

基于 LabVIEW 的压电陶瓷相移器控制系统

刘赣勇, 吕晓旭, 张庆生, 余清婷

(华南师范大学 信息光电子科技学院, 广东 广州 510006)

[摘要] 压电陶瓷(PZT)作为微位移的执行装置,在光学测量方面得到广泛的应用. 运用虚拟仪器软件设计的压电陶瓷相移器驱动、校正与位移精度控制系统,准确方便地实现了对压电陶瓷相移器的控制. 通过 LabVIEW 编写的程序采集数据对 PZT 的位移量进行分析和计算,提出一种测量 PZT 驱动电压与位移曲线的新方法. 通过 LabVIEW 控制数据采集卡的输出电压来控制 PZT 的驱动,位移精度可以达到纳米(nm)量级.

[关键词] 光学测量; 相移测量; 压电陶瓷; 位移

[中图分类号] TH744 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-9965(2009)05-0479-04

Controlling system of PZT phase shifter based on LabVIEW

LIU Gan-yong, LU Xiao-xu, ZHANG Qing-sheng, YU Qing-ting

(School of Information Photoelectric Science and Engineering, South China Normal University, Guangzhou 510006, China)

[Abstract] As an execution device of micro-placement, the piezoelectric ceramics (PZT) is used in optical measurement. In order to control the phase-shifter accurately and conveniently, a system to drive and calibrate PZT and control the precision of displacement by using virtual instrument software is designed. The displacement of PZT can be analyzed and calculated according to collected data by programming which is designed by LabVIEW. A new method is introduced for calibrating the displacement-voltage curves of PZT. By controlling the driver of PZT from the data-acquisition board output voltage, the displacement precision of PZT with order of nano-meter can be reached.

[Key words] optical measurement; phase-shifting measurement; PZT; displacement

建立在计算机技术和数据采集与控制设备基础上的虚拟仪器系统,可以方便快捷地完成测试和测量任务,LabVIEW 软件与相应的数据采集及控制板卡结合,是一种典型的虚拟仪器系统. 压电陶瓷(PZT)是光学测量和光学仪器中经常使用的微位移执行器,具有体积小、位移量大、精度高及性价比高优点,其缺点是位移量与驱动电场之间具有非线性关系,从而影响位移量的控制精度^[1-7]. 为了解 PZT 的非线性特性以提高 PZT 移动的精度,人们提

出了计算条纹个数^[1]、快速傅里叶变换^[2]等方法,但需要专门设计控制电路,且计算量也较大. 用 LabVIEW^[8]设计的控制系统,只需简单的仪器设备,方便快捷并且计算量小. 我们应用 LabVIEW 编写数学算法,利用数据采集卡采集的数据计算 PZT 的位移量,可以方便准确地测出不同步进电压下 PZT 的位移特性曲线,数据利用率高,提高了校正的精度. 通过 LabVIEW 控制数据采集卡的输出电压来控制 PZT 的驱动,PZT 的位移精度可以达到纳米量级,而且驱动

[收稿日期] 2008-12-19

[基金项目] 国家自然科学基金项目(60747001;60877070;60467003)

[作者简介] 刘赣勇(1983-),男,硕士研究生,研究方向:光电器件研究及应用

通信作者:吕晓旭(1959-),男,教授,博士,研究方向:光学相位测量、光学全息和数字全息. E-mail: xiaoxulu48@sina.com

与数据采集可同步进行,实现了测量的自动化。

1 测量与控制系统的的设计

本系统由光学系统单元、PZT 相移器驱动单元、数据采集单元和数据处理单元四部分组成。系统的构成包括:NI 公司的虚拟仪器开发平台 LabVIEW、计算机、激光器、反射镜和分光镜、压电陶瓷相移器(PZT)、电压调节器、数据采集卡、光电探测器(PD)等,如图 1 所示。

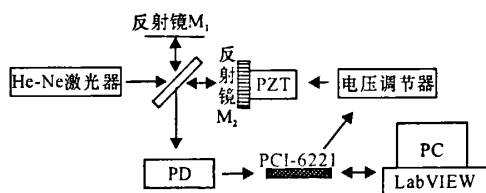


图 1 测量与控制系统示意图

1.1 光学系统单元

光学单元由激光器、带反射镜的压电陶瓷(PZT)相移器、反射镜、分光镜等组成迈克尔逊干涉光路。系统以 He-Ne 激光器为光源,由图 1 可知,光线经分束镜分为两路,一路由反射镜 M_1 反射,另一路经反射镜 M_2 反射,两束光形成干涉,由于反射镜 M_2 固定在 PZT 上,通过 PZT 相移器的移动使光路产生光程变化,从而使干涉条纹移动,条纹移动的明暗变化由光电探测器 PD 转变成为电信号后,送由数据采集卡采集。为了方便快捷地分辨干涉条纹的明暗和条纹的移动,采用平面波干涉产生直条纹。

1.2 相移器驱动单元

相移器驱动单元由 PZT 相移器、电压调节器、数据采集卡(PCI-6221)、计算机和 LabVIEW 构成。当给压电晶体施加一电场时,不仅产生了极化,同时还产生了形变,这种由电场产生形变的现象称为逆压电效应,利用压电陶瓷的逆压电效应,可以把 PZT 当作微位移器使用。

PZT 的驱动原理如图 2 所示,通过 LabVIEW 控制 PCI-6221 数据采集卡输出 0~5 V 之间的电压,经电压调节器放大 60 倍后可以达到 0~300 V 的驱动电压,驱动 PZT 相移器实现移动,从而带动反射镜移动,使干涉条纹移动,达到移动光波相位(相移)的目的。



图 2 PZT 驱动图

1.3 数据采集单元

数据采集单元由光电探测器(PD)、PCI-6221 数据采集卡、计算机及 LabVIEW 组成。系统使用的光电探测器是单元光电转换探测器,具有动态范围大、灵敏度高、频率响应快、数据容易采集、数据处理量小等优点。采集中,由光学单元形成的干涉条纹不断扫过光电探测器前的狭缝照射到硅光电池上,产生与条纹光强变化对应的电信号,并按 LabVIEW 编写的程序控制 PCI-6221 卡采集电压信号,输入计算机进行处理。

数据采集程序流程见图 3,其中: V 为 PZT 的现时驱动电压, ΔV 为步进电压, N 为采样总数, n 为现时采样数, ΔT 是采样等待时间。输入各参数后,即可开始执行程序,程序使用了 FOR 循环,循环次数为采样数,每一次循环首先计算驱动电压,保持当时驱动电压一定的时间,待 PZT 完成相应形变后,再进行数据采集。程序中使用 DAQ Assistant 节点快速搭建一个专门的数据采集系统,用于测量任务的配置、测试,通过 DAQ Assistant 节点控制数据采集卡输出的电压大小实现对压电陶瓷移动的控制。

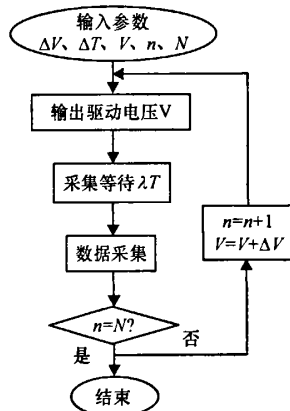


图 3 光强-电压数据采集流程图

1.4 数据处理单元

本单元由 LabVIEW 编写的程序对实验数据进行计算与分析。为了减小或弥补压电陶瓷的位移随驱动电压的非线性变化对精确控制产生的影响,需要测量出 PZT 的位移-电压曲线。如前所述,采用光的干涉原理,以激光光波波长为自然长度标准进行测量,长度标准的精度高于 0.1 nm。干涉条纹光强的空间分布为:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta \Phi \quad (1)$$

式(1)中 I_1 、 I_2 分别为两束干涉光波的光强, $\Delta\Phi$ 是它们的相位差。由式(1)可知干涉场中光强呈余弦规律变化。当两束光波同相时,该点的干涉光强为最大值 I_{\max} ;当两束光波反相时,干涉光强存在最小值 I_{\min} 。由图1可知入射到反射镜 M_1 、 M_2 上的光线要来回两次,所以由亮纹到亮纹变换一次,相位差变化 2π , PZT 的位移量变化 $\lambda/2$;亮纹到暗纹每变换一次,相位变化 π , PZT 的位移量为 $\lambda/4$;在与相邻亮纹或暗纹相位差为 $\pi/2$ 的位置,干涉光强为最大值与最小值之和的 $1/2$,即 $(I_{\max} + I_{\min})/2$,对应的 PZT 位移量为 $\lambda/8$ 。在所采集到的光强-电压数据中顺序查找出最大值、最小值位置,计算最大值和最小值的平均值,根据计算出的平均值在相邻最大值与最小值之间查找 $\lambda/8$ 位移量位置,顺序排列这些特殊位移点的位置,由这些顺序与对应驱动电压的关系即可获得 PZT 的位移-电压曲线。顺序为 K 、驱动电压为 V 时的位移量为

$$L = K\lambda/8 \quad (2)$$

PZT 位移-电压曲线的计算可以通过 LabVIEW 编程实现,计算的流程图如图4。

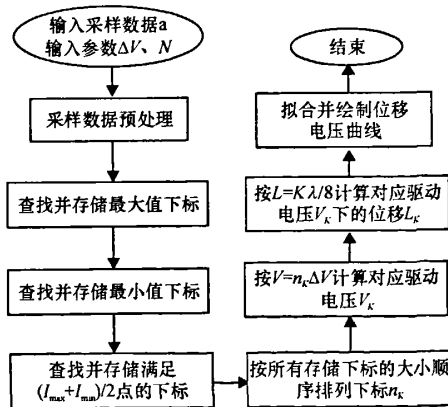
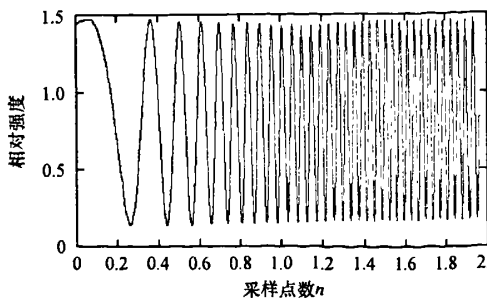


图4 位移-电压关系计算流程图



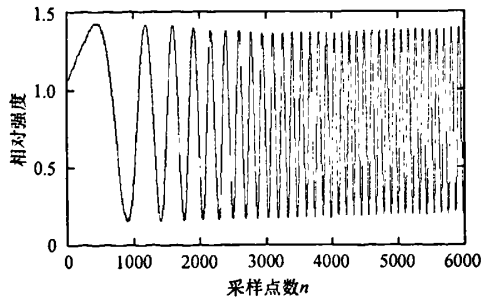
(a) $\Delta V=0.0152588\text{ V}$, $\Delta T=30\text{ ms}$

2 应用实例

2.1 PZT 位移-电压曲线的测量

对 PZT 来说,不同的步进电压 (ΔV) 和等待时间 (ΔT) 对 PZT 的位移特性有不同的影响,所以需对 ΔV 和 ΔT 进行适当搭配以减小测量误差。当 ΔT 一定时, ΔV 越小,达到相同驱动电压处 PZT 的位移量越大,这是因为施加给 PZT 的越平滑,电偶极子受到的极化越平稳,使 PZT 的形变越彻底。当 ΔV 一定时, ΔT 越大,在相同电压下 PZT 的位移量越大,但 ΔT 过大,数据采集时间将会延长,使环境变化对测量结果产生影响的可能性增加。图5分别为 $\Delta V=0.0152588\text{ V}$, $\Delta T=30\text{ ms}$ 和 $\Delta V=0.05\text{ V}$, $\Delta T=80\text{ ms}$ 的原始数据图,图中的横坐标的采样点数乘以步进电压即为该点的驱动电压,纵坐标为光电信号表示的相对光强。从图5中可以看出,其幅度随驱动电压变化比较稳定,说明 ΔV 与 ΔT 的取值已经比较合适。

经预先实验确定 ΔV 和 ΔT 的值后,即可对 PZT 位移随电压的变化关系进行测量。由于噪声的影响,对所采集的数据需要先经过平滑处理,再运用 LabVIEW 编写的程序按每个周期取出的最大值、最小值和均值位置将周期分为4个部分,相邻部分之间 PZT 位移量为 $\lambda/8$,由式(2)计算出位移量,然后通过曲线拟合得出位移与驱动电压的关系。图6是系统前面板显示的一个位移-电压关系图,其中纵坐标为 PZT 位移量,单位为微米,横坐标为驱动电压,单位为伏特。从图中看出,在驱动电压为 $0\sim 40\text{ V}$ 区间, PZT 位移随驱动电压增加时的变化很小;在驱动电压为 $40\sim 220\text{ V}$ 的范围, PZT 位移随驱动电压增加呈明显非线性变化;驱动电压为 $220\sim 280\text{ V}$ 区间,是 PZT 非线性效应较小的范围。



(b) $\Delta V=0.05\text{ V}$, $\Delta T=80\text{ ms}$

图5 不同 ΔV 和 ΔT 时的光强-电压数据图

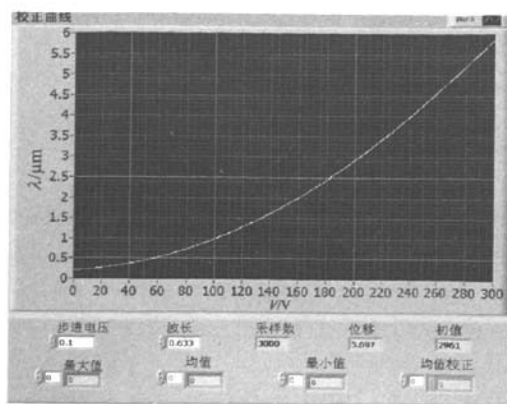


图 6 系统前面板显示的 PZT 位移-电压关系图

2.2 PZT 位移精度的讨论

通过对实验结果的分析,可以估计出 PZT 的位移精度. 从图 5a 中可以看出,当采样点数在 0 ~ 14 400 点左右时,即电压在 0 ~ 220 V 时,每个周期的采样点数逐渐减少,此后随着电压的增加,每周期电压变化基本维持在 5.5 V 左右,采样点数为 360 左右,由于系统采用 He-Ne 激光器,其波长为 633 nm,相应的电压每驱动一步所对应的位移量为 $633 \text{ nm} \div 2 \div 360 \approx 0.88 \text{ nm}$,另外,通过对图 5a 放大后观察,即使在驱动电压很小的区间中,相邻采样点的采样值也没有出现相同的情况,说明系统控制 PZT 移动的精度确实可以达到 nm 量级. 因此系统可根据实验要求,通过改变步进电压的大小控制 PZT 位移的精度.

3 结论

用 LabVIEW 实现数据采集、显示和分析,具有简单、易用的特点,其模块化开发方法可实现用其他编程语言经过复杂编程才能实现的功能,大大减轻工作量. 本实验运用 LabVIEW 设计了压电陶瓷相移器的驱动、校正和位移精度控制系统,对我们使用的 PZT 相移器进行实验测量的结果表明,驱动电压为 220 ~ 280 V,其位移随电压变化关系最接近线性变化,可以实现 nm 量级移动,能够很好地满足相移器的精度要求.

【参考文献】

- [1] 修舟. 压电陶瓷(PZT)特性测试与分析[D]. 昆明理工大学,2005.
- [2] 朱日宏,王青. 移相干涉技术中移相器的自校正方法[J]. 光学学报,1998,18(7):932-937.
- [3] 吕晓旭. 光学相移位相测量系统的设计研制与实验[D]. 天津大学,2004.
- [4] 罗印龙,吕晓旭. 基于一维空间数字相关的实时相移标定方法[J]. 中国激光,2005,32(8):1117-1122.
- [5] 刘辉,陈进榜. PZT 微位移装置控制系统的设计[J]. 测试技术学报,1996,10(1):46-51.
- [6] 范华,张弛. 相移测量技术中相移器研究[J]. 应用光学,1998,19(6):33-37.
- [7] 刘国华,王艳菊. 压电陶瓷式执行器的动态特性的改善研究[J]. 压电与声光,2000,22(4):246-248.
- [8] 陈锡辉,张银鸿. LabVIEW 8.20 程序设计从入门到精通[M]. 北京:清华大学出版社,2007.

[责任编辑:刘蔚绥]