

•电路与控制•

基于LabVIEW与MATLAB混合编程的Z-Scan测量系统设计

陈溢¹,任海龙²

(1.湖南大学智能仪器研究所,湖南长沙410082;2.湖南大学物理与微电子科学学院,湖南长沙410082)

摘要:针对Z扫描实验系统数据量大、稳定性要求高以及数据处理的实际需要,设计了一种基于LabVIEW和MATLAB混合编程的全自动激光Z-scan测量系统,用以表征样品非线性光学特性。运用LabVIEW2012开发平台,实现对实验系统测量的全自动控制,通过在LabVIEW环境中的MATLAB Script节点直接调用MATLAB数值分析程序,实现对实验数据的自动拟合,从而直接得到非线性光学系数。通过标准样品CS₂的定标测试,测得三阶非线性折射率系数与已报道数据相符,且测量过程迅速。实验表明,该系统利用LabVIEW和MATLAB软件的优势互补,简化了繁琐的手动操作,成功实现了Z-scan系统的自动测量和数据处理的整合,提高了测量的准确性和效率。

关键词:非线性光学; LabVIEW; Z扫描; MATLAB

中图分类号: O437; TP274

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2014)-03-0060-05

Design of Mixed-language Programming Z-scan Measurement System Based on LabVIEW and MATLAB

CHEN Yi¹, REN Hai-long²

(1. Hunan University Intelligent Instrument Institute, Changsha 410082, China; 2. College of Physics and microelectronics Sciences, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: A mixed-language programming full automatic laser Z-scan measurement system based on LabVIEW and MATLAB is designed to express nonlinear optical features of samples. Full automatic control of experimental system measurement is realized using LabVIEW2012 development platform. MATLAB data analysis program is directly called through MATLAB Script node in LabVIEW environment so as to fit experimental data automatically and the nonlinear optical coefficient is obtained directly. Based on the calibration test of standard sample CS₂, the measured third-order nonlinear refraction coefficient accords with the reported data, and the measurement process is rapid. Experimental results show that the complex manual operation is simplified by the system, automatic measurement of Z-scan system and integration of data processing are realized successfully. And the accuracy and efficiency of the measurement are improved.

Key words: nonlinear optics; LabVIEW; Z-Scan; MATLAB

非线性光学是现代光学的一个重要分支,它主要研究介质在强相干光作用下产生的非线性现象及其应用。由于在光开关、光调制器及激光锁模元器件上有着重要应用^[1-2],寻找非线性系数和超快非线性响应的材料受到人们的广泛重视,材料的非线性测量技术也随之成为研究热点。Z-Scan技术^[3]被广泛应用于材料的三阶非线性系数的测量中,成为

研究材料非线性光学特性的一种重要手段。

最初的Z扫描测量系统需要手工操作,人工读取实验数据^[4],费时费力。随着计算机自动化控制的发展,基于图形化控制软件LabVIEW的Z-Scan实验系统被相继开发出来^[4,6-9],大大节省了实验时间。但实验过程中,激光器的抖动常常造成较大的实验误差,影响实验结果。而且,测量所得数据需进行

二次处理才能最终得到所要求的非线性参数。为此,应翔岳等用LabVIEW软件对实验数据进行自动采集、处理和分析^[4,9],焦阳等提出LabVIEW具有可以与MATLAB通用的Script节点,这为进一步改善该系统,使其具有自动归一化并计算出非线性折射率的功能成为可能^[7]。

把LabVIEW软件设计平台和MATLAB结合使用,实现功能互补,完全实现全自动化测量。通过标准样品CS₂的定标测试,测得三阶非线性折射率系数与已报道数据相符,且测量过程迅速,测量几百个点直接得到拟合曲线,最快只需要5 min。该系统界面友好,操作方便,有效提高了工作效率。

1 激光Z-Scan测量系统组成及原理

1989年,Sheik-bahae等人提出Z扫描测量技术^[3]。它基于光束空间畸变原理,采用单束光测量,由远场小孔透射率的变化和诱导相交的简单线性关系,测出非线性光学介质的非线性折射率和非线性吸收系数^[7]。根据实验基本原理,搭建实验装置如图1所示。

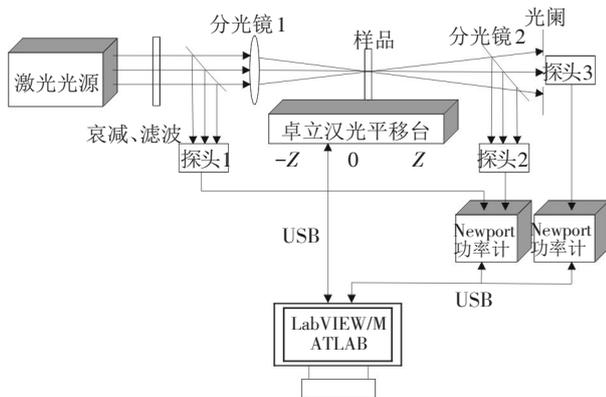


图1 Z-Scan实验系统装置图

Z-Scan扫描测量系统大体由激光光源、电动平移台、功率计、基于LabVIEW与MATLAB混合编程的Z扫描测量控制系统(以下简称L/M控制系统)四部分组成。其中,光源采用Coherent公司的飞秒激光器,输出中心波长为800 nm,重复频率为1 kHz,脉冲宽度为100 fs。平移台采用了卓立汉光的MC600 4B型电动平移台,其总长150 mm,开环分辨率可达0.625 μm,以中间为起点设定坐标原点,左右分别为-70和70。功率计选用Newport公司OD3 IR型激光能量探头和2936型双通道能量计接收功

率值。自行设计的L/M控制系统可直接改变开环分辨率、丝杆导程、平移台移动的速度、加速度等相应仪器参数,软件通过USB2.0通讯接口控制功率计数据采集,RS232转USB控制电动平移台。

实验时,分光镜1将激光光源输出的光束分成两束,一束光被探头1接收,用来标定光源功率,另一束光经汇聚透镜打入样品,分光镜2将经小孔后的光束分成两束,一束被探头2接收,另一束打到光阑,被探头3接收。当样品在电动平移台上沿Z轴移动时,入射到样品的光强发生改变,由于材料的非线性作用,使得样品的透射率和折射率发生相应改变。其中,样品折射率与入射光强关系如式(1)所示。

$$n = n_0 + \gamma I_0 \quad (1)$$

其中, n_0 为线性折射率; I_0 为入射激光束光强(MKS); γ 为非线性折射系数,可为负值可为正值。将样品从 $-Z$ 到 $+Z$ 移动,若 $\gamma > 0$,导致样品出现自聚焦现象,类似汇聚透镜,在焦点前透射率达到最小值,在焦点后出现最大值,即先谷后峰;若 $\gamma < 0$,则测量曲线与之相反,先峰后谷^[9]。通过透过率和相位畸变与样品位置的函数关系,可拟合得到非线性折射系数 γ 的大小。

2 全自动激光Z-Scan测量系统的具体实现

全自动Z扫描测量系统通过计算机与仪器的结合,将使得松散结合的、不兼容的独立仪器发展成紧密结合的虚拟测量系统。各功能模块采用事件结构,只有人机界面相应功能被激发时,才运行相应程序,否则,处于等待状态,大大降低了CPU的使用率。功能模块包括:查找设备模块、设置波长模块、实验测量模块、平移台控制模块、激光抖动修正模块。L/M控制系统程序流程图如图2所示。

2.1 用LabVIEW实现对实验系统的控制

首先,利用LabVIEW自带的VISA资源查找功能向各设备发送相关指令,计算机得到设备的反馈信号再与设备实现握手操作。握手操作成功后对各设备进行初始化,初始化主要包括电动平移台的初速度、加速度、初始位置的设置和功率计波长、通道的设置。然后,在人机界面中进行测量参数的设置,程序控制电动平移台的相应移动和功率计的测

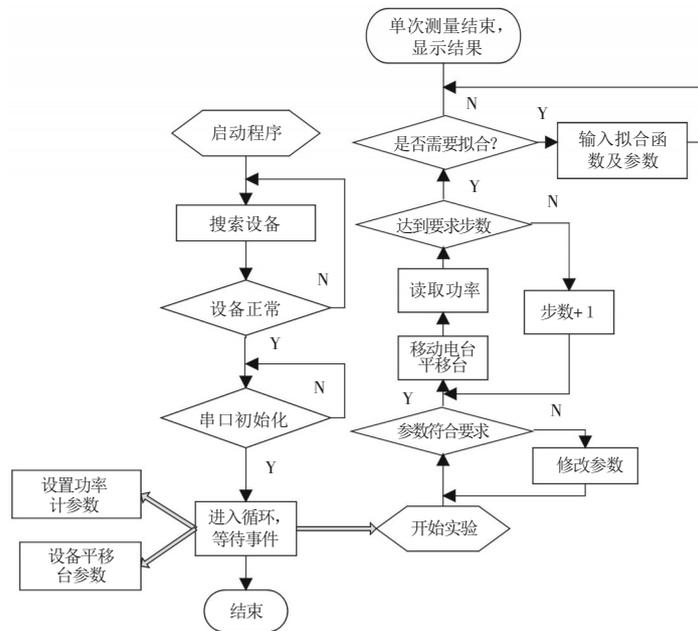


图2 L/M控制系统程序流程图

量。最后,测量结果在人机界面中实时显示并在测量完成后保存输出。在实验过程中为得到不同位置材料的光学特性,可以在-70~+70 mm的量程内均匀取点,因此将电动平移台中点设置为坐标原点,以电动平移台回到设置原点为例,如图3所示。输入指令 1PA0,当电动平移台在移动过程中时,不

断发送指令 1TS 读取串口的数据,当读取到信号为 1TS00032 和 1TS00033 时,表示电动平移台运动结束。为了保证实验精度,消除由电动平移台的移动对样品的振荡影响,在每一次移动到指点位置时,程序加入延时,等待指定时间再读取能量计的功率值,这大大减小振动带来的实验误差。

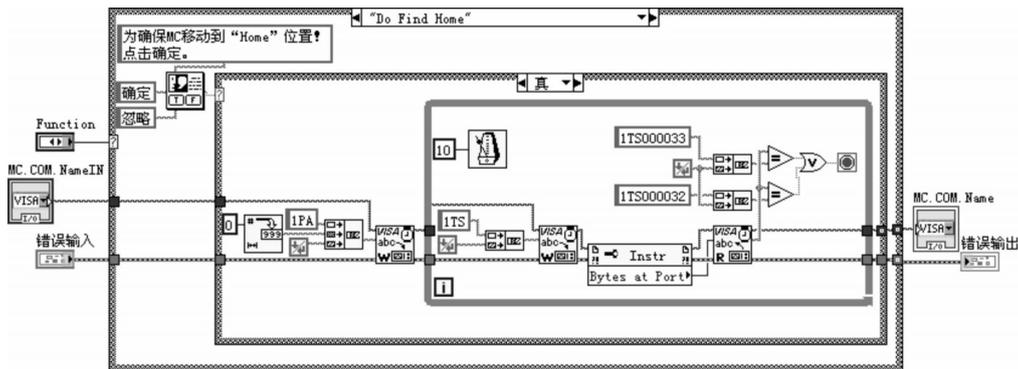


图3 电动平移台控制程序框图

Z-Scan 测量时,需要同时读取三个通道的激光功率,而在 LabVIEW 串口通信时,每次读写串口均需加延时以保证通信准确性,因此选择 USB2.0 协议通信,以达到高测量精度的要求。单次读取功率计的程序框图如图 4 所示。先选择功率计, I/O Value2, 然后设置通道, Set Channel 2, 再 Read Power, 若取 10 个点(无符号 32 位数据类型 ReadingToAverage)后取平均值,则将输出放入双精度数据类型

REF 中;下面的 I/O 是第二个功率计, Channel 1, 为 Open 通道功率, Channel 2, 为 Close 通道功率。激光能量抖动会给测量带来不利影响,因此增加抖动修正功能,只接收在设定抖动范围内的多个脉冲能量(脉冲数及抖动范围均可在人机界面自由设定)。在相同实验条件下,测量结果得到了优化。但是,这项功能会相应增加实验时间。

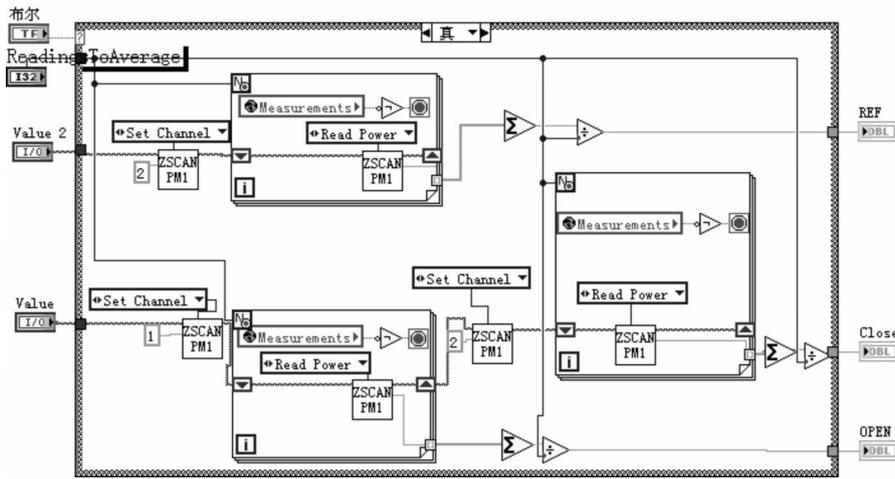


图4 单次读取功率计程序框图

2.2 用 MATLAB Script 节点进行数据处理

在混合编程中,通常用 LabVIEW 设计用户图形界面,负责数据采集和通信, MATLAB 在后台提供算法供 LabVIEW 调用。针对 L/M 控制系统需要多输入、多输出、模块化的需求。采用 MATLAB Script 节点主程序动态加载,实现实时显示测量数据、在线测量自动拟合和直接计算 NLO 参数等功能。如图 5 所示。模块通过 MATLAB Script 节点将参数传递给 MATLAB 相应的功能函数,完成处理后直接显示 MATLAB 拟合图,并将相应结果回传给 LabVIEW 前面板进行显示以及生成报表。

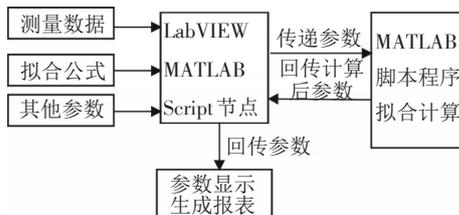


图5 LabVIEW 与 MATLAB 混编原理框图

以闭孔 Z 扫描为例,其透射实验曲线需要用式 (2) 进行拟合。

$$T(x) = 1 + \frac{4x\Delta\Phi}{(1+x^2)(9+x^2)} \quad (2)$$

其中, $x = \frac{z-a}{z_R}$, z 为电动平移台坐标; a 为测量时电动平移台零点与激光焦点的偏离距离; Z_R 为锐利距离, $Z_R = \frac{\pi\omega_0^2}{\lambda}$; ω_0 为激光在焦点处的半径; λ 为激光波长。设定偏离距离 a 和相移 $\Delta\Phi$ 为拟合系数,利用式 (2) 对实验结果进行拟合,可以得到相移 $\Delta\Phi$

的具体值。

再根据相移与非线性折射率系数之间的相互关系式 (3) 得到非线性折射率 n_2 的值。

$$\Delta\Phi = kn_2I_0L_{eff} \quad (3)$$

式中, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$; λ 为波长; L_{eff} 为样品有效厚度; I_0 为焦斑处峰值强度; n_2 为非线性折射率。

因此,本模块中输入为: $xdata$ 为样品在 Z 轴上的位置,单位为 mm; $ydata$ 为归一化后激光能量数据,即 (探头 2/探头 1)/mean; Wavelength 为激光波长,单位为 nm; I_0 为焦斑处峰值功率密度,单位为 GW/cm^2 ; L_{eff} 为样品有效厚度,单位为 mm。输出为: 拟合系数 a ; $resnorm = \text{sum}((\text{fun}(x,xdata)-ydata).^2)$, 在 x 处残差的平方和,用以衡量拟合结果; 非线性折射率系数 n_2 。相关系数输入对话框如图 6 所示。 $xdata$ 、 $ydata$ 为实验测量数据。程序框图如图 7 所示。需注意 MATLAB Script 节点对输入、输出数据的类型有明确要求,只有 MATLAB 中的数据类型与 LabVIEW 中的数据类型相匹配,才能进行数据传输,否则,无法完成接口的通信。

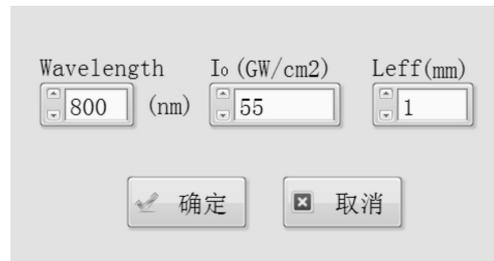


图6 MATLAB Script 输入对话框

