

变焦液体透镜响应时间测量系统的设计与实现

何鹏举, 谢娜, 郭振宇, 王西玲, 徐荣青
(南京邮电大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京 210003)

摘要:目前基于电润湿变焦液体透镜响应时间的测量普遍是通过高速拍摄液体透镜的动态影像来完成的,但是该方法的操作十分复杂且重复测量误差高。针对此问题,基于光束通过变焦液体透镜后的空间分布随焦距而变化的原理,设计并实现了一套自动测量响应时间的系统。该系统由 He-Ne 激光器、光电探测器、液体透镜、函数发生器、示波器及 PC 机组成。He-Ne 激光器发射激光通过液体透镜,采用加载小孔光阑的光电探测器接受通过液体透镜的光通量,并将光通量转化成电信号,示波器获取电信号的变化波形,再将该波形传输至 PC 机并通过软件进行处理和分析得出当前驱动电压所对应的响应时间。验证测试结果表明,设计构建的系统在相同电压下测得多组响应时间的重复误差低于 2%,不仅实现了自动测量,而且测量结果重复误差低,测量过程操作简单,反应灵敏,实用性强,具有较好的应用价值和较为广泛的应用前景。

关键词:变焦液体透镜;响应时间;MATLAB;测量控制

中图分类号:TP311.5

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2017)05-0170-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2017.05.035

Design and Implementation of Response Time Measurement System for Zoom Liquid Lens

HE Peng-ju, XIE Na, GUO Zhen-yu, WANG Xi-ling, XU Rong-qing
(College of Electronic Science and Engineering, Nanjing University of
Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: Currently measurement of response time for zoom liquid lens has been generally accomplished by high-speed photography, but this method is complex and has high repeated measurement error. To solve this problem, a set of response time automatic measurement system has been designed and implemented in accordance with the principle that the spatial distribution of velocity-of-light passing through zoom liquid lens changes with the focal length, which consists of a He-Ne laser, a photoelectric detector, a liquid lens, a function generator, a oscilloscope and a PC machine. The laser emitted by He-Ne laser passes through the liquid lens toward the photoelectric detector with small aperture which receives luminous flux from liquid lens and converts it into electrical signals. Meanwhile, the oscilloscope can pick and display the variation waveform of electrical signals and transfer them to the PC. The response time of the current driving voltage can be dealt with and acquired for analysis. Experimental tests results for verification show that the repeated error of the response time measured by the established system is less than 2% and that the measurement system not only has realized the function of automatic measurement, but also has reduced the repetitive error of the measurement besides the measurement system established is simple and easy to operate and it is also sensitive and practical with high application value and wide application prospect.

Key words: zoom liquid lens; response time; MATLAB; measurement and control

0 引言

目前,基于电润湿效应的变焦液体透镜因响应时间短、控制简单、成本低廉等优点使其在智能手机、摄像机、显微镜等众多现代成像设备中有着广泛的应

用^[1-2]。传统上,可变焦距的光学系统是通过机械装置驱动齿轮来控制变焦的,这种变焦系统响应时间延迟较大。为了改变这种传统的变焦方式,国内外学者们提出了多种方案,如液压式微透镜^[3]、基于液晶的微

收稿日期:2016-05-29

修回日期:2016-09-08

网络出版时间:2017-03-13

基金项目:国家自然科学基金青年项目(61302155);江苏省自然科学基金(BK20151508)

作者简介:何鹏举(1992-),男,硕士研究生,研究方向为计算机测控、嵌入式系统;徐荣青,博士,教授,硕士生导师,研究方向为光电探测与传感器应用。

网络出版地址: <http://cnki.net/kcms/detail/61.1450.tp.20170313.1545.026.html>

变焦透镜^[4]及基于电润湿原理的液体透镜^[5-6]等。其中基于电润湿效应的变焦液体透镜是将两种折射率不同且不相溶的液体封装在透明容器中实现的,并通过外加电场改变液体的曲率来使焦距可变,并且响应时间缩短至毫秒级。但是,透镜响应时间的缩短也意味着测量响应时间的仪器要有更高的时间灵敏度才能在极短时间内测量出透镜焦距的变化情况。目前,国内外在液体透镜变焦时间的测量上大都采用交流电信号作为驱动电压,接着通过连接在电脑上的 CCD 对液体透镜的变化情况录像,再由软件将录像拆解成帧,最后通过计算帧的数量来计算液体透镜变化所需要的时间。这种测量响应时间的方法对测量仪器的要求很高,并且该方法还需要对大量的拍摄结果进行分析和处理,导致测量效率低且误差大。

针对这一问题,所采用的方法是利用光电探测器接受激光通过变焦液体透镜后高斯光束的变化来反映透镜的焦距变化^[7],设计并实现了一套可以自动测量电润湿液体透镜响应时间的测量系统。该系统由 He-Ne 激光器、光电探测器、液体透镜、函数发生器、示波器及 PC 机组成。He-Ne 激光器发射激光通过液体透镜,采用加载小孔光阑的光电探测器获取通过液体透镜的光通量,并将光通量转化成电信号,示波器获取电信号的变化曲线,通过 PC 机上的软件获取示波器的波形并做处理和分析,得出当前驱动电压所对应的响应时间。

1 系统硬件设计

系统硬件如图 1 所示。PC 机通过 GPIB 接口与函数发生器、数字示波器相连。函数发生器产生信号输出,示波器进行数据采集,PC 机作为该系统的控制中心。

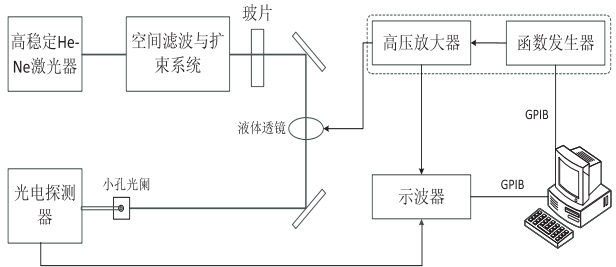


图 1 硬件逻辑结构图

基于电润湿效应的液体透镜在测量过程中一般采用交流电信号作为驱动电压,因此焦距变化很快,要想测出焦距随电压变化的状态,对进行测量的仪器要求很高。图 1 中,硬件装置由一个氦氖激光器、液体透镜、小孔光阑、光电探测器、函数发生器、示波器及 PC 机组成。激光器选用的是氦氖激光器,该激光器结构简单、使用方便、光束质量好、单色性高、稳定性高,适

合作为光源。光电探测器选用的是具有高灵敏度的光敏元器件,该器件可以克服波动和噪声的影响,能够区分出微弱细小的光信号,并把光信号转换成电信号。测量过程中需要调整氦氖激光器、液体透镜、小孔光阑、光电探测器于同一光轴上,同时要使光电探测器置于液体透镜未加电压时光束的束腰处,具体做法是调节小孔光阑的位置,使得输出信号最强。另外,小孔光阑的直径需选用 0.1 mm,由于在此直径下液体透镜焦距的变化会使光电探测器接收到的光通量变化最为明显,通过分析及计算可以得出此时探测器接收到的光通量与液体透镜的焦距是相关的^[8]。又由于探测器输出的电信号与探测器接收的光通量成正比,因此输出的电信号也与液体透镜的焦距相关。

函数发生器用来输出任意函数的波形,输出的波形再通过高压放大器可以调制出液体透镜所需的驱动电压。示波器作为电信号的测量仪器,它能将变化的电信号变换成相应的波动曲线。PC 机是整套系统的控制中心,不仅要进行函数发生器和示波器控制,而且要对获取的波形数据进行处理和分析,从而得到准确的响应时间。

2 系统软件设计

测试系统的软件设计是通过 MATLAB 编程控制函数发生器和示波器实现的。MATLAB 具有丰富的硬件接口驱动,以及高效的数据处理能力,而该软件恰好需要与其他硬件接口进行通信并传递和接收数据,又需要处理庞大的数据,因此采用 MATLAB 不仅可以节省时间成本,而且功能强大,开发周期较短。系统软件设计的结构如图 2 所示。主要包含两个部分,即 MATLAB 与外设的通信模块和基于 MATLAB GUI 的人机交互界面设计。

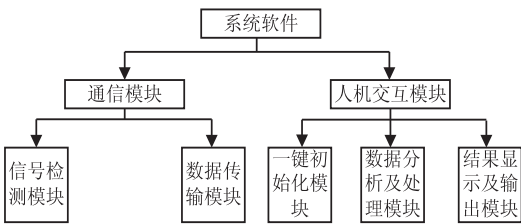


图 2 系统软件设计结构图

2.1 MATLAB 与外设通信模块

MATLAB 与外设的通信主要是通过仪器控制工具箱来完成,而 MATLAB 中的仪器控制工具箱包括两大部件,即 M 函数和接口驱动。MATLAB 可以通过 GPIB 接口实现与外设的交互功能,使用户与外设之间可以进行信息获取和传送。MATLAB 作为一种高级语言,可以通过调用 M 文件函数来创建设备对象,得到设备的文件句柄。设备接口驱动作为操作系统直接控制硬

件的模块,是连接操作系统内核与系统外部设备 I/O 操作的核心模块。MATLAB 在程序设计的过程中将具体的硬件细节隐藏,实现了对外设操作的透明性,因此用户可以通过简单的 M 文件函数实现对外设的读写操作。在读写的过程中,数据的传输格式、缓冲区大小以及溢出时间等由设置的属性值进行定义。函数发生器和示波器所产生的事件和状态一般保存在事件状态寄存器、状态字节寄存器和事件队列中,供 MATLAB 的回调函数进行读取。同时用户可以设置事件状态使能寄存器和服务请求使能寄存器来控制需保存的事件或状态^[9-10]。

MATLAB 对函数发生器和示波器设置和询问的 SCPI 命令由 FPRINTF 函数以字符串的形式输出。设置和询问 SCPI 命令的格式由具体的仪器厂商定义,格式一般为 Header Argument,多个参数之间由逗号相隔。另外,当以二进制格式对示波器的波形进行数据读取时,其读取的数据与示波器的实际数据需由下式进行换算后才能得出实际的信号幅值:

$$X_n = X_{\text{zero}} + X_{\text{incr}} * n$$

$$Y_n = Y_{\text{zero}} + Y_{\text{mult}} * (y_n - Y_{\text{off}})$$

其中, y_n 为输入、输出缓冲区中的数据; n 为数据个数; X_n 、 Y_n 为示波器中的实际采样时间与信号幅值。

2.2 基于 MATLAB GUI 的人机交互界面设计

液体透镜响应时间测量系统的人机交互界面是基于 MATLAB 环境、采用面向对象的设计方法实现的^[11-12]。在测量过程中,人机交互界面通过设备控制工具箱由 GPIB 接口向函数发生器和示波器发送 SCPI 控制指令,即一键初始化函数发生器和示波器。然后再发送 SCPI 查询指令,函数发生器和示波器将所要查询的数据通过 GPIB 接口传递给设备控制工具箱,最后由 MATLAB 对数据进行处理,将相应结果在交互界面上显示,并完成报表输出。软件设计流程如图 3 所示。

在实现以上过程中,主要解决数据处理和计算方面的问题:响应时间的计算方法和液体透镜驱动电压的设置过程。

2.2.1 响应时间的计算方法

脉冲信号的响应时间一般分为上升时间和下降时间。上升时间是指脉冲瞬时值最初到达规定下限和规定上限的两瞬时之间的间隔^[13-14]。下限和上限分别定为脉冲峰值幅度的 10% 和 90%。而幅值的定义,就是顶部值和底部值之间的差值。顶部值指的是波形较高部分的众数,底部值指的是波形较低部分的众数。因此在控制领域中,上升时间通常定义为响应曲线从稳态值的 10% 上升到稳态值 90% 所需的时间。下降

时间的定义与上升时间基本相同。

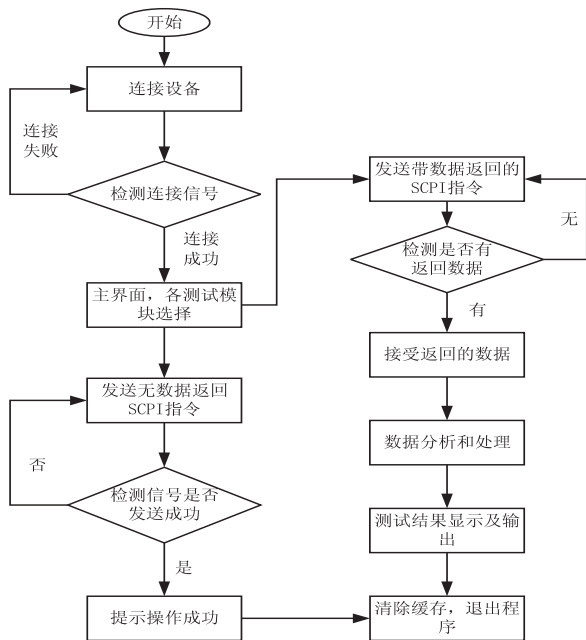


图 3 软件设计的流程图

由于计算机通过示波器获取的电信号波形数据的毛刺较大,需要对波形进行平滑处理,求取波形数据的众数,即底部值和顶部值。再通过一系列的函数和公式可以准确得到幅值 10% 的点上升到幅值 90% 的点所对应的时间。

2.2.2 液体透镜驱动电压的设置过程

函数发生器输出波形经高压放大器放大后,加载到液体透镜的两端,由于放大倍数未知,无法直接设置指定加载电压。因此需要通过软件系统计算放大倍数后再设置,设置过程:PC 获取函数发生器的输出电压,通过高压放大器得到液体透镜两端的驱动电压,计算得到放大倍数,计算机通过放大倍数调整函数发生器的输出值,就可以实现液体透镜两端的驱动电压为具体的设定值。

3 测量过程及重复误差分析

图 4 为测量系统的操作界面。

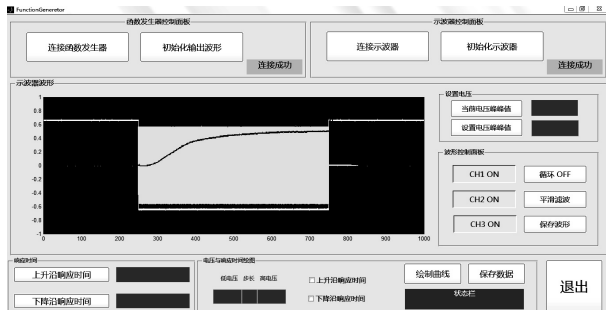


图 4 软件操作界面

该操作界面主要由 4 个模块组成,包括函数发生器与示波器一键初始化模块、液体透镜响应时间计算

模块、液体透镜驱动电压设置模块、电压与响应时间关系曲线的绘制模块。

当硬件设备搭建完毕后,打开该软件,点击连接函数发生器和连接示波器。待连接状态显示连接成功后,先点击初始化输出波形,然后调节高压放大器,观察光电探测口的光通量,若出现聚焦过程,则停止调节放大器。然后点击初始化示波器,此时示波器屏幕上会出现调整好后的波形。初始化完成后,接着可以点击相应的按钮完成需要的操作。在绘制驱动电压与响应时间关系曲线的过程中,需要先设置好低电压、高电压及步长,然后选择要获取的关系曲线,最后点击绘图即可。绘图过程中会在状态栏中显示剩余绘图时间,绘图完毕后,可以将当前的绘图数据保存到文本中,操作过程方便、简单。

表1是变焦液体透镜在不同驱动电压下响应时间多次测量的结果,测量精度为0.01 ms。

表1 重复测量误差分析

测量次数	54 V	56 V	58 V	60 V	62 V	64 V
1	268.16	247.76	189.68	114.06	71.23	56.05
2	269.56	243.45	190.85	115.69	70.78	55.87
3	267.67	246.37	191.13	116.08	70.65	55.43
4	270.04	248.56	191.45	116.43	69.87	57.08
5	269.66	247.33	190.37	113.88	69.25	57.23
6	268.33	246.45	192.04	116.01	70.38	56.46
7	265.79	249.33	188.98	113.78	71.32	57.35
8	267.86	245.78	189.07	114.56	71.08	56.78

重复测量误差的计算公式为:

$$\varepsilon = \frac{\tau - \bar{\tau}}{\bar{\tau}}$$

其中,τ为当前响应时间的测量结果;τ̄为多次响应时间的测量平均值。

重复误差如表2所示。

表2 重复误差

驱动电压/V	重复误差/%
54	<0.97
56	<1.4
58	<0.84
60	<1.2
62	<1.8
64	<1.9

从表2中可知,所测变焦液体透镜的驱动电压在54~64 V时,其响应时间的重复测量误差低于2%。

4 结束语

为实现液体透镜测试过程的自动化和操作简单化,设计并实现了一套由硬件和软件结合的电润湿液体透镜响应时间测量系统。系统由光电探测系统、液体透镜、函数发生器、示波器及PC机组成。在实验过程中,不仅完成了硬件的选取和搭建,而且进行了软件的设计和测试。测试结果表明,所构建的系统不仅可以一键自动得到液体透镜不同驱动电压所对应的响应时间,而且所测响应时间的重复误差低于2%。测试过程操作简单,反应灵敏,实用性强,具有广泛的应用前景。

参考文献:

[1] Kavehvasb Z,Mehrany K,Bagheri S. Optimization of lens-array structure for performance improvement of integral imaging[J]. Optics Letters,2011,36(20):3993-3995.

[2] 张 鹰,张 新,史广维,等. 液体透镜在变焦系统中的应用[J]. 中国光学,2013,6(1):46-56.

[3] Chen J,Wang W S,Fang J,et al. Variable-focusing microlens with microfluidic chip[J]. Journal of Micromechanics and Microengineering,2004,14(5):675-680.

[4] Moran P M,Dharmatilleke S,Khaw A H,et al. Fluidic lenses with variable focal length[J]. Applied Physics Letters,2006,88(4):041120.

[5] 李零印,王一凡. 液体变焦技术的发展与展望[J]. 中国光学,2012,5(6):578-582.

[6] Hu X,Zhang S,Liu Y,et al. Electro-wetting based infrared lens using ionic liquids[J]. Applied Physics Letters,2011,99(21):213505.

[7] 张以谟. 应用光学[M]. 北京:机械工业出版社,1982:44-48.

[8] 郝丽丽. 基于电润湿效应的液体透镜性能的测试与分析[D]. 南京:南京邮电大学,2013.

[9] 李国治,徐春华,余岳辉,等. MATLAB 与数字示波器的通信[J]. 电子技术应用,2002,28(6):58-60.

[10] 陈 溯,王思华. 用 GPIB 接口编程控制泰克数字示波器[J]. 微电子学与计算机,1998,15(5):17-19.

[11] 宗节保,段柳云,王 莹,等. 基于 MATLAB GUI 软件制作方法的研究与实现[J]. 电子设计工程,2010,18(7):65-67.

[12] 齐惠娟,李 敏. 基于 MATLAB GUI 实现随机信号的分析与处理[J]. 电子设计工程,2011,19(12):11-14.

[13] 龚鹏伟,姜 河,谌 贝,等. 基于光电脉冲的取样示波器上升时间校准实验研究[J]. 宇航计测技术,2015,35(1):1-4.

[14] 寇琼月,张 红,张 磊. 数字示波器上升时间的测量不确定度分析与评定[J]. 电子测量技术,2016,39(1):31-34.