

文章编号:1002-2082(2006)04-0359-04

一种新型数字式便携光学实验仪

卜 敏, 王亚伟, 徐桂东

(江苏大学 理学院, 江苏 镇江 212013)

摘 要: 介绍了一种新型数字式便携光学实验仪, 该仪器具备光学实验、课堂演示、光学研究和光学测试等多种功能, 可完成波动光学中干涉、衍射、全息、散斑以及几何光学中成像等工作。该仪器设计了“又”形布置的轨道以及“工”形支架, 实现了3维无级可调, 可对光路进行精确调节。此外, 以三基色调色原理为理论基础, 自行开发了图像处理软件和层式仪器结构。将PC主板与光学台融合为一体, 可对图像进行实时数字采集与处理。与传统实验设备相比, 该仪器极大地拓展了数字光学实验的应用空间。

关键词: 便携式仪器; 图像处理; 光学实验仪

中图分类号: O4-33

文献标志码: A

A novel digital portable optical experimental instrument

BU Min, WANG Ya-wei, XU Gui-dong

(Faculty of Science, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: A novel digital portable optical experimental instrument is introduced, which can be used for optical experiment, demonstration in class, research and test. It can fulfil interference, diffraction and holography in wave optics, as well as imaging in geometric optics. The instrument is designed with an orbit in “又” form and a bracket in “工” form to realize a smooth and accurate adjustment. An image processing software and a multilayer instrument which connects the PC mother board with an optical bench were developed base on RGB average method. The image can be gathered and processed in real time. Compared to the traditional experiment set up, this instrument could expand the scope of the digital optical experiment significantly.

Key words: portable instrument; image processing; optical experiment instrument

引言

伴随着科学技术的发展, 光学工程技术在现代科技领域起着越来越重要的作用。但是, 由于实验条件的限制, 许多高等院校的光学实验内容和项目都非常有限。因此, 提出数字式便携光学实验仪, 它综合了近、现代光学技术, 是激光技术、机械控制技术、计算机和图像采集处理技术的充分结合。该实验仪能够帮助使用者在任何情况下完成普通光学、高等光学、现代光学的大部分实验^[1], 包括课堂演

示, 而且还可以完成许多现代光学和精密光学的实时测量, 尤其适用于随时对图像进行显示、计算与处理。

该实验仪是光、机、电、算一体化产品, 其组成如图1所示。由于要在有限面积上完成多种不同光学原理的实验, 为此设计了可对光路实现精确微调的“又”形光路、导轨和“工”形光具座, 以获得最佳的试验效果。同时, 考虑到便携要求, 采用层式结构, 对PC主机、图像采集设备、显示设备进行了精

收稿日期: 2005-08-09; 修回日期: 2005-08-29

基金项目: 江苏大学校青年基金项目(1241190005)

作者简介: 卜敏(1977—), 女(蒙古族), 江苏镇江人, 硕士研究生, 助教, 主要从事细胞光散射研究及大学物理教学工作。E-mail: bumin@ujs.edu.cn

心的设计。专门设计的图像处理软件除配合试验内容的完成外,还兼顾光学信息的提取、图像的处理、二维及三维图形的重建。此外,还增加了网络接口,用于远程教学。

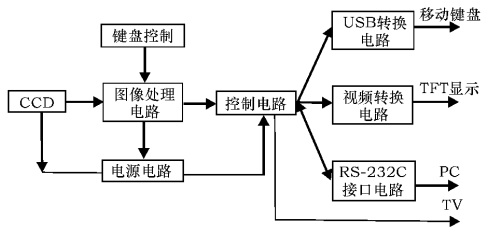


图1 仪器电路原理图

Fig. 1 The principle diagram of instrument circuit

1 光路基本结构及基本实验

数字式便携光学实验仪的整体结构如图2所示。整台仪器置于一个430 mm×330 mm×220 mm手提箱内。考虑到操作、接收、显示、处理一体化,对系统的散热及减振进行了周密的控制。另外,系统的防震海绵与“又”形结构轻阻尼减震台面相结合可使实验结果更加稳定、精确,外加的控制电路使整个仪器操作更加容易。

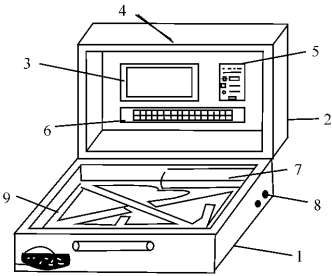
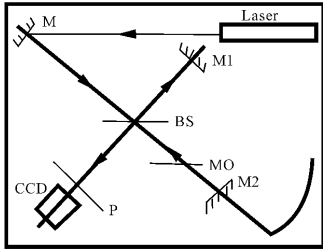


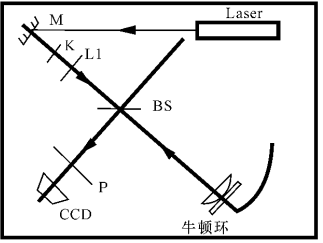
图2 整体结构图

Fig. 2 The whole configuration

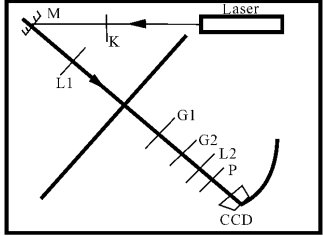
以往的一些光学实验台多采用点阵式结构,平台利用率虽高,但不能满足光路的连续调节要求,对实验调节带来了较大的限制。在综合研究了多种光路的基础上,提出一种“又”形光路设计。该光路完全可以满足绝大部分光学实验的要求,且带刻度的光具座轨道可实现光路的无级和精确调节。图3列举了几种较复杂光路在“又”形轨道上的实现情况。



M,M1,M2—全反射;BS—半透半反射;MO—补偿板;P—成像屏
(a) 迈克尔逊干涉



M—全反射;BS—半透半反射;K—扩束镜;L1—准直镜;P—成像屏
(b) 牛顿环



M—全反射;K—扩束镜;G1,G2—光栅;L1—准直镜;P—成像屏;L2—成像透镜
(c) 莫尔干涉

图3 几种典型的实验光路

Fig. 3 Several typical experiment beam paths

由于仪器的整体结构较小,要求轨道纤细小巧且光具座稳定,为此设计了一种半燕尾形结构,它能很好地满足上述要求。设计时采用了具有自主知识产权的三维可调“工”形支架光具座(见图4所示),通过A,B调节螺母可以方便地对光学元件进行三维调节。该装置结构简单、操作方便可靠且成本低廉。

2 图像的接收与显示

实验仪采用CCD作为图像接收器,通过图像采集卡与PC主机连接,在仪器箱体内存TFT显示实验结果。为了便于课堂演示,外置接口可接TV及投影仪显示。此外,在接收装置处多加了一条圆

弧形的轨道(如图5所示),使CCD在圆弧形轨道上可自由运动,完成分光计实验、光栅衍射实验和三棱镜实验等。

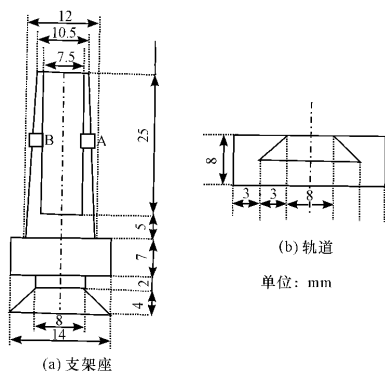
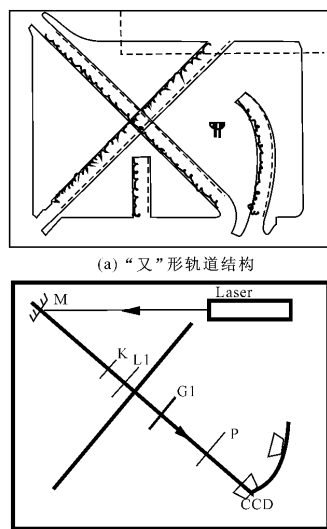


图4 支架座和轨道设计图(单位:mm)

Fig. 4 The blueprint of pedestal and orbit



M—全反镜; K—扩束镜; G1—光栅;

L1—准直镜; P—成像屏

(b) 光栅衍射

图5 “X”形轨道示意图及实验光路

Fig. 5 Diagrams of the orbit and the experiment beam path

3 图像结果的重构与分析

该实验仪内置了用来处理实验结果的图像处理软件。它不但能实时接收图像采集设备传送的图像信息^[2],还能对接收的信号作光学信息处理,并生成实验或测试所需的数据,完成二维、三维图形的重建以及对数字图像信息进行必要的二值化、锐

化和滤波等处理,以获得更精确的实验光谱。

由于所接收图像的极大与极小强度相差很大,若用单色CCD传感则没有如此大的响应宽度,从而也会产生饱和或截止误差。该软件可对光源作出响应,其真彩面阵图像传感器(3C-CCD)以RGB色调色原理^[3]为基础,通常在1色饱和时,其他2色未必饱和,从而可解决饱和问题,如即使 $R(x)$ 色线在 $[x_1, x_2]$ 区间饱和和无定义,但 G 和 B 线仍有定义值,则取

$$R(x) = (\Delta G(x - \Delta x) + \Delta B(x - \Delta x)) / 2$$

式中, ΔG 和 ΔB 分别是 G 和 B 在 $[x - \Delta x, x]$ 区间内的响应增量。依次逐步取值定义,完成全饱和和拟合,最后可得到 R 的分布。用这种RGB均衡法^[3]拟合可解决饱和问题。

用本软件对图像采集卡所采集到的实时图像进行三维重建^[4],可反映光强分布的实际情况。其主要处理思想是利用卷积重建算子将各个方向的投影先滤波,然后将不同方向投影的滤波结果积分,获得重建结果。为了实现此算法,先建立滤波投影 $Q(md, \theta_j)$ 的离散卷积:

$$Q(md, \theta_j) = d \sum_{n=-\frac{M-1}{2}}^{\frac{M-1}{2}} \Phi(md, \theta_j) h[(m-n)d]$$

式中, $\Phi(md, \theta_j)$ 是从实时图像上获得的投影数据; $h[(m-n)d]$ 为重建滤波器; d 是采样间隔; N 是投影方向数; M 是某方向的采样数, $m=0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm (M-1)/2$; $\theta = \theta_j = j\pi/N$, $j=0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm (N-1)/2$ 。

利用快速傅里叶变换可计算频域内的离散卷积,这可大大提高速度。求得滤波投影 $Q(md, \theta_j)$ 后,则由下式求得原场 $f(x, y)$ 的重建近似 $\bar{f}(x, y)$:

$$\bar{f}(x, y) = \frac{\pi}{N} \sum_{j=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} = \frac{N-1}{Q(-x \sin \theta_j + y \cos \theta_j)}$$

图6是用该软件对夫琅和费单缝衍射图样处理后的强度谱的三维重建。由图可以看出强度谱三

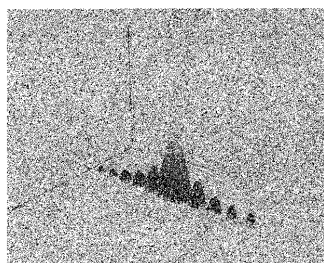


图6 夫琅和费单缝衍射三维强度分布

Fig. 6 The 3D intensity distribution of Fraunhofer single-slit diffraction

维重建的光强分布情况和各级极大位置分布。而传统的光屏成像只能观察明暗纹的区别,二者相比前者有更大的优越性。而且中央主极大强度大致为第4主极大的100倍,但由于使用了RBG均衡法而没有产生饱和误差。

4 结 论

数字式便携激光光学实验仪可以通过光路和元件的变换完成几十种光学实验光路及课堂演示,而且具有实时化、数字化的特点,可用于光学研究和大视场的实验演示。该实验仪的突出特点在于:

1) 设计了独特的“又”形轨道和“工”形支架。“又”形轨道弥补了以前点阵式实验台不能精确调节的缺点,实现了无级三维精确调节;“工”形支架可使各光学器件准确定位,且移动方便。

2) 开发出的层式结构将PC主板与光学台融为一体。以前的各种实验设备对于图像的采集多采用传统的胶片法,即使运用了PC处理,也有占地大,不便携带的缺点。本文设计的实验仪采用层式结构,将PC主板与光学台融为一体,实现了光学实

验实时化、数字化、网络化,且整机质量仅800g,携带方便。

3) 以三基色调色原理为理论基础自行开发的图像处理软件可对实验仪实时接收图像采集设备传送的图像信息进行信息处理,生成数据,实现图形的重建。

4) 预留的光学元件和接口拓展了实验的创新设计空间。

参考文献:

- [1] 杨国光. 近代光学测试技术[M]. 浙江:浙江大学出版社,2002,11-12,126-127,234-236.
- [2] 辛莉,胡茂海,周绍光. 水稻花粉颗粒显微图像采集与分析系统研究[J]. 应用光学. 2004,25(1):43-45.
- [3] 王亚伟,贺安之,刘晓然,等. 微粒光散射图像获取方法的改进[J]. 南京:理工大学学报,2000,24(5):445-448.
- [4] 贺安之,阎大鹏,朱兆清,等. 迭代卷积重建三维折射率场的计算机模拟[J]. 光学学报,1994,14(19):908-913.

非球面镜加工

近10年来,非球面镜加工技术有了相当大的改进。可模压加工出非常精密的光学表面,并有极高的质量,但加工成本与普通光学件相比仍然很高,限制了大规模生产的商业应用。模压非球面镜主要用于商业光学系统中,如生产规模达数十万甚至数百万台的数码相机。

在机械加工方面,晶体材料和有色金属材料通常选用金刚石车削加工。但也有其他新的方法,如计算机控制的高速小型机床即圆盘研磨可以加工玻璃和其他光学材料的非球面。计算机控制的高速研磨能在透镜轴向旋转时描划出非球面的形状并用研磨盘的边缘精磨出这一形状。但这种加工不能制作出光学级平滑表面,所以必须附加光学抛光处理。一般说来,抛光是用能产生光学光洁度同时又保持原研磨形状的柔保形工具完成的。此外,还可用磁流变抛光技术修磨精加工非球面镜,或使球面抛光透镜产生适度的非球面偏差。磁流变抛光利用随外加磁场发生形状和密度变化的一种流体,该方法可在抛光不同元件区域时通过计算机控制改变玻璃的磨削率。金刚石车削在小批量红外光学元件加工中已应用多年,但表面粗糙度限制了它在可见光元件加工中的实际应用。而磁流变抛光法还可用于抛光金刚石车削的光学元件,去除其高频车削刀痕,使得金刚石车削在可见光元件加工中发挥更大作用。但值得注意得是,磁流变抛光是一种精加工工艺,它要求的是已抛光的元件,如车削的、模压的或已抛光的球面元件。

所有这些机械加工方法都是由计算机控制的,并且要依靠反馈环路通过监测抛光部分表面来调整运动。要达到设计形状,需要精确的计量以确保这些方法准确地工作。

(知愚 供稿)