

文章编号: 1001-3806(2012)02-0243-04

基于虚拟仪器的激光光斑自动采集与分析系统

何鑫¹ 张斌^{1*} 周岷²

(1. 国防科学技术大学 光电科学与工程学院, 长沙 410073; 2. 海军驻湖南地区军事代表室, 长沙 410000)

摘要: 为了得到激光光束的某些参量, 为设计和改进激光器提供依据, 建立了一套激光光斑自动采集与分析系统, 搭建了实验平台, 并编写了一套基于虚拟仪器开发平台 LabVIEW 及其图像处理软件包 NI Vision 的用于采集和分析激光光斑的软件。该软件能实时显示光斑中心位置的漂移轨迹、在 x 方向和 y 方向漂移的标准差及其随时间变化的趋势等, 同时, 还能对基模高斯光束进行分析。经过去噪处理的光斑图样能以 3 维灰度图的形式显示出来, 得到任意剖面的光强信息, 并以此进行高斯曲线拟合, 得出拟合参量以判断光强曲线接近高斯曲线的程度。结果表明, 这种系统可以动态地采集光斑信息并进行处理, 具有实时性。

关键词: 激光技术; 采集与分析系统; 虚拟仪器; 光斑漂移; 高斯曲线拟合

中图分类号: TN247

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.02.025

Automatic acquiring and analyzing system of laser spot based on virtual instruments

HE Xin¹, ZHANG Bin¹, ZHOU Kun²

(1. College of Optoelectronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China; 2. Representative Office of Chinese Naval in Hunan, Changsha 410000, China)

Abstract: In order to acquire laser beam parameters, provide information for designing and improving the laser, an automatic acquiring and analyzing system of laser spot was established and an experiment platform was built up. Software used for acquiring and analyzing laser spot was programmed based on LabVIEW, a virtual instrument platform, and its image processing toolbox called NI Vision. This software can display the trail of the laser spot center, concluding the standard deviations and the temporal trend of both the x -axis drift and y -axis drift. Furthermore, it can be used to analyze the fundamental mode of the laser beam. An image of laser spot can be displayed in the form of 3-D gray graph after noise removing. The data at any section of the 3-D gray graph can be acquired and used for Gaussian curve fitting, concluding the fitting parameters in order to judge how much the actual laser beam is close to a theoretical Gaussian one. Results indicate that this system can dynamically acquire and process information of the laser spot at real time.

Key words: laser technique; acquiring and analyzing system; virtual instrument; drift of laser spot; Gaussian curve fitting

引言

在激光器各阶横模当中,基横模的光强分布呈圆形且径向分布均匀、光束发散角最小、功率密度最大,亮度也最高,因此,常被作为测量基准广泛应用于超精密加工设备及测量设备中。但是在实际应用中,激光光束的方向常会产生漂移,这一弱点限制了激光器准直精度的进一步提高,影响了其在实际中的运用^[1]。因此,有必要测量出该漂移量,从而为估计激光器在实际中的应用所带来的误差提供依据。另一方面,为了

获得所用激光光束的基本特征,如峰值功率、光强分布曲线、 M^2 因子等,需要分析激光光束的光强分布^[2]。这也为改进激光器的设计、提高光束质量以更好地满足应用需求提供充足而可靠的理论依据。

但是,目前对激光光斑中心漂移和测量以及激光光束质量的分析主要采用专用仪器,配专用软件,如光束质量分析仪等。但这些设备通常成本较高,功能非常齐全,而其中可能只有一小部分功能是所需要的,因而造成设备的极大浪费。自行开发激光光斑分析软件可降低成本,并且可以根据所要获取的信息灵活地编写软件。LabVIEW 是基于图形化编程语言 G 的开发环境,开发者无需写任何文本格式的代码。在图像处理方面,LabVIEW 提供了 NI Vision,它含有几百种机器视觉以及图像分析和处理的函数库,用户可以很方便

作者简介: 何鑫(1987-),男,硕士研究生,研究方向为光电检测技术。

* 通讯联系人。E-mail: kd208ZB@sina.com

收稿日期: 2011-05-09; 收到修改稿日期: 2011-05-26

便地进行图像采集、分析,创建功能强大的嵌入式图像应用系统^[3]。结合该软件强大的图像采集和处理能力以及计算结果的可视化功能和友好的语言界面,作者开发了基于 LabVIEW 的激光光斑采集与分析软件。

1 硬件系统的组成及测量原理

系统组成如图 1 所示,它由待测激光器、光学导轨、中性光衰减片、黑白面阵 CCD 摄像头、图像采集卡、计算机以及电源系统组成。其中激光器、衰减片系统以及 CCD 都放在光学导轨上,并且可以来回移动以调整光路。

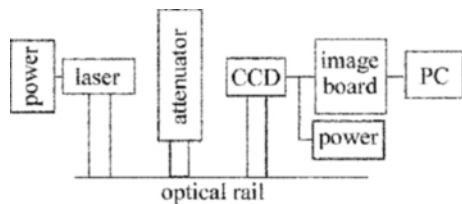


Fig. 1 Sketch of the laser beam measuring system based on CCD

本实验系统主要是针对高稳定度微晶玻璃 He-Ne 激光器,其输出光功率约为几个毫瓦,超过了一般的 CCD 的线性响应范围几个数量级,因此,要在 CCD 前放置衰减片,使 CCD 工作在线性区。系统中使用的 CCD 型号为 WAT-902B,响应波长范围为可见光,其总像素大小为 795(水平) × 596(垂直),有效像素为 752(水平) × 582(垂直),像元大小为 8.6 μm(水平) × 8.3 μm(垂直)。总光敏面大小约为 6.8 mm(水平) × 4.9 mm(垂直),因此,可测量半径为 1 mm 以下的光斑。激光器的输出光经衰减后照射在 CCD 的光敏面上,从而得到光束横截面内的强度分布。光强分布被图像采集卡采集并以 8 位灰度图的格式输入到计算机内存或保存在硬盘中,再由软件分析和处理。

2 软件系统的组成和主要功能

该软件系统主要由光路和光斑参量调试、光斑中心漂移测试以及光斑参量测试和分析 3 大功能模块组成。

2.1 光路和光斑参量调试

此模块主要用来调整光路使其达到可进行测试的状态。该模块的主界面如图 2 所示。在主界面上可以看到实时显示的光斑图样,通过调整光路,可以把光斑中心通过肉眼观察手动调整到十字线中心的位置便于进行测试。界面的右侧分别为十字线的水平线的光强曲线图和整幅图像的灰度直方图。从水平线的光强曲线图可以判断光强是否饱和,从灰度直方图可以得到整个图像的灰度值在 0 ~ 255 之间的分布情况以及达到饱和的像素数。根据这两幅图可以把衰减片调节到实验所需要的衰减量。

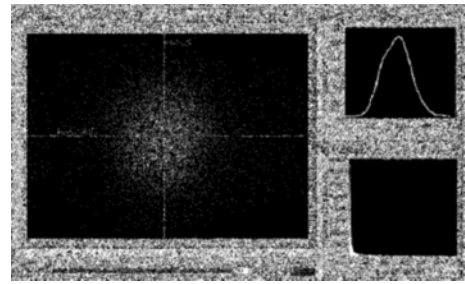


Fig. 2 GUI of ray path and spot parameter adjusting

2.2 光斑中心漂移测试

2.2.1 求激光光斑中心的算法 求光斑中心有很多方法,比如重心法、空间矩定位法、Hough 变换法和圆拟合法等,这些方法各有优缺点^[4]。由于在应用中,主要针对基模高斯光束,其均匀性和对称性都比较好,故本文中采用重心法来求激光中心位置。而本文中的重心法与多数文献中所描述的重心法有所不同。在这些文献中,都在先把图像进行二值化处理后求光斑中心^[4-6],这样求出的是光斑的几何中心(预先二值化处理),而本文中即可求光斑的几何中心,又可以求光斑亮度中心(不进行二值化处理)。

假设光斑图像处于 2 维平面坐标系中,大小为 $M \times N$,重心法计算光斑中心 (x_0, y_0) 为^[4]:

$$\begin{cases} x_0 = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N jg(i, j)}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N g(i, j)} \\ y_0 = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N ig(i, j)}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N g(i, j)} \end{cases} \quad (1)$$

式中 $g(i, j)$ 为第 i 行、第 j 列的像素值。该方法的子程序如图 3 所示。

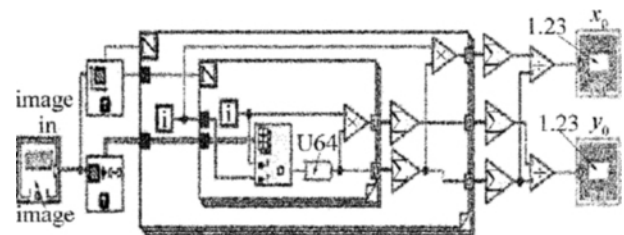


Fig. 3 Sub VI for calculating laser spot center by algorithm of gravity model

2.2.2 图像预处理 由于衰减系统、CCD 摄像头以及外界杂散光的影响,所获得的灰度图中包含了多种噪声。为了提高信噪比,改善图像质量,获得更精确的参量值,必须对激光光斑进行去噪处理。当从 CCD 获得图像后,首先采用中值滤波以除去尖的脉冲噪声,然后再根据需要进行其它处理。除了脉冲噪声外,最主要的是背景光的影响。安装在 CCD 镜头上的光衰减片已经能够抑制绝大部分的背景光。由于采用重心法,背景光对结果的影响比较明显,所以在计算时,只针对光斑所在区域,其它区域的像素值都设为 0。对于光斑所在区域的背景光,则采用图像平均法进行抑制。

2.2.3 界面设计 该模块的主界面如图 4 所示,其主要组成为:图像实时显示图、光斑中心漂移散点图、光斑中心 x 坐标曲线图、光斑中心 y 坐标曲线图、光斑中心坐标值及其统计值实时显示区和采集参量设置和显示区。从界面上可以清楚地看出光斑中心位置的变化趋势和有关光斑参量等。

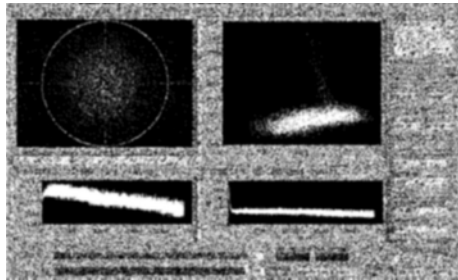


Fig. 4 GUI of drift of spot center test

2.2.4 功能及其实现 (1) 图像实时显示: 界面左上角能实时显示所采集到的图像。为了减小背景光的影响,只计算大圆圈以内的区域。另外,小圆环以外(即像素值小于所设定的值)区域的像素值都被设为 0,因而实际上只计算圆环和圆圈的公共区域。(2) 光斑参量显示: 界面最右侧的部分即是光斑参量显示区域。包括光斑中心坐标以及 x 方向和 y 方向偏离初始值的大小和在采集时间内统计标准差等。(3) 光斑中心漂移图: 这部分功能包括 3 幅图,即光斑中心漂移图及其 x 方向和 y 方向的漂移图。在进行测试前,可以选择采集间隔、是否进行图像平均和图像平均的张数。还可以选择是求光斑几何中心还是亮度中心。图 5 为某次实验的结果,采样间隔为 2s,即每 2s 采集 1 幅图像进行分析,不进行图像平均处理,只求亮度中心。由图 5 可以看出,在时间经过约 15min 后,光斑亮度中心的位置基本稳定下来。在此后约 13h 的测试中, x 方向和 y 方向的最大漂移量都在 $20\mu\text{m}$ 之内。

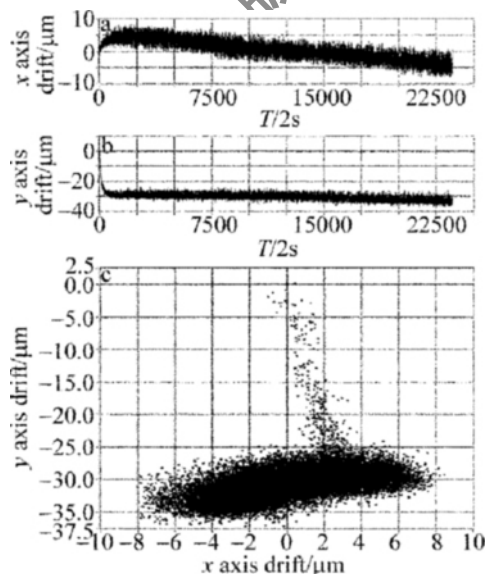


Fig. 5 Drift of the laser spot center

2.2.5 误差分析 本系统使用高解析度(570 TV LINES)的 WAT-902B 型 CCD,仅采用两个衰减片,因而减少了衰减片的不均匀性对光束质量的影响。并采用了多种图像处理方法,清除了杂散光及各种噪声对测量结果的影响,大大减小了测量误差。通过对高稳定度微晶玻璃 He-Ne 激光器的光斑中心漂移测试,可以得出该系统的测量误差在几个微米以内。

2.3 光斑参量测试和分析

此模块用来得到激光光斑中心、激光束宽等参量和估计激光光束基横模的光强分布接近高斯分布的程度。

2.3.1 算法选择 仍然采用第二功能模块中的算法求激光光斑中心,采用二阶矩法求激光束宽,采用光斑某些剖面的光强曲线与高斯曲线接近的程度来估计激光光束基横模的光强接近高斯分布的程度。

根据 ISO 标准,激光束宽用二阶矩定义, x 方向和 y 方向上带宽分别为^[7]:

$$\begin{cases} d_x = 4 \times \sigma_x \\ d_y = 4 \times \sigma_y \end{cases} \quad (2)$$

令光束横截面上的强度分布为 $I(x, y)$,其二阶矩为^[7]:

$$\begin{cases} \sigma_x^2 = \frac{\iint I(x, y) (x - x_0)^2 dx dy}{\iint I(x, y) dx dy} \\ \sigma_y^2 = \frac{\iint I(x, y) (y - y_0)^2 dx dy}{\iint I(x, y) dx dy} \end{cases} \quad (3)$$

式中 (x_0, y_0) 为光斑中心位置坐标。该方法的程序子框图如图 6 所示。

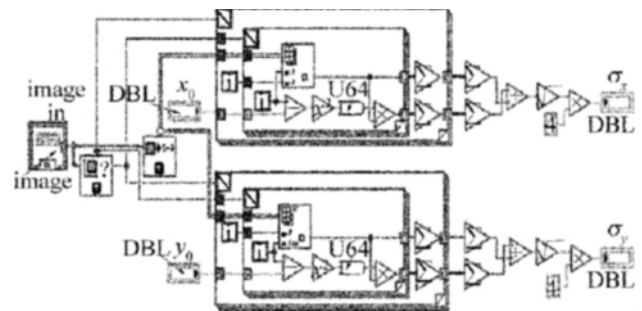


Fig. 6 Sub VI for calculating the laser beam width by the way of second-order moment

2.3.2 界面设计 该模块的主界面如图 7 所示,其主要组成为:图像实时显示,水平、垂直和任意剖面的光强分布曲线,光斑 3 维强度分布,高斯拟合参量显示区,光斑中心和激光束宽显示区以及采集参量设置区等。

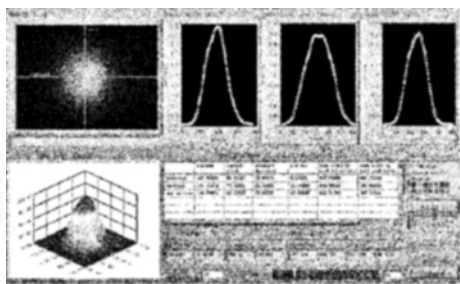


Fig. 7 GUI of spot parameter test and analysis

2.3.3 功能及其实现 (1) 光斑图样及其 3 维灰度图显示: 为了减小背景噪声的起伏对光斑图样的影响, 实验时采集 10 幅图像进行平均。图 8 即为经过平均后得到的光斑图样。图 9 为其 3 维灰度图, 图中横坐标为像素位置坐标, 纵坐标为光强灰度值。(2) 高斯曲线拟合及束宽测量: 图 8 中的十字线分别表示图像的水平 and 垂直方向的中心剖面, 斜线表示所分析的某一任意剖面, 这样的剖面理论上可以选择无数多个。利用这些剖面的光强信息进行高斯曲线拟合, 并以此作为标准之一来判断激光光束接近高斯光束的程度, 表 1 中给出了拟合参量, 其中还包括 $1/e^2$ 功率束宽、半功率束宽。除此之外, 还用二阶矩法对整个光斑图样的束宽进行了测量。图 10 为水平剖面的高斯曲线拟合图。其中, 横坐标为像素位置坐标, 纵坐标为光强灰度值, 圆圈表示原始数据, 实线表示光强拟合曲线。由表 1 中的拟合参量及图 8 可以看出, 该拟合方法效果较好。

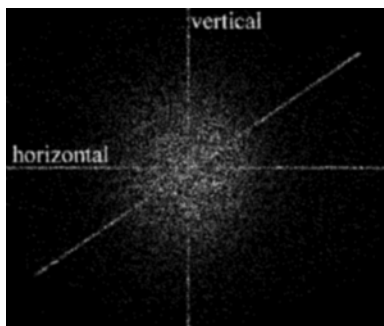


Fig. 8 Pattern of laser spot

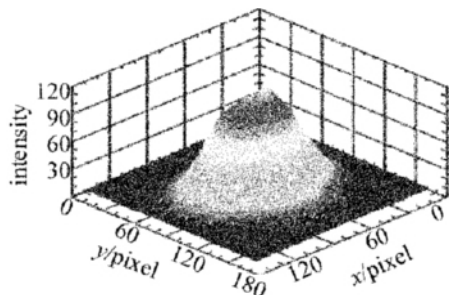


Fig. 9 3-D gray of laser spot

Table 1 Parameters of Gaussian curve fitting

section	maximum intensity	standard deviation/pixel	residue /pixel	beam diameter $1/e^2$ /pixel
horizontal	107.85	23.60	8.54	817.00
vertical	111.31	25.31	13.19	846.60
some a section	110.88	18.68	15.84	822.52

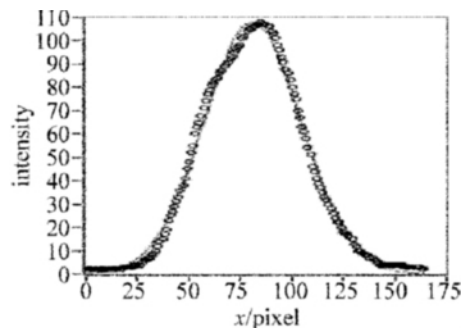


Fig. 10 Gaussian curve fit of the data on the horizontal section

3 结论

基于虚拟仪器的激光光斑自动采集与分析系统降低了实验成本、缩短了开发周期。与用传统的语言进行图像处理系统的开发相比, LabVIEW 大幅度地降低了难度和开发周期, 并能够实现光斑漂移、激光光束参量等的测试, 基本上能满足实验要求。图像预处理中采用多种噪声处理相结合的方法, 提高了实验结果的准确度。此外, 由于 CCD 安装在光学导轨上, 可以在光束传播方向上来回移动, 故可以测量多个位置的光斑尺寸, 由这些不同位置的光斑尺寸可以得到光束的束腰大小和共焦参量等。

参考文献

- [1] WANG Ch Y. Detection and control of the drift of a laser's facula [D]. Changsha: National University of Defense Technology 2006: 1 (in Chinese).
- [2] LI L, GONG M L, LIU X Zh, et al. A software for laser beam analysis [J]. Laser Technology, 2000, 24(6): 405-408 (in Chinese).
- [3] ZHOU J L, LIU J H, LI WEIPING, et al. The system of image processing for laser spot recognition based on virtual instrument [J]. Information Technology, 2003, 27(11): 10-12 (in Chinese).
- [4] LAN Zh L, YANG X F. Practical improvement of laser spot center location algorithm [J]. Computer Engineering, 2008, 34(6): 7-9 (in Chinese).
- [5] KONG B, WANG Zh, TAN Y Sh. Algorithm of laser spot detection based on circle fitting [J]. Infrared and Laser Engineering, 2002, 31(3): 275-279 (in Chinese).
- [6] XU Y M, XING Ch, LIU G L, et al. Comparison of several methods of laser spot center detection [J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2007, 27(2): 74-76 (in Chinese).
- [7] XIANG X Y, CHEN H Q, WU P, et al. Adaptive measuring algorithm of laser beam width based on CCD [J]. Laser Technology, 2006, 30(5): 552-554 (in Chinese).