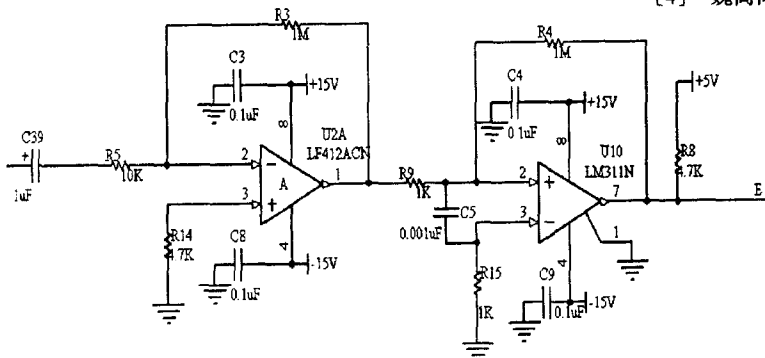


图7 二值化处理环节

2.2.4 数字相位比较器

数字相位比较器是E-F相位检测系统的最重要部分。因为FPGA可在线编程、软件仿真,具有较高的灵活性,便于修改和调试,因此在电路中采用FPGA器

件作为相位比较器。根据E-F相位信号检测原理,利用QUARTUS软件^[8]设计了相位比较方案。

3 结束语

介绍了DVD光学头的E-F相位差信号的检测原理,提出了E-F相位差信号的检测方法,并给出了实现方案。

实验结果表明,基于清华大学自主开发的数字伺服系统平台,在CD一倍速模式下伺服系统处于聚焦闭环、循迹开环的条件下,采用现场可编程门阵列(FPGA)实现的E-F相位差检测系统可以正确检测出DVD光学头的E-F相位差参数。

参考文献:

- [1] 徐端颐. 光盘存储系统设计原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [2] 徐端颐. 高密度光盘数据存储[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [3] 120mm DVD-Read-Only Disk. Standard ECMA-267 [M]. 3rd Edition. [s.l.]: [s.n.], 2001.
- [4] 魏高尚. DVD光学头伺服误差信号分析[J]. 应用激光, 2004, 24(4): 237-239.
- [5] 马建设. DVD光学头参数评价方法及测试装置的研究[R]. 北京: 清华大学精密仪器与机械学系, 2003.
- [6] 方楠. DVD光学头评价仪伺服系统的设计研究[D]. 北京: 清华大学精密仪器与机械学系, 2005.
- [7] Ma Jianshe, Fang Nan, Zhou Hui, et al. Test and evaluation of characteristic parameters in error detectors of DVD pickup[J]. Journal of Optoelectronics • Laser, 2002, 13(3): 237-239.
- [8] Altera International Limited. QUARTUS II User Manual [M]. [s.l.]: [s.n.], 2006.

(上接第181页)

- [5] 曹斌. 产业结构变动对经济增长影响的测度方法综述[J]. 兰州商学院学报, 2005, 21(5): 72-78.
- [6] 王国胤. Rough集理论与知识获取[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2001.
- [7] 张文修, 吴伟志. 粗糙集理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [8] Pawlak Z. Rough set theory and its applications to data analysis[J]. Cybernetics and Systems: An International Journal,

1998, 29: 661-681.

- [9] 韩家炜, 坎伯. 数据挖掘概念与技术[M]. 范明, 等译. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [10] Devore J, Peck R. Statistics: The Exploration and Analysis of Data[M]. New York: Duxbury Press, 1997.
- [11] 王伟, 高亮, 吴涛. 粗糙集在经济分析中的应用[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(4): 158-160.