

doi: 10.3788/lop47.051201

受激布里渊散射光束空间光强分布的 CCD 检测

龚华平¹ 徐 贲¹ 林殿阳²¹中国计量学院光学与电子科技学院, 浙江 杭州 310018; ²哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要 将波长 1064 nm, 脉冲宽度 8 ns 的 Nd:YAG 激光脉冲聚焦到 FC-72 介质池中, 利用 CCD 对后向受激布里渊散射(SBS)光斑进行检测, 并利用数字图像处理技术对图像进行分析, 以获得 SBS 光斑的空间光强分布和变化规律。利用 MATLAB 的图像处理工具箱对激光光斑的原始 CCD 图像进行去噪, 并使用 Origin 软件的曲线拟合和 FFT 平滑功能对光强分布曲线进行平滑处理。结果表明, 进行图像处理后的原图像噪声被有效地抑制和消除, 光强分布曲线较为平滑。在入射光束为基模高斯光束的条件下, 随着入射光能量增大, 受激布里渊散射光斑的空间光强分布由近高斯型转变为高斯型。

关键词 检测; 受激布里渊散射; 光强分布; 图像处理

中图分类号 O437 OCIS 120.1880 100.2000 文献标识码 A

Detection on Spatial Profile of Stimulated Brillouin Scattering Beam by CCD

Gong Huaping¹ Xu Ben¹ Lin Dianyang²

¹College of Optical and Electronic Technology, China Jiliang University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China
²Institute of Optoelectronics Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China

Abstract By focusing laser pulses with wavelength 1064 nm and pulse width 8 ns into FC-72 medium, the intensity distribution of backward stimulated Brillouin scattering (SBS) spot is investigated experimentally by CCD camera. The images are analyzed by digital image processing technology to obtain the spatial intensity profile and evolution of SBS spot. Using the image processing toolbox of MATLAB, the noise removing treatment on original CCD image of laser spot is performed. And the smoothing treatment on intensity distribution curve is achieved by using the curve fitting and FFT smoothing functions of Origin software. The results show that the noise of original image is effectively suppressed and rided after the preprocessing treatment, and the intensity distribution is comparatively smooth. On the condition that the pump beam is of Gaussian profile, the intensity distribution of SBS spot is changed from quasi-Gaussian to Gaussian profile when the pump energy increases.

Key words detection; stimulated Brillouin scattering; intensity profile; image processing

1 引 言

自从 1972 年 B. Ya. Zeldovich 等^[1]发现相位共轭现象以来, 相位共轭技术得到了广泛而深入的研究^[2-4]。受激布里渊散射(SBS)相位共轭技术是获得相位共轭光的重要手段之一, 已广泛应用于激光脉冲压缩以及高功率激光系统的波前畸变修正、退偏补偿等。一直以来, 对 SBS 相位共轭技术的研究主要集中在时间波形控制、能量反射率和相位共轭保真度等方面^[5-8], 而对 SBS 光束的空间光强分布却很少有研究报道。但是对于 SBS 相位共轭技术的应用来说, 其光束的空间光强分布直接影响其光束质量, 在激光打孔、激光焊接、激光

收稿日期: 2009-04-16; 收到修改稿日期: 2009-05-07

基金项目: 国家自然科学基金(69078003)资助课题。

作者简介: 龚华平(1977—), 男, 讲师, 主要从事受激布里渊散射方面的研究。E-mail: gonghp@163.com

扫描等方面是一个很重要的参数。随着计算机技术的发展,人们开始利用 CCD 对光束的空间光强分布进行研究。由 CCD 器件构成的摄像机可靠性高、光谱响应范围宽、耐振动、输出线性好,已广泛应用于科研、教学、工农业生产各方面。但在面阵 CCD 应用于激光光强空间分布的测量时,测量系统的各个环节均存在畸变和噪声,对测量结果的影响较大,因此需要对 CCD 光斑图像进行预处理^[9],还原激光光斑的真实光强分布。为此,本文提出了一种简便易行、适用性广的方法,借助于目前广泛使用的计算机软件 MATLAB 和 Origin,对 CCD 采集的数字图像进行了去噪和平滑处理,得到了较为真实的激光光斑图像和光强分布。

2 实验装置

实验采用图 1 所示的实验装置。调 Q 的 Nd:YAG 脉冲激光器为水平偏振光输出,能量 35 mJ,波长 1064 nm,脉冲宽度约为 8 ns,重复频率为 1 Hz。为了防止后向散射斯托克斯光脉冲进入激光系统,采用了偏振片 P 和 $\lambda/4$ 波片组成的隔离器。R 为部分反射镜,经其反射的光进入能量计 ED200,用来监测入射光的能量。焦距 30 cm 的聚焦透镜将入射光聚焦到布里渊介质池中,采用 FC-72 为介质,池长 60 cm。由于偏振片 P 会反射少量的入射光,可以利用 CCD₁ 在偏振片的一侧测量入射光光斑,在另一侧利用 CCD₂ 测量 SBS 光斑。CCD₁ 和 CCD₂ 的前面都放置适当的衰减片,防止激光损伤 CCD 器件。采用的 CCD 型号为敏通公司的 MTV-1881EX,成像面尺寸约为 8 mm×6 mm。实验时固定 CCD 的位置不动,通过衰减片改变入射光能量,用 CCD 测量不同入射能量下的入射光光斑和 SBS 光斑。对于每一个入射能量值,都采集 10 次以上的光斑图像,然后进行分析和统计。

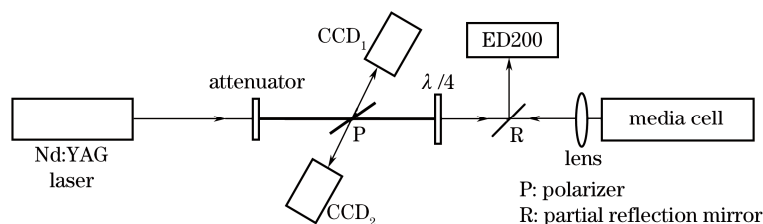


图 1 实验装置图
Fig.1 Experimental setup

3 CCD 图像的处理

CCD 器件的采集过程中会使图像上含有各种噪声和失真,因此对于 CCD 采集的激光光斑图像首先必须去除噪声。CCD 采集的原始光斑图像如图 2 所示,可见噪声对光斑图像影响较大。利用 MATLAB 中的图像工具箱可以方便地进行数字图像处理。由于中值滤波能有效滤除脉冲干扰及图像扫描噪声,首先对光斑图像进行二维中值滤波,滤波窗口选择为 3×4 ,然后再使用自适应滤波来消除白噪声,滤波后的图像如图 3 所示。对比图 2 和图 3,可以看出,原始图像中的噪声

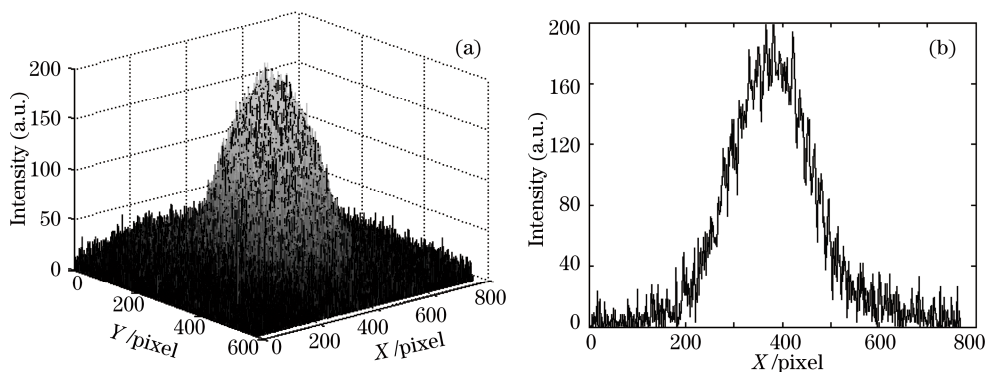


图 2 CCD 原始图像的三维(a)和二维(b)图
Fig.2 3D (a) and 2D (b) plot of the original CCD image

基本被滤除，图像噪声的平均值下降到了很低的水平。

经过噪声滤除后，光强分布曲线还不够平滑，为此需要进一步处理。由于图 3 的光强分布非常接近高斯型，直接使用 Origin 软件的高斯拟合与 FFT 平滑功能来进行处理，结果如图 4 所示。从图 4 中可以看出，FFT 平滑和高斯拟合的效果几乎相同。这也说明，入射光斑的光强分布是高斯型，与实际使用的基模高斯光束是一致的。

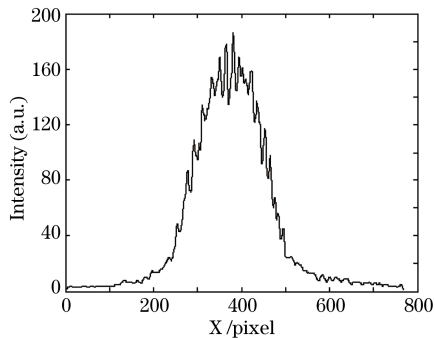


图 3 经过自适应滤波和中值滤波后的二维图
Fig.3 2D scheme after adapted filtering and median filtering

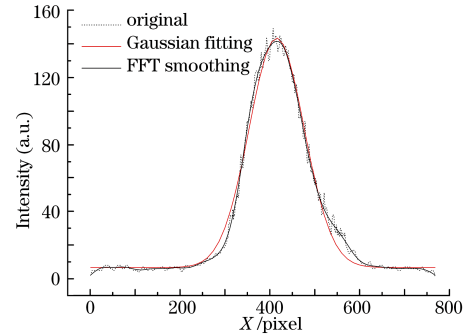


图 4 入射光斑的空间光强分布
Fig.4 Spatial intensity distribution of the incident beam spot

4 结果分析

图 5 是实验中采集到的 SBS 光斑图像。当入射能量变化时，使用了不同衰减率的衰减片来避免 CCD

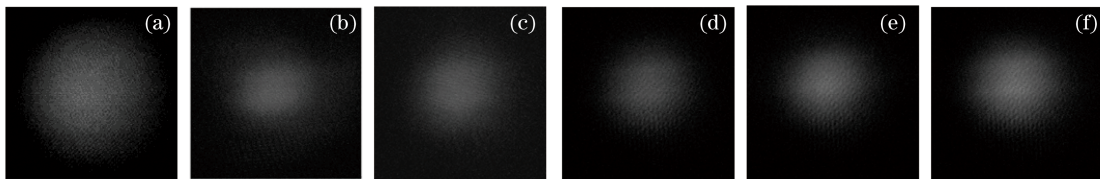


图 5 CCD 采集的 SBS 光斑，(a)~(f)依次对应于入射光能量为 4.6, 9.8, 15, 20, 26 和 34 mJ
Fig.5 SBS spots from CCD, (a)~(f) corresponding to the incident energy of 4.6, 9.8, 15, 20, 26 and 34 mJ

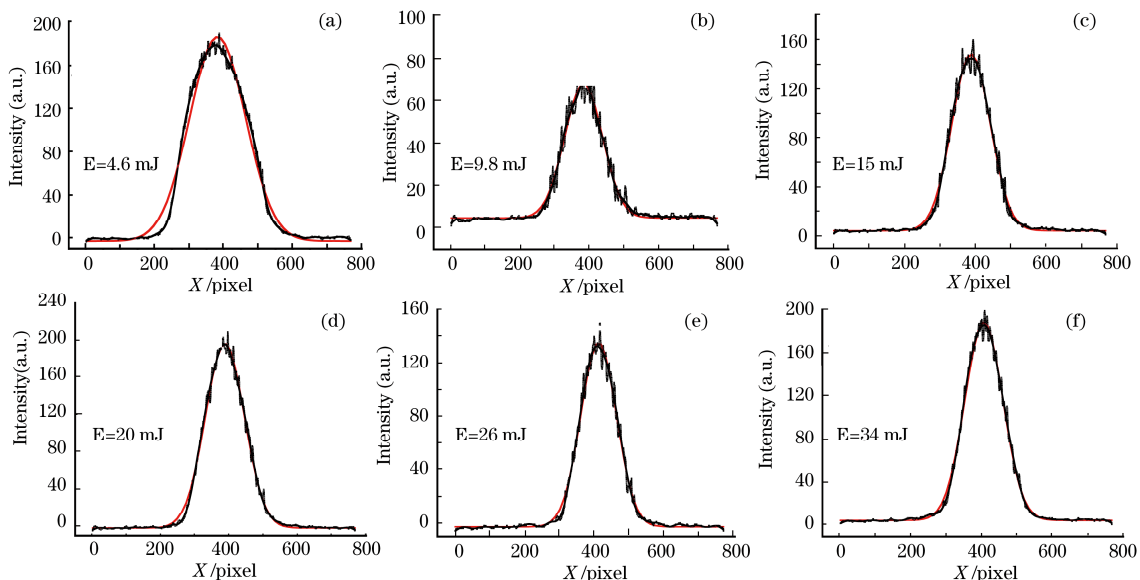


图 6 不同入射光能量(E)下的 SBS 光斑的空间光强分布。细黑线为原始分布，红线为高斯拟合分布，粗黑线为 FFT 平滑分布
Fig.6 (Color online) spatial intensity distribution of SBS spot with different incident energy. Thin black line corresponds to original distribution, red line corresponds to Gaussian fitting, and thick black line corresponds to FFT smoothing

出现光强饱和，所以图像中的光强不具有可比性。由于 CCD 隔行采集的工作方式导致图像 Y 方向的数据不完整，因此仅对 X 方向进行图像分析。而且入射光束基本上是中心对称的，所以 Y 方向的结果与 X 方向

类似。图 6 是进行曲线拟合后的结果,可以看出,当入射光能量为阈值附近时,SBS 光斑的光强分布图中 FFT 平滑与高斯拟合的偏差较大,所以此时为近高斯型分布。当入射光能量逐步增大以后,SBS 光斑的光强分布图中 FFT 平滑与高斯拟合的结果重合得越来越好,说明其光强分布曲线过渡为高斯型分布。SBS 光斑的光强分布随入射能量出现这样的变化是因为当入射能量在阈值附近时,后向散射的 SBS 光束中仍存在一部分非相位共轭成分,导致其光强分布稍微偏离了高斯型。随着入射能量增大,后向散射的 SBS 光束中非相位共轭成分减小,相位共轭保真度提高,所以其光强分布也逐渐转变为高斯型。

5 结 论

将波长 1064 nm,脉冲宽度 8 ns 的 Nd:YAG 激光脉冲聚焦到 FC-72 介质池中,利用 CCD 对后向受激布里渊散射光斑进行检测,并利用数字图像处理技术对图像进行分析,以获得 SBS 光斑的空间光强分布和变化规律。结果表明,进行图像处理后的原图像噪声被有效地抑制和消除,光强分布曲线较为平滑。在入射光束为基模高斯光束的条件下,随着入射光能量增大,受激布里渊散射光斑的空间光强分布由近高斯型转变为高斯型。

参 考 文 献

- 1 B. Ya. Zeldovich, V. I. Popovichev, V. V. Ragulskii *et al.*. Connection between the wave fronts of the reflected and exciting light in stimulated Mandelstam-Brillouin scattering [J]. *JETP Lett.*, 1972, **15**(3): 109~112
- 2 Norman A. Kurnit, Scott J. Thomas. Application of a phase-conjugation Brillouin mirror to generation of high-quality variable-duration KrF pulses [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1989, **25**(3): 421~429
- 3 Stephan Schiemann, Wim Ubachs, Wim Hogervorst. Efficient temporal compression of coherent nanosecond pulses in a compact SBS generator-amplifier setup [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1997, **33**(30): 358~366
- 4 C. B. Dane, L. E. Zapata, W. A. Neuman *at al.*. Design and operation of a 150 W near diffraction-limited laser amplifier with SBS wavefront correction [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1995, **31**(1): 148~163
- 5 Youlun Ju, Baoquan Yao, Sheng Qi. High power 1.57- μm OPO pumped by MOPA with SBS[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2005, **3**(6): 358~360
- 6 Deng Shaoyong, Zhu Yongxiang, Guo Shaofeng *et al.*. Experiments of stimulated Brillouin scattering for pulse compression and energy reflectivity in K9 glass and fused silica[J]. *Chinese J. Laser*, 2007, **34**(2): 219~224
邓少永, 朱永祥, 郭少锋 等. K9玻璃与熔石英玻璃中纵向受激布里渊散射的脉宽压缩和能量提取效率[J]. *中国激光*, 2007, **34**(2): 219~224
- 7 Liu Danping, Hu Yu. Experimental study of overcoming laser Rod's thermal effect with stimulated Brillouin scattering phase conjugation mirror[J]. *Chinese J. Laser*, 2007, **32**(2): 184~187
刘丹平, 胡 渝. 利用受激布里渊散射相位共轭镜克服激光棒热效应的实验研究[J]. *中国激光*, 2007, **32**(2): 184~187
- 8 V. Vlad, H. J. Eichler, V. Babin *at al.*. High reflectivity and fidelity SBS phase conjugation mirrors for solid state lasers [C]. *SPIE*, 2004, **5581**: 571~581
- 9 Fang Haitao, Wu Lusheng. Research on digit technology applied to analyze cross-section intensity distribution of laser beam[J]. *Chinese J. Quantum Electronics*, 2003, **20**(4): 508~512
方海涛, 吴路生. 利用数字技术进行激光横向光强分布分析的研究[J]. *量子电子学报*, 2003, **20**(4): 508~512