

MATLAB 用于激光光束质量分析

李 伦 巩马理 刘兴占 李振宇 王宇兴
(清华大学精密仪器系,北京,100084)

摘要: 介绍了利用 CCD、计算机并基于 MATLAB 开发的激光光束质量分析的软件,详细地介绍了该软件的组成、实现的基本功能及其特点。

关键词: 激光质量分析参数 MATLAB 图像处理 CCD

A software for laser beam analysis

Li Lun, Gong Mali, Liu Xingzhan, Li Zhenyu, Wang Yuxing
(Department of Precision Instruments, Tsinghua University, Beijing, 100084)

Abstract: This paper describes a laser beam quality analyzer based on CCD, computer and MATLAB. The detailed composition, basic function and characteristics of the software are presented.

Key words: laser beam quality MATLAB image processing CCD

引 言

激光谐振腔输出光束的质量是决定激光实际性能的关键因素,同时也是设计激光器光束链和聚焦系统的重要参数。通过分析激光光束的光强分布,可获得评价激光光束质量的基本特征,如:峰值点位置,峰值点功率, M^2 因子,从而为改进激光器设计,提高光束质量提供充足而可靠的理论依据。但是,目前对激光光束质量的分析方法主要采用专用仪器,配专用软件。这种成套设备虽然精度高,操作方便,但却存在相对成本较高,灵活性较差,功能不完备,不便于特殊的用户获取一些额外的信息等问题。自行开发激光光束质量分析的软件可降低成本,灵活地获取所需信息,但主要困难是对于矩阵的巨大计算量和三维图形的可视化。MATLAB 是实现这两大功能最理想的软件,它自 1984 年问世以来,历经十几年的发展和竞争,现已成为国际公认的最优秀的高科技数值计算应用软件。结合该软件对矩阵的强大数值计算能力、计算结果可视化功能和友好的语言界面,针对激光光束分析的主要困难,我们开发了基于 MATLAB 的激光光束质量分析的软件。

1 软件的组成原理及功能

1.1 系统组成

系统由衰减系统、导轨、CCD 摄像头、

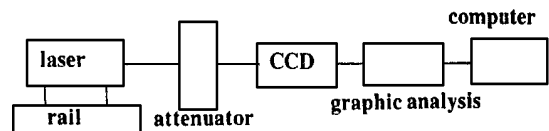


Fig. 1 System structure

图像卡及计算机组成^[1](见图1)。衰减器将激光光强衰减到毫瓦量级,便于 CCD 接受而不损坏感光部分。CCD 位于与激光光束平行的导轨上,感光面与激光光轴垂直,移动 CCD 可在激光光束不同的截面分别采集图像,以便计算束腰位置和 M^2 因子。CCD 采集的信号通过图像卡后可在计算机屏幕上得到一幅与光强分布成正比的灰度图,计算机可随时访问灰度图,计算评定光束质量的各个参数。

1.2 图像的预处理

由于激光光束传输过程及衰减系统、CCD 摄像头的的影响,所获得的灰度图中包含了各种噪声,最主要的是外界杂散光噪声,其次有衰减系统非均匀性的影响,CCD 摄像头的高频噪声。为了提高信噪比,改善图像质量,获得更精确的参数值,对激光光斑进行去噪处理是一个很重要的预处理工作。这里,首先采用二次测量相减法:分别得到实际光斑图像和用挡板遮住光束的背景图像,两图像相减可消除大部分杂散光噪声,再利用邻域平均法去除衰减系统和 CCD 带来得高频噪声,此时,得到的图像消除了绝大多数系统噪声,图像比较平滑,可以用 MATLAB 对该图像进行处理^[2],获取激光分析的必要参数,并从各种角度观察光束的光强分布。

1.3 主界面的组成

利用 MATLAB 强大的菜单编辑功能,经过软件编程得到一个功能强大而且外观精致的主界面^[3,4],图2为激光光束质量分析的主界面图,其主要组成为:原始图像获取框,光束主框图,4个主截面光强分布图,任意截面光强分布图,三维图像操作框,任意点的光强分布操作框及其它(图像放大与缩小、信息的获取、关闭)。

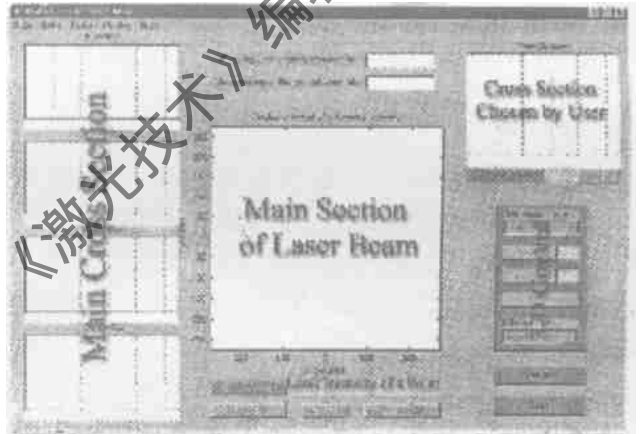


Fig. 2 Main cross section of laser beam quality analysis system

1.4 参数获取

1.4.1 沿 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 方向上的光强剖面图 在激光光束质量分析的主界面的左边是 4 幅曲线图,分别代表所获得光束沿 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 方向上的光强剖面图,在每幅图的下面有一个小的信息框, D_1, D_2, D_3, D_4, D_5 分别表示在该截面上的激光参数值: D_1 代表用峰值光强的 $1/2$ 表示的光束直径, D_2 代表用峰值光强的 $1/e^2$ 表示的光束直径, D_3 代表用峰值光强的 $1/10$ 表示的光束直径, D_4 代表沿该截面的一阶矩:

$$D_4 = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} x I(x, y) dx dy$$

$$D_5 \text{ 代表沿该截面的二阶矩: } D_5 = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} x^2 I(x, y) dx dy$$

式中, I 代表该截面上的光强分布, x, y 为坐标分布^[5]。

用户可以通过按 information 键,显示一个消息框中获取相应的提示信息,从 4 个主界面的光强分布图和相应的 5 个参数值,可获得所采集光束的基本信息和光强分布的基本方向。

1.4.2 沿任意截面的光强分布 在激光光束质量分析的主界面的右上角是光束沿任意截面的光强分布图,截面图下的编辑框提示用户输入旋转角度,当用户输入一任意角度以后,在

光束主框图会自动画出一条经过光束中心,以 x 轴为起点,逆时针旋转 θ 角的截线,在截面分布图上显示的是沿该截线所截取的截面的光强分布图,图下的信息框中的 D_1, D_2, D_3, D_4 和 D_5 所代表的值与上面所述相同。任意修改输入的 θ 值,按下回车键后就能显示任意截面的光强分布及 5 个参数值。

1.4.3 观察光束 在任意截面的光强图下面是三维图像操作框,用于以各种不同的方式、从各个不同的角度观察激光光强分布。

(1) 选择第一个下拉菜单中各项,在光束主框图上可得到光强分布三维图的各种形式:曲面图 Peak、网格图 Mesh、沿 x 轴方向出现的网格图 Waterfall。此时,在三维图中按下鼠标左键,会出现以 x, y, z 轴为边的立方体,拖动鼠标可看到三维图以鼠标点为中心在旋转,用户可以观察任意角度的三维图像。

(2) 按下 Mesh 键可得到光强分布的网格图,用户在右边的编辑框中输入所需要观察的网格线条数,而在光束主框图中就得到相应的网格图。

(3) 按下 Contour 键可得到光强分布的等高线图,用户在右边的编辑框中输入所需要观察的等高线条数,从而在光束主框图中得到任意数目的等高线。

(4) Rotate 键用于动态观察光强分布的曲面图,按下 Rotate 键后,光束主框图会自动出现光强的曲面图,并沿 z 轴以每次旋转 30° 的速度旋转 360° 后复原。

(5) 选择 View 下拉菜单中的各项,可从左上、左下、右上、右下、正上、正下、正左、正右 8 个不同的角度观察光强分布的三维图。

1.4.4 显示任意点的光强值 在光束主框图下面的文本框显示主框图上任意点的光强值,当按下 Select Point 按钮后,在鼠标移动处会出现一个十字光标,按下鼠标左键,按钮右边的消息框将显示当前点的坐标和光强值。

1.4.5 对图形进行任意的放大和缩小 光强信息框下面是两个按钮:Zoom on 和 Zoom off。按下 Zoom on 后,可对任意一幅图进行放大和缩小,具体操作有如下两种:

(1) 鼠标左键单击所需要放大的部位,则该部分被放大一倍,再单击一次,又能被放大一倍,用鼠标右键单击图像,该图像被缩小一倍。

(2) 可拖动鼠标,形成一个所需要放大的窗口,选择窗口的大小,进行局部按窗口的大小与坐标轴的比例进行放大,同样按鼠标右键对图像进行缩小。

按下 Zoom off 后,图像复原。

1.4.6 截面图的高斯拟合 对于大多数需要分析的光束而言,其理想的光斑光强分布应该满足高斯分布,故光束质量分析的另一个重要方面是比较实际光束与理想高斯光束的光强分布情况。在此,可以对实际光束进行高斯拟合,通过比较两束光强的分布,评定光束质量^[2]。

1.5 文件操作

由图像卡采集的图像文件可被保存、压缩和格式转换等。通过文件保存,可以随时处理图像文件,获取相关参数;通过图像压缩和解压缩,可节省存储空间;通过文件的格式转换,可以与其它各种图像处理软件共享数据。

2 结论及其它应用

MATLAB 用于图像处理有着不可比拟的优越性,它集数值计算与图像显示为一体,兼备强大的菜单编辑功能,在激光光束质量分析方面有远大的前景。

图3为用户使用过程中的一个界面图: He-Ne激光器所发出的一束波长为 $0.6328\mu\text{m}$ 的光,通过衰减系统衰减 $10\text{E}-8$ 以上,进入CCD,由图像卡进行模数转化、灰度预处理得到一幅保存为*.BMP的位图,用户运行激光器光束质量分析软件,可获得该光束的各种质量参数,并能从各种角度观察和处理该光束。

例1:观察任意截面的光强分布(见图4),用户可观察通过激光光束中心、绕主光轴旋转任意角度的一个截面上的光强分布及高斯拟合。

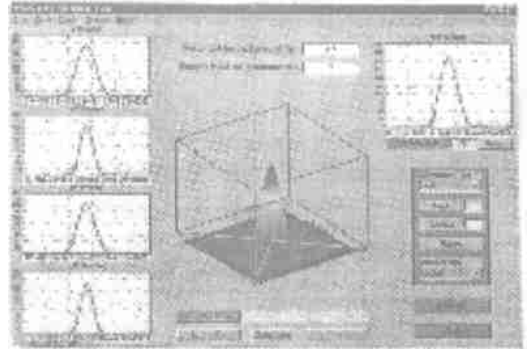


Fig. 3 Main cross section of He-Ne laser beam quality analyse system

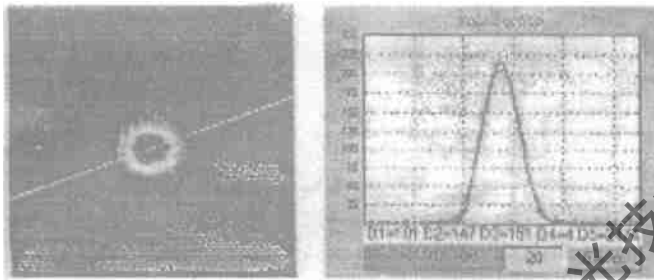


Fig. 4 Light intensity on any cross section

例2:观察光束等光强分布情况(见图5),用户可自己任意设置需要显示的等光强条纹数。

由此可见,基于MATLAB的激光光束质量分析系统的主要优点有:(1)操作方便,精度高。(2)使用灵活,界面友好,用户可获得多种信息。(3)CCD和图像卡非

专用设备,可有多种用途。(4)成本低,适用于各种中小激光器厂家和大学实验室。

3 精度分析

该测量方法由于采用高分辨率的CCD(MTV-1881EX,0.021x,600线),以及采用激光光束经过棱镜多次反射实现激光衰减的方法,因而不会改变光束质量。而通常用衰减片衰减,由于衰减片厚薄不均,透光率分布不均匀等因素,产生测量误差,使光束的质量发生改变。此外,本次试验过程中,采取了预处理方法,清除了杂散光及各种噪声对测量结果的影响,从而大大提高了光束质量的测量精确度。综合各方面影响因素,其测量误差只有几个微米,满足实用要求。



Fig. 5 Distribution of equal-intensity laser beam

参 考 文 献

- 1 王庆有,孙学珠. CCD应用技术. 天津:天津大学出版社,1992
- 2 季 梁. 数字图像处理. 北京:清华大学自动化系,1998
- 3 Hnselman D, Littlefield B. 精通 MATLAB 综合辅导与指南. 西安:西安交通大学出版社,1998
- 4 张志涌,刘瑞桢,杨祖樱. 掌握和精通 MATLAB. 北京:北京航空航天大学出版社,1997
- 5 Siegman A E. Handbook of Laser Beam Propagation and Beam Quality Formulas. San Francisco:Stanford University, 1991