

·光电系统·

基于CCD的远场激光光斑测量系统开发与应用

张颖新, 王云萍, 王 禹

(北京跟踪与通信技术研究所, 北京 100094)

摘 要: 针对被测激光器的特点, 设计了基于CCD的远场激光光斑测量系统, 通过设置CCD摄像机的控制参数, 确保正确采集光斑图像, 实现了图像的采集、显示、存储功能, 并编写光斑图像分析软件, 实现了光斑图像处理、参数计算、能量三维显示等功能。

关键词: CCD; 激光; 光斑图像采集; 参数测量

中图分类号: O348.11; TN247

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2011)04-0011-03

Development and Application of Far-Field Laser Spot Measurement System Based on CCD

ZHANG Ying-xin, WANG Yun-ping, WANG Yu

(Beijing Institute of Tracking and Telecommunications technology, Beijing 100094, China)

Abstract: According to the characteristic of the tested laser, the far-field laser spot measurement system based on CCD is designed. By setting the control parameters of CCD camera to acquire spot images accurately, functions include the image acquisition, display and storage are carried out, and the software of spot image analysis is programmed. The spot image processing, parameters calculation and 3D display of energy distribution are carried out.

Key words: CCD; laser; spot image acquisition; parameter measurement

随着激光技术广泛应用于激光通讯、激光雷达、激光测距等领域, 测量与激光性能有关的质心、尺寸、发散角、能量分布等参数就显得尤为重要。针对被测激光器脉冲宽度窄、重复频率高、光斑形状不规则、峰值功率强等特点, 设计了基于CCD的远场激光光斑测量系统, 该系统具有使用方便、非接触测量、灵敏度高、动态范围大等优点。

1 系统组成及测量原理

远场激光光斑测量系统由漫反射靶板、光学镜头、CCD摄像机、计算机、图像采集软件、光斑分析软件等部分组成, 如图1所示。

漫反射靶板用来接收远场全部激光光斑; 漫反

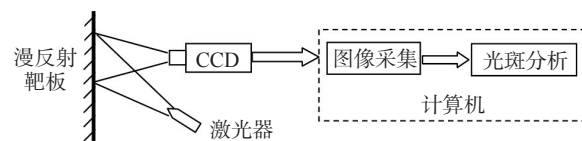


图1 远场激光光斑测量系统组成示意图

射的光斑经光学镜头后成像于CCD上, 测试时需加装合适的滤光片、衰减片, 用于滤除杂光及避免探测器损伤; CCD摄像机用于将光信号转换为电信号, 并将光斑图像实时上传至计算机; 计算机作为应用软件的载体, 用于提供软件操作显示界面, 实时显示、存储光斑图像; 图像采集软件用于设置CCD摄像机的相关控制参数, 实现光斑图像正确采集, 并将图像显示、存储到计算机中; 光斑分析软件用于对采集的光斑图像进行去噪、图像分割等处

收稿日期: 2011-06-12

作者简介: 张颖新(1981-), 男, 辽宁朝阳人, 硕士, 工程师, 研究方向为光电系统工程技术。

理,从而计算光斑的质心、尺寸等参数,并实现光斑能量的三维显示等。

2 光斑图像采集

光斑图像采集是远场激光光斑测量的基础,测试时通过光斑图像采集软件设置 CCD 的工作参数,控制 CCD 摄像机实现光斑图像的采集、显示、存储功能,与测试有关的重要参数设置包括:

(1) 关闭自动增益控制:根据光斑测量原理,图像像素的灰度值代表了光斑的强度,这就要求 CCD 电压增益必须是线性的,而 CCD 的自动增益控制功能会影响其内部放大器处于非线性工作状态,所以测试时应关闭此功能。

(2) γ 校正设置为 1:系统为了保证激光光强分布的相对准确性, γ 系数应设置为 1,使得光斑强度和图像灰度之间成线性关系。

(3) 信噪比设为最大:较大的信噪比有利于抑制 CCD 摄像机内部噪声。

(4) 较小的积分时间:较小的积分时间不仅有利于抑制背景噪声,还可以避免由于长时间曝光造成的 CCD 饱和。

3 光斑分析

光斑图像存储到计算机后,可以运用光斑分析软件实现对光斑图像的识别、特征数据的分析。光斑分析软件基于 Visual C++ 6.0 开发,是整个光斑测量系统的核心,主要包括光斑图像预处理模块、光斑图像分割处理模块、光斑参数计算模块、三维显示模块等。

3.1 光斑图像预处理

CCD 传送到计算机的光斑图像存在很多噪声,如背景杂散光噪声、衰减系统的非均匀噪声、CCD 的非均匀性噪声、暗电流噪声等,这些噪声会影响分析光斑的正确性,所以对光斑图像进行去噪处理是一项很重要的工作。假设采集过程中背景光强不变,而漫反射靶板是均匀的朗伯反射体,那么没有接收到激光光斑的 CCD 像元的灰度值应该是相同的,可以采用背景相减和中值滤波技术消除噪声。

首先在测试前拍摄一组没有任何光斑的图像,将这些图像相加平均后就得到了背景图像,然后在光斑图像采集完成后,用光斑图像减去背景图像,最后对相减后的图像进行去除孤立点处理。此外,可采用中值滤波方法消除衰减系统和 CCD 带来的噪声,中值滤波可以有效消除系统的噪声,同时又能较好地保持光斑的边界信息,此时得到的图像消除了绝大多数系统噪声,图像比较平滑。

3.2 光斑图像分割

由于激光参数测量关心的只是光斑本身,就整幅图像而言,不需要涉及所有像素,因此需要将光斑从整幅图像中分割出来,这样可以简化图像处理算法,提高软件运算速度。

常用的图像分割算法通过选取合适的阈值对光斑图像进行分割。由于受激光光照强度的影响,采集到的光斑图像存在光照不均匀、有突发噪声等特点,因此背景的灰度值在整幅图像中存在很大差别,如果用一个固定的阈值对图像进行分割,效果将受到影响。

为提高光斑图像分割的准确性,系统采用了自适应阈值算法,虽然该方法的时间和空间复杂度比较大,但是抗噪声能力比较强,对采用全局阈值不容易分割的图像效果较好。该方法是对每个像素确定一个邻域窗口,然后计算窗口内像素灰度的最大和最小值,并取它们的均值作为阈值。自适应阈值能够根据图像的灰度自动选择合适的阈值,每个像素所使用的阈值可能不同。

3.3 光斑参数计算

光斑参数计算模块是在光斑图像预处理、光斑图像分割完成后进行的,计算方法如下:

(1) 光斑形心。光斑图像阈值分割完成后,可以提取光斑形状,计算光斑的形心,计算式如下

$$\begin{cases} X_0 = \sum X_i / N \\ Y_0 = \sum Y_i / N \end{cases} \quad (1)$$

式中, (X_0, Y_0) 为光斑形心坐标; (X_i, Y_i) 为像素位置; N 为总像元数。

(2) 光斑质心。实际的光斑分布是非对称的,因此光斑的几何中心不一定是光斑的强度中心,可采用质心法计算光斑图像的中心,质心坐标公式

如下

$$\begin{cases} \bar{X} = \sum(X_i \times I_i) / \sum I_i \\ \bar{Y} = \sum(Y_i \times I_i) / \sum I_i \end{cases} \quad (2)$$

式中, (\bar{X}, \bar{Y}) 为光斑质心坐标; (X_i, Y_i) 为像素位置; I_i 为像素 (X_i, Y_i) 的灰度, N 为总像元数。

(3) 光斑尺寸。目前, 光斑尺寸有多种定义, 如 $1/n$ 法、刀口法、环围能量法、二阶矩法等, 通常采用二阶矩法测量形状不规则的激光光斑尺寸, 即光斑半径正比于横截面上光强分布的二阶矩, 定义 x 和 y 方向上的光束半径分别为

$$\begin{cases} d_x = 2\sigma_x \\ d_y = 2\sigma_y \end{cases} \quad (3)$$

式中, σ_x 和 σ_y 由光强分布的二阶矩计算得出, 具体计算方法为

$$\begin{cases} \sigma_x^2 = \sum(X_i - \bar{X})^2 \times I_i / \sum I_i \\ \sigma_y^2 = \sum(Y_i - \bar{Y})^2 \times I_i / \sum I_i \end{cases} \quad (4)$$

另一种实用的方法是选取合适的等强线来分割功率密度分布曲面, 切割平面选择应使光束区内包含有总功率的 86.5%。此时, 计算切割平面的定义方程为

$$P_r = (1 - e^{-2})P = 0.865P \quad (5)$$

式中, P_r 为光束半径内的功率; P 为总功率。此时光斑半径 r 为(圆形分布)

$$r = \sqrt{\frac{2 \sum I_i \times [(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2]}{\sum I_i}} \quad (6)$$

3.4 三维显示

为了直观反应光斑能量的分布特性, 需要对光斑的强度进行三维显示, 工程应用中可以在 VC++ 下直接用 OpenGL 或 Direct3D 进行编程来实现, 但由于此方法需要大量的科学计算, 编程较复杂。如采用具有强大的数据处理和图形显示功能的 Matlab 软件进行开发, 则运算效率较低, 且不适合作为通用的编程平台。

因此, 从系统整体效率考虑, 光斑分析软件采用 VC++ 与 Matlab 混合编程的方法来实现光斑能量的三维显示。此方法在保证程序准确性的前提下, 能够减少编程的工作量, 提高软件执行效率, 并可以继承 VC++ 良好的用户界面。

4 测试结果与误差分析

4.1 测试结果

远场测试时, 被测激光器距离漫反射靶板 150 m、2 400 m 发射激光信号, 采集的原始光斑图像、经过处理的图像、能量三维显示图像分别如图 2、图 3 所示。

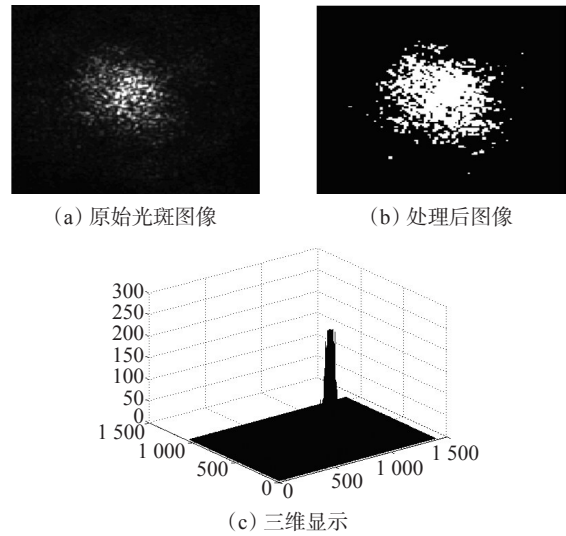


图2 150 m 距离测试结果

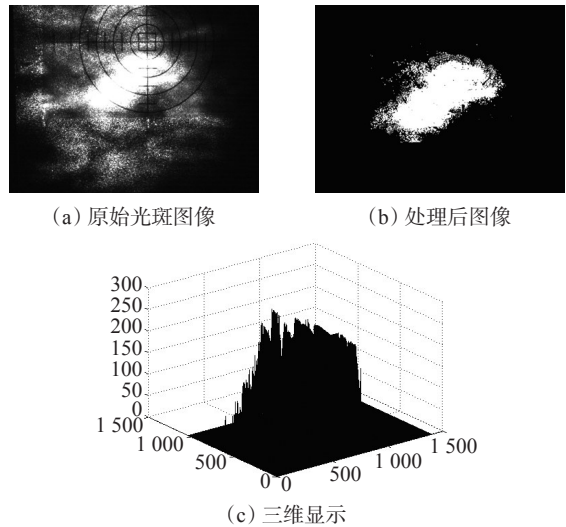


图3 2 400 m 远测试结果

4.2 误差分析

系统的测量误差主要包括以下几个方面: (1) 测试过程中, CCD 摄像机镜头的主光轴与漫反射靶板的法线是不重合的, 二者之间存在一个夹角, 此项误差可以作为系统误差来处理, 可利用修正系数消

(下转第 52 页)

IQE 曲线,对实际电池生产或研发具有一定指导意义。

参考文献

- [1] Jianhua Z, Aihua W, Green M A. 24.5% efficiency silicon PERT cells on MCZ substrates and 24.7% efficiency PERL cells on FZ substrates[J]. Progress in Photov.: Research and Appl., 1999, 7: 471-474.
- [2] 阙端麟. 硅材料科学与技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1998.
- [3] 管绍茂, 王迅. 半导体表面钝化技术及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1981.
- [4] Licht S, Maschhitz V, Lin B, et al. Chemical synthesis of battery grade super-iron barium and potassium Fe

(VI) ferrate compounds[J]. Power Source, 2001, 99: 7-14.

- [5] Vichai Meemongkolkiat, Kenta Nakayashiki, Dong Seop Kim. Factors limiting the formation of uniform and thick aluminum-back-surface field and its potential[J]. Journal of the Electrochemical Society, 2006, 153 (1): G53-H58.
- [6] J L Murray, A J McAlister. Bulletin of Alloy Phase Diagrams, 5.74(1984).
- [7] J D Alamo, J Eguren, A Luque. Operating limits of Al-alloyed high - low junctions for BSF solar cells[J]. Solid-State Electron., 1981, 24: 415-420.
- [8] Clugston D A, Basore P A. PC1D version 5: 32-bit solar cell modeling on personal computers[C]//26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anaheim CA, 1997: 207-210.

(上接第13页)

除。(2)衰减片具有不均匀性,各点衰减倍率不可能完全一致,经过衰减后光斑能量分布会有所改变,由此引入的误差将影响参数测量精度。(3)影响光斑质心测量精度的因素还包括 CCD 探测器的不均匀性,主要包括 CCD 的单个像元对激光响应的不均匀性。(4)CCD 摄像机存在位置量化误差,对于光束截面尺寸的测量精度由 CCD 器件的像素大小及像素密度决定。(5)CCD 摄像机存在灰度量误差,光强大小的测量精度由 CCD 器件的动态范围及图像采集系统的量化误差决定。

5 结束语

近年来,激光技术在工农业生产、卫生医疗、通

讯产业等领域得到了广泛应用,对激光参数的检测也提出了越来越高的要求。针对测试需求,设计开发了基于 CCD 的远场激光光斑测量系统,实现了远场激光光斑的采集与参数分析,在外场测试时获得了良好的效果。

参考文献

- [1] 张红娜,王祁. 图像测量技术及其应用[J]. 电测与仪表, 2003(40): 19-22.
- [2] 胡林亭. CCD 测量激光光斑方法研究[J]. 激光技术, 2001, 25(2): 154-157.
- [3] 刘兆辉,严彦文,许路铁. 未制导炮弹远距激光光斑监视系统[J]. 激光与红外, 2006(2): 88-91.
- [4] 庞长富,刘榴娣. CCD 摄像机用于测量中存在的问题及解决方法[J]. 光学技术, 1996(2): 5-8.
- [2] 张小蒂. 应用回归分析[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1991: 161-209.
- [3] 陈永胜. 多元线性回归建模以及 MATLAB 和 SPSS 求解[J]. 绥化学院学报, 2007, 27 (6): 166-168.
- [4] 王振友,陈莉娥. 多元线性回归统计预测模型的应用[J]. 统计与决策, 2008(5): 46-47.
- [5] 曾建军,李世航,王永国,等. MATLAB 语言与数学建模[M]. 合肥: 安徽大学出版社, 2005.
- [6] 曹义,才鸿年,程海峰,等. 林地型伪装网红外发射率取值分析[J]. 激光与红外, 2008(7): 671-675.
- [7] 王友军,胡江华,吕绪良,等. 林地型背景热红外伪装的温差阈值试验研究[J]. 红外技术, 2008(6): 361-364.
- [8] 盛骤,谢式千,潘承毅. 概率论与数理统计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.

(上接第34页)

最大为 3.3°C。估算模型的计算结果还是可信的。同时模型的使用也是方便的,因为对于某特定地域的气温、湿度和照度可以由当地的气象部门获知,这样就很方便地估算出了当地植被的温度。但是必须经过长年累月的数据积累和处理才能得到相对精确的估算模型,以上分析只提供了一种建立估算模型的新思路。

参考文献

- [1] 刘昌蓉,何政伟,黄爽兵. 多元回归分析在地质灾害危险性评价中的应用[J]. 环保科技, 2008, 14(1): 31-33.