

基于 LabVIEW 的湍流模拟器控制系统设计

Design of control system for atmospheric turbulence simulator based on LabVIEW

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 许博谦 王 刚

XU Bo-qian WANG Gang

摘要: 以 NI 公司的数据采集卡 PCI-4451 和快速偏转镜、空间光调制器为硬件,以 LabVIEW 为软件开发平台,设计了湍流模拟器的控制系统。该系统通过快速偏转镜和空间光调制器对入射的平面光波进行调制,模拟湍流波前。测试实验结果良好,证明该模拟器能够模拟高速变化的复杂湍流波前。

关键词: 湍流模拟器; LabVIEW; 虚拟仪器

中图分类号: TP273 **文献标识码:** B

Abstract: A control system for atmospheric turbulence simulator is designed based on LabVIEW platform. The system is using a data acquisition card PCI-4451 produced by NI company, a fast steering mirror and a space light modulator. The simulator modulates the incident plane wavefront with fast steering mirror and space light modulator to simulate turbulence influenced wavefront. Test results are good and proved effectiveness of the simulator.

Key words: turbulence simulator; LabVIEW; virtual instrument

1 引言

随着遥感相机分辨力的不断提高、空间激光通信等技术的迅速发展,大气湍流对光波传输质量的影响成为制约技术发展的重要因素。如何在实验室条件下模拟湍流成为研究的热点。湍流模拟器应运而生,为光学系统研制提供虚拟湍流介质,节约成本。

传统的湍流模拟方法包括热空气法、折射率/温度梯度法,存在可操作性较差、不具有可重复性等缺点,并不适合在实验室条件下使用。本文所述的仪器采用 FSM(快速偏转镜)、LC-SLM(液晶空间光调制器)、NI 公司的数据采集卡 PCI-4451 作为硬件,开发了一种基于 LabVIEW 软件平台的控制系统,有效解决了上述问题。实验结果证明该模拟器能够模拟高速变化的复杂湍流波前,并具有稳定性好、操作简单等优点。

2 系统总体设计方案

仪器的主要结构如图 1 所示,由仿真计算机、主控计算机和光学波前调制系统三部分组成。仿真计算机运算模拟湍流波前数据,主控计算机根据其计算结果控制快速偏转镜和液晶空间光调制器,调制入射的平面波,输出模拟湍流波前。

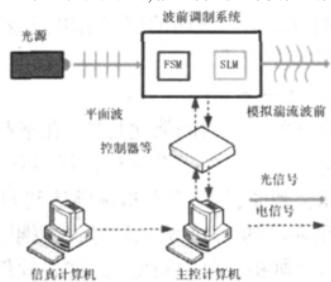


图 1 系统结构示意图

3 硬件部分

3.1 快速偏转镜

快速偏转镜是一种具有高精度、高响应频率的精密器件,通过控制反射镜倾斜角度,模拟湍流引起的高频波面倾斜。本设计采用德国 PI 公司的 S-330 型快速偏转镜,最大偏转角度达到 $\pm 1\text{mrad}$ 。经测试,该器件搭载 $\Phi 25\text{mm}$ 铝膜玻璃反射镜时,仍然能在 700Hz 的频率下正常工作。另外,该器件内装有传感器,可实时反馈代表器件的工作状态的电压信号。

3.2 空间光调制器

空间光调制器通过液晶阵列调制入射光波的位相分布,用于模拟湍流引起的随机位相起伏,空间分辨率高达 800×600 ,可模拟多种复杂波前。该器件响应频率能达到 60Hz,通过 VGA 信号控制。

3.3 多功能数据采集卡

采用美国国家仪器公司(NI)的多功能数据采集(DAQ)板卡 PCI-4451,该板卡具有 2 个模拟输出(AO)通道,精度 16bit,输出速率最高可达 51.2kS/s。该板卡还具有 2 个模拟采集(AI)通道,采样精度 16bit,采样速率最高可达 204.8kS/s。

4 软件部分

软件部分采用 LabVIEW 编写。LabVIEW 是美国的 NI 公司针对目前多种多样的设计、控制与测试任务研发的一种开发工具。LabVIEW 采用图形化开发界面,简化了复杂的数据采集系统,缩短了开发周期,降低了开发难度。

仪器控制前面板如图 2 所示,左右两侧分别为操作区和显示区。操作区供用户控制仪器运行的起始,设置待模拟的波前数据存放路径、波面倾角范围与倾斜频率、实验持续时间等参数。显示区内可观察到 X、Y 方向上的波面倾角变化波形。通过调节操作区的旋钮,可以观察波形细节。

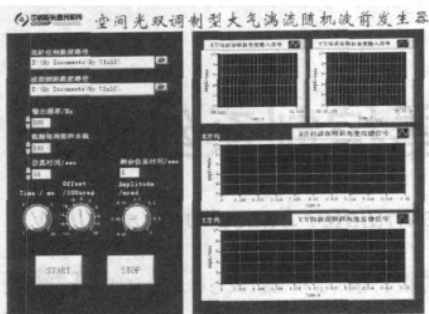


图2 仪器控制前面板

4.1 数据预处理模块

数据预处理模块的程序设计如图3所示,该模块可以从用户指定的*.txt文件中读取要输入快速偏转镜两轴的电压值,生成二维数组。将此二维数组拆分(Decimate 1D Array)成两个一维数组,并根据用户需求截取每个数组的前N个电压值作为输出信号。根据用户指定的更新率(update rate),生成波形(build waveform)传输至快速偏转镜控制模块并在前面板上显示。

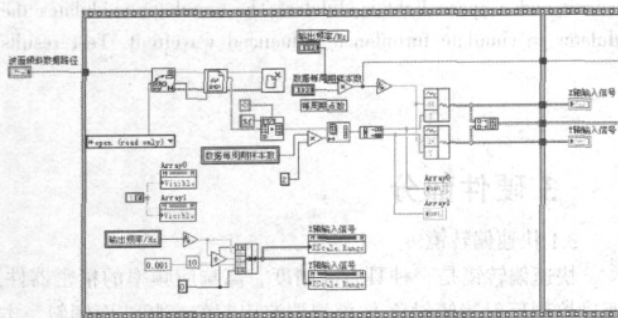


图3 数据预处理模块

4.2 快速偏转镜控制模块

快速偏转镜控制模块如图4所示,主要功能是通过输出电压信号,控制快速偏转镜工作同时采集传感器反馈的偏转角度信息。该模块的执行硬件是NI公司生产的PCI-4451多功能DAQ板卡。在使用该板卡前,需要在NI公司提供的Measurement & Automation Explorer硬件管理软件中设置板卡的模拟输出、采集通道的基本参数。

输出控制信号时,首先配置两个模拟输出通道,设置更新率,准备完成后通过While循环不断输出控制信号。类似地,配置PCI-4451板卡的两个模拟采集通道,设置扫描率(scan rate),即可实现状态采集功能,同时将采集到的数据显示在用户界面上。

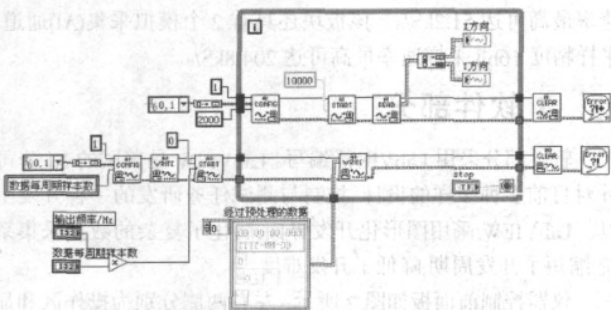


图4 快速偏转镜控制模块

4.3 空间光调制器控制模块

空间光调制器控制模块如图5所示。该模块的作用是将VGA信号传输至空间光调制器,调制入射光波。验证实验表明,

采用输出图片序列的方法,会出现断帧现象。最终调用微软公司的ActiveX控件IMediaPlayer2实现功能。采用多个调用节点(Invoke Node)和属性节点(Property Node)控制ActiveX控件的行为、设置控件的属性,保证VGA信号连续输出至空间光调制器。

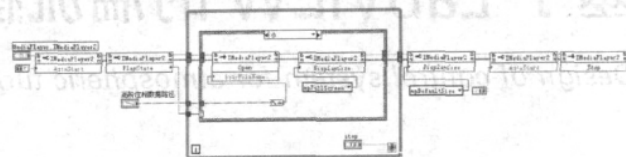


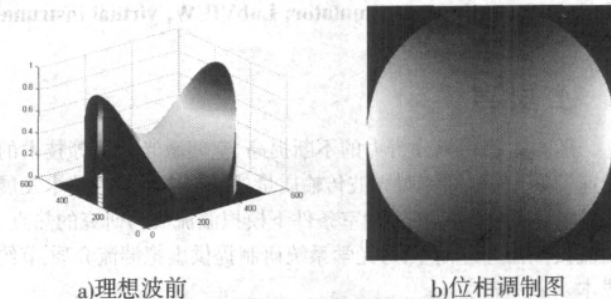
图5 空间光调制器控制模块

5 测试实验

通过实验对仪器的模拟效果和控制系统的响应频率进行测试。

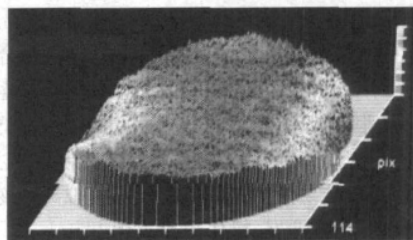
5.1 仪器调制效果测试

Zernike多项式被广泛用于描述光学系统的面型及波像差,采用Zernike多项式拟合的办法模拟出复杂的湍流随机波前。任意选取Zernike多项式中的一项进行测试实验。测试实验采用目前公认的Zygo干涉仪作为波前检测手段,实验结果如图6所示。



a)理想波前

b)位相调制图



c)Zygo干涉仪检测结果

图6 测试实验结果

其中,图6a)是选取的Zernike多项式代表的理想波面,其数学表达式:

$$Z_5(r, \theta) = \rho^2 \cos 2\theta \quad (5)$$

图6b)是传输至空间光调制器的位相调制图,图6c)是采用Zygo干涉仪检测仪器输出波面的调制结果。该结果表明仪器调制效果良好,能够满足要求。

5.2 仪器响应频率测试

真实的湍流波前具有时间演化特性,在某些气象条件下甚至是快速的、剧烈的,这就要求湍流模拟仪器具有高响应频率。根据仪器设计指标要求,其动态模拟帧频达到60Hz。针对该实验采用了高变化强度的VGA测试信号,其帧频为60Hz,相邻帧在全画幅黑色与全画幅白色之间变化。如果软件部分的运行效率不够高,则会出现丢帧等不良现象,丢帧现象如图7所示。经测试实验证明,控制系统在60Hz帧频下有效避免了丢帧现象,实验结果如图8所示。

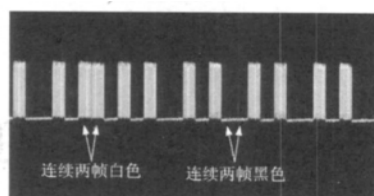


图7 丢帧现象

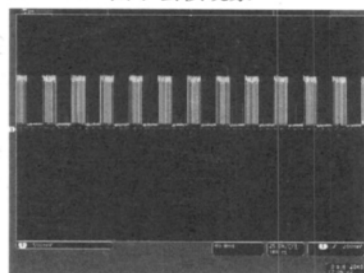


图8 响应频率测试实验结果

6 结论

基于 LabVIEW 平台开发了湍流模拟器的控制系统。测试实验证明,该系统具有快速响应、高稳定性、操作简单等特点,仪器完全能够模拟高速变化的复杂湍流波前。

本文作者创新点: 采用虚拟仪器技术, 设计了湍流模拟器的控制系统。

参考文献

- [1]Physik Instrumente (PI) GmbH & Co.KG: PZ 75E User Manual S-340 Tip/Tilt Platform[EB/OL]. 2003. <http://www.pi.ws/>.
- [2]National Instruments Corporation. DAQ/PCI-4451/4452/4453/4454 User Manual. 2000. <http://www.ni.com/>.
- [3]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: 4-5
- [4]曾召利, 刘迎, 屈学民, 龙开平. 基于 LabVIEW 的组织光学测量系统的设计[J]. 微机计算机信息, 2009, 5-1: 90-91
- [5]鄢静舟, 雷凡, 周必方, 高志强. 用 Zernike 多项式进行波面拟合的几种算法[J]. 光学精密工程, 1999, 7(5): 119-128.
- [6]单宝忠, 王淑岩, 牛慧琴, 刘颂豪. Zernike 多项式拟合方法及应用[J]. 光学精密工程, 2002, 10(3): 318-323.

作者简介: 许博谦, 男, 汉族, (1985-), 硕士, 研究实习员, 2008 年毕业于哈尔滨工业大学, 2008 年至今在中国科学院长春光学精密机械与物理研究所工作, 现主要从事大气光学与成像仿真等方面研究。

Biography: XU Bo-qian (1985 -), Male (han nationality), Graduated from Harbin Institute of Technology, Now doing research in Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science. Mainly do research on atmospheric optics and imaging stimulation.

(130033 吉林 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所应用光学国家重点实验室) 许博谦 王 刚

(State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, 130033, China) XU Bo-qian WANG Gang

通讯地址: (130033 吉林省长春市东南湖大路 3888 号中国科学院长春光学精密机械与物理研究所应用光学国家重点实验室) 许博谦

(收稿日期: 2010.06.09)(修稿日期: 2010.09.09)

(上接第 15 页)

性以及 TPS 互换性、仪器互换性、测试诊断一体化等要求, 其中基于信号的开发模式是更好的选择。利用 IEEE 1641 提供的信号和测试动作类库, 能够很好地完成测试需求和测试资源的描述, 实现虚拟资源和真实资源的映射, 提供给面向信号开发模式较好支持。另外标准适用于装备的研究、生产和使用测试描述, 有利于实现全寿命周期内的信息共享; 标准提供的 IDL 和 XML 接口和组件式设计方便其他的测试系统的调用。但实际使用中 also 发现系统的分层结构模型和标准也存在着一些不足:

(1) 分层结构不可能是实现系统功能的完全、清晰和绝对划分, 跨层间的信息交互显得繁琐和难以实现, 各层之间应尽量实现高内聚、低耦合;

(2) 系统的各层只是定义了功能和接口框架, 如何具体实现或者是先进技术的通用注入方法还有待研究;

(3) 各层接口的设计应考虑如何实现具稳定性和扩展性的兼顾。

测试系统的框架模型设计本身就是一个不断迭代不断成熟的过程, 而且标准也会在实际的使用中得到升级和加强, 上述问题一定会得到有效地解决。

本文作者创新点: 本文研究了面向信号的自动测试系统分层结构设计, 提出了在自动测试系统开发中基于广域测试环境的自动测试系统结构开发方法。

参考文献

- [1]王卫国等. 电子装备维修自动测试系统及其相关技术的研究发展与应用[C]. 海军装备部舰船保障, 1999, 7.
- [2]Michael Blaha James Rumba 著. 车皓阳 杨眉 译. UML 面向对象建模与设计[M]. 人民邮电出版社: 196-199.
- [3]王坚. 军用自动测试设备的现状与发展[J]. 中国测试技术, 2003, (2): 12-18.
- [4]IVI-3.1: Driver Architecture Specification[S]. 8, 2003, IVI Foundation: 36-53.
- [5]Chris Gorringer. IEEE STD.1641 AND THE DODAUTOMATIC TEST SYSTEMFRAMEWORK ELEMENTS [C]. AUTOTESTCON 2006: 720-725.
- [6]1641TM IEEE Standard for Signal and Test Definition [S]. 3, 2005, IEEE: 5-12.
- [7]Chris Gorringer. HOW INTERNATIONAL STANDARDS SUCH AS ATML AND IEEE 1641 STD AND MAKE THE REALISATION OF AN OPEN SYSTEM ARCHITECTURE ON A COMMON TEST PLATFORM A REALITY [C]. AUTOTESTCON2006: 731-737.

作者简介: 赵鑫, 男, 1982 年 6 月出生, 湖南湘潭人, 汉族, 空军工程大学工程学院博士研究生, 主要研究方向为武器系统测试自动化与智能化。

Biography: ZHAO Xin (1982 -), Man, Province: Hunan, Working company (university): Engineering College, Air Force Engineering University, Title: Doctor Candidate, Research area: Weapon System Testing Automation and Intellectualization.

(710038 西安 空军工程大学工程学院) 赵 鑫 肖明清 李继平 (Engineering College, Air Force Engineering University, Xian, 710038, China) ZHAO Xin XIAO Ming-qing LI Ji-ping

通讯地址: (710038 西安 空军工程大学工程学院) 赵 鑫

(收稿日期: 2010.03.19)(修稿日期: 2010.06.19)