



四象限光电探测器实验装置的研究与应用

杨应平, 陈梦苇, 贾信庭

(武汉理工大学 理学院 物理实验教学示范中心, 湖北 武汉 430070)

摘 要: 基于四象限光电探测器光斑中心定位理论, 研制了用于学生实验的四象限光电探测器综合实验仪. 该实验装置采用硬件和软件两种光电定向方式, 能够实现简单、直观、快速、准确的定位跟踪目标.

关键词: 四象限光电探测器; 光斑; 中心定位

中图分类号: TH741

文献标识码: A

文章编号: 1005-4642(2014)05-0029-04

1 引 言

随着光电技术的发展, 光电探测的应用也越来越广泛, 由于四象限光电探测器 (four-quadrant photoelectric detector, QPD) 能够探测光斑中心在四象限工作平面的位置, 因此在激光准直、激光通信、激光制导等领域得到了广泛的应用^[1-4]. 据此, 开发了用于学生实验的四象限光电探测器综合实验仪, 该实验仪能够完成系统组装调试, 激光器直流、脉冲驱动, 四象限探测器输出信号放大, 脉冲展宽, 基于单片机的信号采集系统设计, 以及使用 LCD 和上位机显示各象限光斑能量信息和光斑中心位置. 通过实验, 学生可以掌握四象限光电探测器原理及利用实验仪进行设计性实验等内容. 作为高等院校应用物理、光电信息科学与工程、电子科学与技术、测绘工程、机械电子工程、测控技术与仪器等理工科专业的实验教学仪器, 对提高学生对光电定向及其实际应用的认识和提高教师的教学质量都有积极的作用^[5].

2 四象限光电探测器原理与实验装置

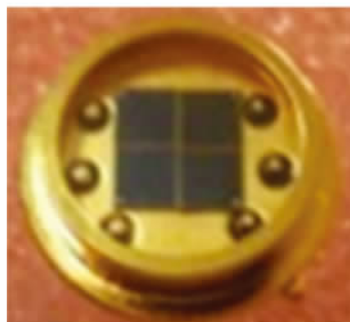
2.1 四象限光电探测器原理

象探测器是一种常用的精跟踪探测器, 其基本原理是光电效应, 利用半导体材料吸收光子能量引起的电子跃迁, 将光信号转换为电信号. 通常是利用集成光路光刻技术将完整的 PN 结光电二极管的光敏面分割成几个具有相同形状和面积、位置对称的区域, 每个区域可以看作 1 个独立

的光电探测器, 其背面仍为一整片. 理想情况下, 每个区域都具有完全相同的性能参量. 象探测器光敏面形状有圆形和矩形, 四象限光电探测器实物如图 1 所示.



(a) 圆形光敏面 QPD



(b) 矩形光敏面 QPD

图 1 四象限探测器实物图

如图 2(a) 所示, 四象限光电探测器光敏面有 4 部分 A, B, C, D. 假设入射光斑为圆形且能量分

收稿日期: 2014-01-06; 修改日期: 2014-03-10

资助项目: 武汉理工大学教学研究项目 (No. 2012054); 中央高校基本科研业务费专项资金资助 (No. 2013-Ia-010)

作者简介: 杨应平 (1965—), 男, 湖北仙桃人, 武汉理工大学理学院教授, 博士, 从事光电检测等方面的研究工作.

布均匀,如图 2(b)所示,照射在光敏面上的光斑被 4 个象限分成 4 个部分,4 个象限的光斑面积分别为 S_A, S_B, S_C 和 S_D . 此时,由于光生伏特效应在 4 个象限中产生与光信号对应的电信号,其对应电流大小分别为 I_A, I_B, I_C 和 I_D . 如图 2(c)所示,当光斑中心在四象限光电探测器上的位置改变时,光敏面各象限上的光斑面积也会改变,从而引起四象限探测器各象限输出电流强度的变化,通过一定的信号处理方法可以得到光斑能量中心位置相关信息.

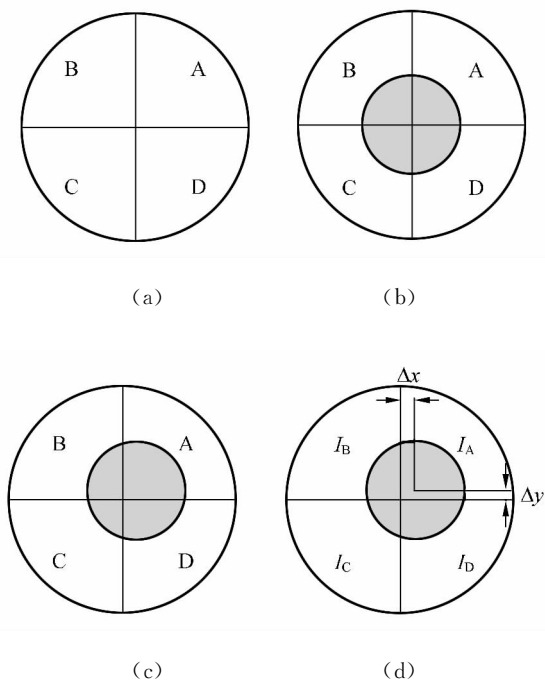


图 2 四象限探测器工作示意图

根据输出电流强度可以计算出光斑能量中心位置. 用 σ_x 和 σ_y 分别表示 x 和 y 轴上根据四象限光电探测器输出信号经过一定的算法处理后的归一化偏移量, σ_x 和 σ_y 与光斑能量中心实际偏移量的对应关系利用加减算法得^[6-7]:

$$x_0 = K\sigma_x = K \frac{(S_A + S_D) - (S_B + S_C)}{S_A + S_B + S_C + S_D}, \quad (1)$$

$$y_0 = K\sigma_y = K \frac{(S_A + S_B) - (S_C + S_D)}{S_A + S_B + S_C + S_D}, \quad (2)$$

式中 K 为比例常数,光斑能量中心偏移量 σ_x 和 σ_y 仅与光斑在探测器上的面积有关,只要得到了各象限面积之间的比例关系,即可得到光斑能量

中心位置的坐标. 光斑在探测器上移动如图 2(d)所示,为了讨论方便,这里假设目标光斑沿 x 轴正方向移动. 设光斑直径等于探测器半径,则根据式(1),得到光斑能量中心实际位置 x_0 和偏移量信号 σ_x 函数曲线如图 3 所示^[7].

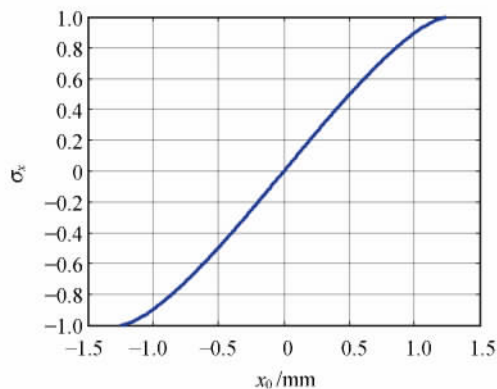


图 3 σ_x-x_0 函数曲线图

2.2 实验装置

四象限光电探测器综合实验仪是根据光学雷达和光学制导的原理而设计的,分为机械和信号处理两部分,采用 650 nm 红光点状激光器作光源,四象限光电探测器作为光电探测接收器测量光斑中心位置和光强等信息. 激光器和四象限光电探测器固定在机械调节部分,如图 4(a)所示,使用航插与实验仪信号处理电路连接. 实验仪信号处理部分如图 4(b)所示.

实验仪采用硬件和软件 2 种光电定向方式实现直观、快速定位跟踪目标方位. 学生实现光斑中心定位的方法有 2 种:

1) 硬件模拟定向,其中又分为 2 种定向方案:

a. 采用运放 LF353 进行 I/V 变化、信号放大和信号加减运算,其原理如图 5 所示;

b. 采用电阻网络进行信号加法运算,采用运放进行信号减法运算,运算的结果通过 A/D 模数转换后送给微处理器进行计算.

2) 软件定向,通过 A/D 转换电路对 4 个象限的输出数据进行采集处理,经过微处理器运算处理,将数据送至计算机,由计算机软件实时显示定向结果,软件运行界面如图 6 所示.



(a) 实验装置机械部分外观图



(b) 实验箱内部结构图

图 4 实验装置实物图

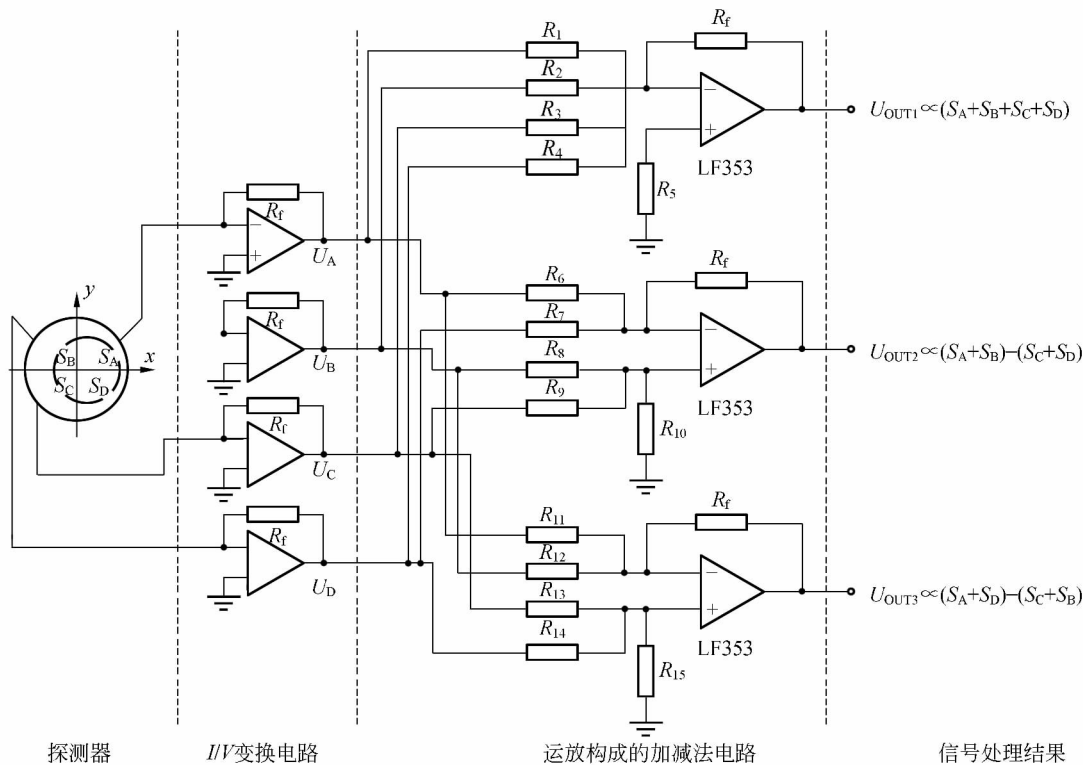


图 5 光电信号处理原理图

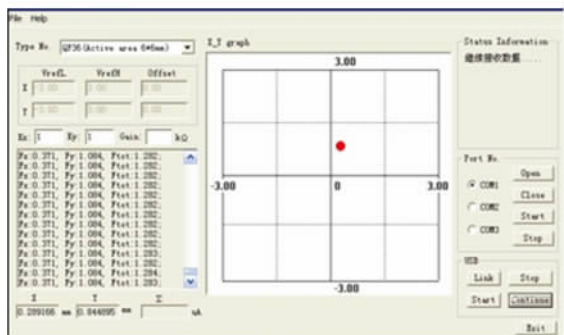


图 6 计算机软件运行界

2.3 实验数据处理

利用研制开发的实验仪按照实验要求进行了数据测量^[8],由于 x 方向和 y 方向测量方法和数据处理方法相同,在此仅以 x 方向为例,光斑移动量 Δx 和偏移量 σ_x 的测量结果如表 1 所示。

测量数据中仅给出了光斑的移动距离,数据初步处理是将测得的 σ_x 值最接近零处定位为 QPD 的中心位置,即 $\Delta x = 1.600$ 时 $x_0 = 0$,得到的三次拟合式和拟合曲线如式(3)和图 7 所示。

$$\sigma_x = -0.0688x_0^3 - 0.0203x_0^2 + 0.812x_0 - 0.0255 \quad (3)$$

表 1 实验测量数据

$\Delta x/\text{mm}$	σ_x	$\Delta x/\text{mm}$	σ_x
0	-0.994	1.600	-0.036
0.100	-0.970	1.700	0.036
0.200	-0.936	1.800	0.131
0.300	-0.894	1.900	0.220
0.400	-0.843	2.000	0.297
0.500	-0.797	2.100	0.363
0.600	-0.764	2.200	0.448
0.700	-0.696	2.300	0.531
0.800	-0.626	2.400	0.625
0.900	-0.544	2.500	0.687
1.000	-0.481	2.600	0.744
1.100	-0.427	2.700	0.798
1.200	-0.347	2.800	0.860
1.300	-0.258	2.900	0.909
1.400	-0.174	3.000	0.963
1.500	-0.105	3.100	1.000

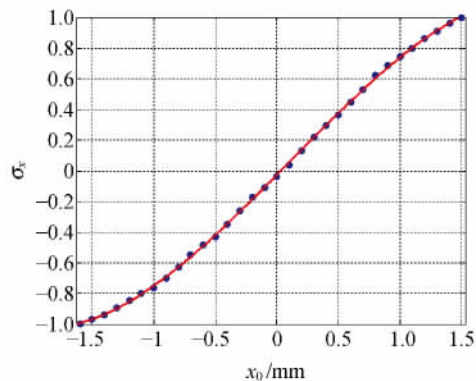


图 7 实验数据及三次拟合曲线图

采用高次拟合虽然能很好地逼近实际测量数据,但从图 7 可以看出,在非线性测量区域四象限光电探测器灵敏度较低,实际使用中多使用灵敏度高的线性区域^[9],因此,对线性好的区域进行拟合,得到式(4):

$$\sigma_x = 0.763x_0 - 0.0152 \quad (4)$$

因此,在线性区域内, $K=0.763$.

3 结束语

对四象限光电探测器光斑中心定位原理进行了研究,在此基础上研制开发了四象限光电探测器综合实验仪.该实验装置围绕四象限光电探测器能够完成验证性、设计性等多方面实验内容.利用该装置进行了实验数据测量,测量结果线性测量范围宽、灵敏度高、可重复性好,能够实现对光斑能量中心位置的非接触性测量.

参考文献:

- [1] LUO Ding, KUANG Cuifang, HAO Xiang, et al. High-precision laser alignment technique based on spiral phase plate [J]. Optics and Lasers in Engineering, 2012, 50(7): 944-949.
- [2] CHEN Mengwei, YANG Yingping, JIA Xinting, et al. Analyses of center location algorithm for laser spot [A]. International Photonics and Optoelectronics Meetings (IONT)[C]. Wuhan, 2012.
- [3] Freebody, Marie. Lasers evolve to meet the demands of optical communications [J]. Photonics Spectra, 2012, 46(12): 50-53.
- [4] 朱梦实,张权,李元旭,等.使用四象限探测器测量微小位移[J].物理实验,2013,33(1):8-11.
- [5] 关海艳,冯毅,何春风,等.光敏电阻综合演示仪的设计[J].物理实验,2014,34(2):25-27.
- [6] CUI Song, SOH Y C. Analysis and improvement of laguerre-Gaussian beam position estimation using quadrant detectors [J]. Optics Letters, 2011, 36(9): 1692-1694.
- [7] 陈梦苇,杨应平,贾信庭,等.四象限探测器光斑中心定位算法的分析与研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2013,37(5):1124-1127.
- [8] 杨应平,贾信庭,陈梦苇.光电技术实验[M].北京:北京邮电大学出版社,2012.
- [9] CHEN Mengwei, YANG Yingping, JIA Xinting, et al. Investigation of positioning algorithm and method for increasing the linear measurement range for four-quadrant detector [J]. Optik, 2013, 124(24): 6806-6809.

(下转第 39 页)

Measuring radius of curvature and refractive index of thick double-convex lens

GU Ju-guan, ZHENG Li-juan

(College of Science, Huzhou Teachers College, Huzhou 313000, China)

Abstract: By adopting refraction-reflection-refraction and refraction-refraction imaging process, in which the object and image could be on the same screen or on separate screens, the radius of curvature and refractive index of thick double-convex lens were measured, and the focal length of the thick double-convex lens was calculated. The experimental method revealed the process of imaging, enriched the methods of determining the optical parameters of lens.

Key words: thick double-convex lens; radius of curvature; refractive index; focal length

[责任编辑:郭 伟]

(上接第 32 页)

Experimental device of four quadrant photoelectric detector

YANG Ying-ping, CHEN Meng-wei, JIA Xin-ting

(Physics Experimental Model Center, College of Science,
Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: Based on the spot allocation procedure with four quadrant photoelectric detector, a comprehensive experimental device of four quadrant detector was developed. The experimental device could realize optoelectronic orientation by both hardware and software, and could track the target simply, intuitively, rapidly and accurately.

Key words: four quadrant photoelectric detector; spot; center allocation

[责任编辑:郭 伟]

(上接第 35 页)

Measuring moment of inertia of rigid body using Tracker

JIA Yu, CHENG Min-xi, AN Meng, WANG Jing-tao, LI Rong-mei

(School of Physics and Telecommunication Engineering,
South China Normal University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: The traditional experimental device of moment of inertia of rigid body was improved by replacing the weight with a spring. A video of the experimental process was recorded by a mobile phone, the data were processed by Tracker and Origin. The influence of acceleration and friction moment was taken into account, and the friction moment was measured.

Key words: rigid body; moment of inertia; data collection; Tracker; Origin

[责任编辑:郭 伟]