

文章编号: 1001-5078 (2006) 09-0854-04

基于 MATLAB 的 CO₂ 激光光斑质量鉴别技术

陈 静^{1,2}, 谭荣清¹, 安 然¹, 程永强¹, 柯常军¹, 郑义军¹, 王东蕾¹

(1. 中国科学院电子学研究所, 北京 100080; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 针对光栅调谐 TEA CO₂ 激光器, 为了得到良好的光斑质量, 利用红外热像仪、图像采集卡、直驱交流伺服电机和计算机建立了一套光斑鉴别系统, 并通过实验成功地实现了对 CO₂ 激光光斑质量的鉴别。

关键词: TEA CO₂ 激光器; 光栅调谐; 图像处理

中图分类号: TN248.2+2 **文献标识码:** A

The Identification Technology of CO₂ Laser Spots Quality Based on MATLAB

CHEN Jing^{1,2}, TAN Rong-qing¹, AN Ran¹,

CHENG Yong-qiang¹, KE Chang-jun¹, ZHENG Yi-jun¹, WANG Dong-lei¹

(1. Institute of Electronics, Chinese Academy of Science, Beijing 100080, China;

2. Graduate University of the Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)

Abstract: By using the IR thermal imaging system, image grab card, direct drive AC servomotor and the computer, a laser spot identification system is developed to gain the best spot for the tunable TEA CO₂ laser. Through experiments, the identification of CO₂ laser spots quality is realized successfully.

Key words: TEA CO₂ laser; grating tuning; image processing

1 引 言

高重复频率光栅调谐 TEA CO₂ 激光器因兼有高脉冲峰值功率、高平均功率和调谐方便等优点, 使得它在激光表面清除、大气污染探测雷达、激光化学、光泵远红外研究等领域有着广泛的应用。这类激光器在工作时, 一方面因为光栅加工误差、光栅零位误差、电机定位误差这三者误差的存在, 另一方面因为光栅转动有滞回现象以及环境影响 (主要是振动或者温度变化影响) 等原因, 均使得输出每支谱线时, 光栅的最佳调谐位置 (即输出光斑质量最好的位置), 并不在理论位置, 而是在其附近的一个小范围内的某个位置。为了在使用激光器时得到最佳光斑输出, 解决这一问题的传统方法, 是在激光器每次使用之前, 用热敏纸接收光斑, 并凭人工经验判断其好坏, 然后通过手动调整光栅获得良好的光斑质量。这种方法不仅繁琐费时, 而且带有很大的主观

性, 很难保证激光器高质量高效率的运转。为了解决这一问题, 采用探测器接收光斑并将其图像存入计算机, 在计算机中对这些图像进行处理, 通过参数计算鉴别出符合标准的光斑, 建立了一套光斑鉴别系统。该系统用计算机操作代替人工操作、用参数计算代替经验判断, 能够稳定激光输出, 提高工作效率, 具有重要的实用价值。

为了对光斑的鉴别, 需要应用数值计算和数字图像处理技术, 而 MATLAB 软件在这两方面功能十分完善, 因此所提出的技术基于 MATLAB 软件开发^[1], 通过对采集到的光斑图像进行分析, 最终实现了对光斑的鉴别。

作者简介: 陈 静, 女, 在读硕士生, 主要从事激光技术研究。

E-mail: ppsjing@sohu.com

收稿日期: 2006-04-05; 修订日期: 2006-04-19

2 系统组成及工作流程

CO₂ 激光位于 9~11μm 的长波红外波段,其光斑的探测方法多种多样,为了简便准确地获取光斑图像,系统采用非制冷焦平面红外热像仪作为探测装置,其像元数为 320×240,工作波长范围为 8~14μm,温度分辨率为 0.06,精度为 ±1%,帧频为 50Hz。

整个实验系统建立在图 1 所示的硬件设备的基础上,控制电路板一方面控制直驱交流伺服电机带动光栅转动,另一方面提取红外热像仪的场同步信号触发激光器发射的激光脉冲^[2],此脉冲通过 ZnSe 衰减片到达漫反射板,红外热像仪采集到它的漫反射像,并通过图像采集卡存入计算机硬盘,由所开发的软件对采集到的光斑进行鉴别并给出结果。

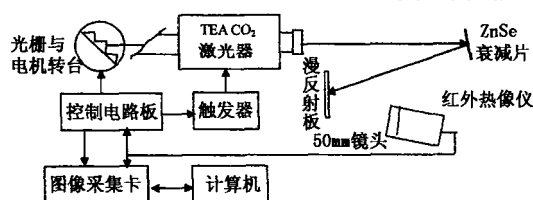


图 1 光斑鉴别系统示意图

这里介绍一下光斑鉴别的工作流程。首先控制电路板控制电机,带动光栅转动到某一支谱线的理论位置,此时热像仪预先采集一副背景图,编号为 p0;然后在这个位置附近 ±6 范围内等间隔连续触发激光器,使得热像仪采集到 15 个光斑,依次编号为 p1 至 p15,并存入计算机;最后在这一组光斑里通过软件进行图像分析,挑选出质量最好的光斑,输出此光斑的光栅位置(即为这支谱线的最佳调谐位置)。

3 光斑图像分析

如何通过图像处理评价光斑质量是该鉴别系统的关键技术,根据人们的经验,判断光斑的好坏一般依据光斑的形状和强度两个方面。形状方面包括光斑的轮廓是否接近理想光斑,边缘是否饱满等,强度方面包括光斑强度的大小、均匀性和对称性等。计算机模拟的这些判断标准越精确,鉴别的误差就会越小。针对该系统所使用的 TEA CO₂ 激光器输出的光斑情况,并综合考虑精确度和复杂度两个方面,我们选取光强的尺寸、均匀性和对称性作为图像鉴别的依据。

3.1 轮廓检测

3.1.1 图像的预处理

激光光束在传输的过程中,由于受到的外界环境和衰减系统的影响,加之热像仪本身背景不均匀,

使得通过图像采集卡所存储的光斑图像中包含了各种噪声^[3],其中主要就是外界杂散光噪声,其次还有热像仪信号处理电路中的高频噪声。为了获得更好的图像质量,便于图像分析,提高光斑鉴别的精确度,需要对光斑图像进行预处理。这里首先采用背景减法去噪:在每次实验所存储的图像 p0 至 p15 中,p0 为不发射激光脉冲存取的背景图,因此每次进行图像分析时,使各光斑灰度矩阵与背景图 p0 的灰度矩阵相减,这样既能消除杂散光噪声,又能消减因红外热像仪的不稳定而带来的背景误差。然后利用邻域平均法使图像平滑,消除热像仪所带来的高频噪声,有利于 MATLAB 进行处理。图 2 为 9P(20)支谱线某光斑去噪前后的图像,其中(a)为原光斑;(b)为减去背景后的光斑;(c)为平滑后的光斑。

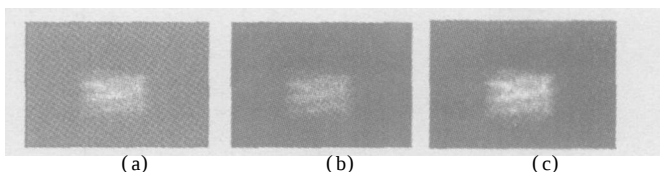


图 2 去噪前后的光斑比较图

3.1.2 图像分割

进行预处理后的光斑即可进行轮廓检测,要检测出光斑的轮廓,就必须对所采集的光斑进行图像分割,分割的目的就是要把光斑和背景分割开来。最常用的图像分割方法是把图像灰度分成不同的等级,然后用设置灰度阈值的方法确定有意义的区域或欲分割的物体之边界^[4]。而灰度阈值的选取本身就是数字图像处理技术中的难点,在这里,根据高斯基模光束包含在发散角内的功率占光束总功率的 86.5%^[5],一般取灰度最高值的 13.5%作为阈值。

设光斑灰度矩阵为 Gray,在 MATLAB 里建立与其相同大小的模板矩阵 Temp,模板内原图像灰度大于或等于阈值 T 的点设为 1,原图像灰度小于阈值 T 的点设为 0,如式 1 所示:

$$Temp(i, j) = \begin{cases} 1 & Gray(i, j) \geq T \\ 0 & Gray(i, j) < T \end{cases} \quad (1)$$

将两矩阵作点乘即可将光斑分割出来。

3.2 参数计算

利用检测出的光斑轮廓,可以分别计算光斑图像质量参数。首先进行光强计算,选取合适的灰度等级,利用光斑轮廓内各个像素的灰度值求和,得到的灰度总和即可代表光斑强度,记为 I₀。

其次,判断光强均匀性采用计算光斑图像的形心与质心偏差的方法。这里的形心和质心借用物理

学中形心和质心的概念,前者表示光斑形状的中心,后者表示光斑的强度加权平均中心。系统确定光斑形心是在已检测出光斑轮廓的图像的基础上,先求出光斑图像的行灰度之和及列灰度之和,然后平滑这些灰度曲线,通过设定的阈值 T_1 ,对该曲线从左至右依次进行检测,将大于 T_1 的第一个点的位置 x_1 和最后一个点的位置 x_2 记录下来,图 3 是绘出的 9P(20) 支某个光斑的行灰度和。然后设定阈值 1,用同样的方法再将纵坐标上 y_1 、 y_2 找出,则通过坐标 x_1 、 y_1 、 x_2 、 y_2 可以确定光斑的中心点 (x, y) 。这里应注意的是,阈值 T_1 、 T_2 均为检测出灰度最高值的 13.5%。

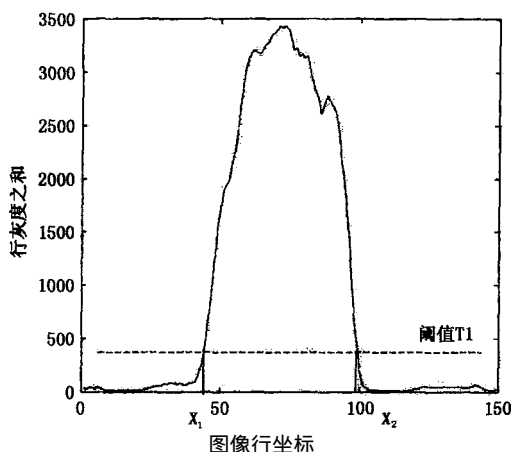


图 3 行灰度和曲线

物理学中,计算质心坐标的公式为(2)式,对于光斑图像而言, x_i 、 y_i 分别代表第 i 个像素的横轴和纵轴坐标值, C_i 代表第 i 个像素的灰度值:

$$x' = \frac{\sum x_i C_i}{\sum C_i}, \quad y' = \frac{\sum y_i C_i}{\sum C_i} \quad (2)$$

由此可求出质心与形心的偏差值 Δd 为:

$$\Delta d = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2} \quad (3)$$

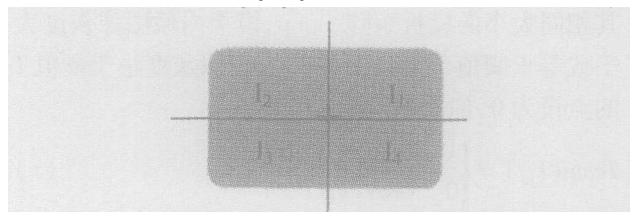


图 4 光斑对称性示意图

最后计算对称性,可以将光斑根据形心分为四部分,如图 4 所示,分别计算这四部分的灰度和 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 ,再利用式(4)、(5)可以分别求出光斑关于 x 轴和 y 轴的不对称度,并将两者耦合得总不对称度 E :

$$X = \frac{(I_1 + I_2) - (I_3 + I_4)}{I_1 + I_2 + I_3 + I_4} \quad (4)$$

$$Y = \frac{(I_1 + I_4) - (I_2 + I_3)}{I_1 + I_2 + I_3 + I_4} \quad (5)$$

$$E = X^2 + Y^2 \quad (6)$$

综上所述,如果把这些参数处理为数值取向一致并且归一化,则能使鉴别更加方便。因此对这三个参数进行处理得:

$$par1 = \frac{I_0}{(x_2 - x_1) \times (y_2 - y_1) \times k_{\text{饱和}}} \quad (7)$$

$$par2 = 1 - \frac{2\Delta d}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}} \quad (8)$$

$$par3 = 1 - \frac{E}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}} \quad (9)$$

对这三个参数进行耦合得:

$$par = \rho_1 \cdot par1 + \rho_2 \cdot par2 + \rho_3 \cdot par3 \quad (10)$$

其中, ρ_1 、 ρ_2 、 ρ_3 分别为根据三个参数重要性不同而设的权重因子,一般取 0.1、0.5 和 0.4。

3.3 软件构成

整个基于 Matlab 的图像处理软件由两部分组成: Spot Par 和 Best Spot。函数 Spot Par 针对一幅光斑进行预处理并计算出其参数 par , 函数 Best Spot 读取一组光斑图像,调用 Spot Par, 并比较参数 par , 给出值为最大的光斑图像及其序号。程序流程如图 5 所示。

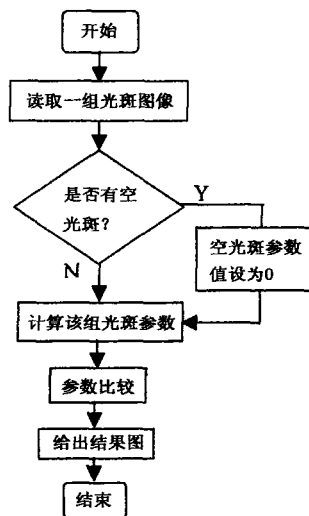


图 5 程序流程图

4 实验结果

根据图 1 所示的硬件设备建立实验系统,使 TEA CO_2 激光器在 25kV、1 个大气压的条件下输出 9P(20) 支谱线,在这个位置按照上述工作流程获取一组光斑图像并存入计算机,然后利用所开发的软件对这组图像进行鉴别,所得到的结果如图 6 所示,计算出的光斑参数为 2.5561。

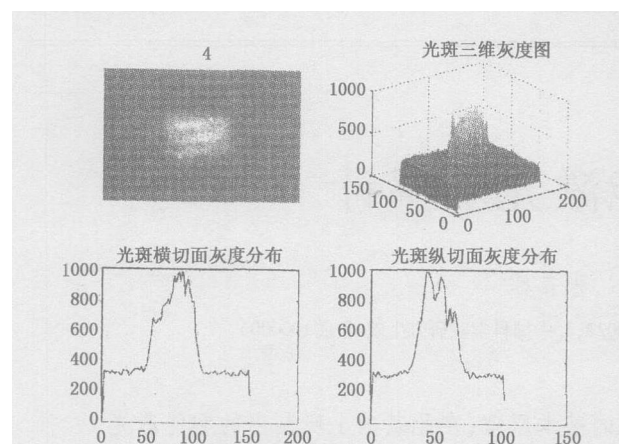


图 6 实验结果图

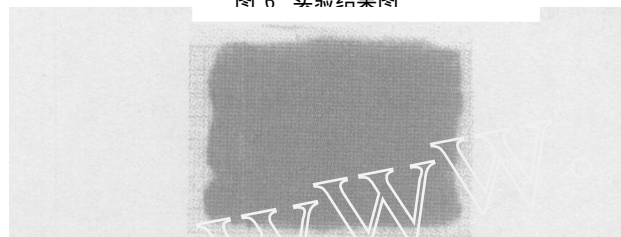


图 7 热敏纸实际接收光斑

图 6 为软件处理最后给出的 figure 窗口, 其中左上图为鉴别出的光斑图像, 标题“4”表示被鉴别出光斑的序号, 右上图绘出了该光斑三维灰度分布图, 左下图和右下图分别表示从该光斑形心处切开的整个图像横切面与纵切面的灰度分布图。图 7 给

出热敏纸接收的该光斑形状。经多次实验证明, 通过该软件鉴别出的最佳调谐位置与通过人工鉴别出的位置误差在 ± 16 以内。

5 结 论

随着激光探测器件的发展和计算机处理水平的提高, 利用计算机处理光斑图像进而分析激光特性将成为激光探测和应用中的关键技术。本文针对光栅调谐 TEA CO₂ 激光器, 通过计算机对红外热像仪采集到的光斑进行数字图像处理, 最终实现了对光斑的鉴别, 得到了最佳光斑输出。这一方法代替了人工操作, 将逐渐得到发展和广泛应用。

参考文献:

- [1] 赖志国, 余啸海. Matlab 图像处理与应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004
- [2] 宋海平, 叶征宇, 柯常军, 等. 非制冷焦平面热像仪获取脉冲 CO₂ 激光光斑研究 [J]. 激光与红外, 2004, 34 (3): 203 - 205
- [3] 李伦, 巩马理, 刘兴占, 等. Matlab 用于激光光束质量分析 [J]. 激光技术, 2000, 24 (6): 405 - 408
- [4] 阮秋琦. 数字图像处理学 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2001
- [5] 周炳琨. 激光原理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1995

(上接第 839 页)

- al PZT (65/35) and PLZT (8/65/35) thin films by sol-gel process: a comparative study on the structural, microstructural and electrical properties [J]. Thin Solid Films, 2003, 443: 14 - 22
- [15] B T Liu, Z Hao, Y F Chen, et al Investigation on Ag/Pb (Zr_{0.53}Ti_{0.47})O₃/YBa₂Cu₃O_{7- δ} three-terminal system with small gate area [J]. Applied Physics Letters, 1999, 74 (14): 2044 - 2046
 - [16] B T Liu, K Maki, Y So, et al Epitaxial La-doped SrTiO₃ on silicon: A conductive template for epitaxial ferroelectrics on silicon [J]. Applied Physics Letters, 2002, 80 (25): 4801 - 4803
 - [17] S H Hu, X J Meng, G J Hu, et al Preparation and optical waveguide property of metal alkoxide solution-derived Pb (Zr_{0.5}Ti_{0.5})O₃ thick films [J]. Applied Physics Letters, 2004, 84 (18): 3609 - 3611
 - [18] Jan Lancok, Miroslav Jelinek Structural and optical properties of PLZT thin films deposited by pulsed laser deposition [A]. In: Peter A. Atanasov, Stefka Cartaleva eds Laser Physics and Applications [C]. 11th International School on Quantum Electronics, 2001, 4397: 305 - 308
 - [19] Keiichi Nashimoto Patterning of (Pb, La) (Zr, Ti) O₃

waveguides for fabricating micro-optics using wet etching and solid-phase epitaxy [J]. Applied Physics Letters, 1999, 75 (8): 1054 - 1056

- [20] Keiichi Nashimoto Epitaxial PLZT waveguide technologies for integrated photonics [A]. In: Yakov Sidorin, Christoph A. Waechter eds Integrated Optics Devices, Materials, and Technologies IX [C]. 2005, 5728: 34 - 43
- [21] Pingsheng Tang, D J Towner, A L Meier, et al Low-voltage, polarization-insensitive, electro-optic modulator based on a polydomain barium titanate thin film [J]. Applied Physics Letters, 2004, 85 (20): 4615 - 4617
- [22] S I Khartsev, M A Grishin, A M Grishin Characterization of heteroepitaxial Na_{0.5}K_{0.5}NbO₃/La_{0.5}Sr_{0.5}CoO₃ electro-optical cell [J]. Applied Physics Letters, 2005, 86
- [23] Kim Ryoung-Han, Park Hyung-Ho, Joo Gi-Tae Cation diffusion characteristics in MgO-doped LNbO₃ during Ti diffusion [J]. Applied Surface Science, 2001, 169 - 170: 570 - 574
- [24] Jiwei Zhai, Xi Yao, Liangying Zhang The optical waveguide characteristics of highly orientated sol-gel derived polycrystalline ferroelectric PZT thin films [J]. Ceramics International, 2001, 27: 585 - 589