

文章编号: 1001-3806(2016)04-0479-04

基于灰度共生矩阵的激光散斑评价方法

白可, 贺锋涛*, 张敏, 孙力

(西安邮电大学 电子工程学院, 西安 710121)

摘要: 为了抑制激光成像中的散斑噪声, 采用灰度共生矩阵构建了激光显微散斑分析评价系统。系统采用波长为405nm的激光作为显微系统光源, 利用电压驱动音圈电机振动样品对激光散斑噪声大小进行控制, 同时采用 CCD 图像传感器采集不同驱动电压下的激光散斑噪声。通过对散斑噪声的角二阶矩、对比度、熵和逆差矩特征参量的分析, 较好地表征了激光散斑噪声的变化。结果表明, 灰度共生矩阵方法可对激光显微成像中的散斑进行评价。

关键词: 激光技术; 激光散斑; 灰度共生矩阵; 散斑评价

中图分类号: TN249

文献标志码: A

doi: 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2016.04.005

Evaluation method of laser speckle based on gray level co-occurrence matrix

BAI Ke, HE Fengtao, ZHANG Min, SUN Li

(College of Electronic Engineering, Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an 710121, China)

Abstract: In order to suppress speckle noise in laser imaging, a laser microscopic speckle analysis and evaluation system was built by using the gray level co-occurrence matrix. In this system, a 405nm wavelength laser was used as light source of the microscopic system and the vibration of an sample driven by a voice coil motor through voltage was used to control the size of laser speckle noise. At the same time, a CCD image sensor was used to collect laser speckle noise under different driving voltages. Through analyzing the characteristic parameters such as angular second moment, contrast, entropy and inverse difference moment of laser speckle noise, the characteristics of laser speckle noise were appropriately characterized. The results show that the gray level co-occurrence matrix method can be used to evaluate the speckle in laser microscopic imaging.

Key words: laser technique; laser speckle; gray level co-occurrence matrix; speckle evaluation

引言

激光作为成像系统光源, 避免了色差对成像的影响, 图像具有较高的分辨率。但由于激光的强相干性, 成像时会形成散斑噪声^[1-4]。然而散斑噪声的存在, 会严重影响成像质量, 降低了图像的清晰度和分辨率^[5-6]。为此有必要对激光散斑进行评价, 以便可以控制散斑, 进而抑制散斑对成像质量的影响。科研人员提出各种散斑评价的方法, 例如空域散斑图像对比度的方法^[7-9]、自相关谱估计方法^[10-11]以及功率谱谱宽作为评价激光散斑的方法等。

本文中采用灰度共生矩阵的方法, 利用条件概率提取散斑噪声图像的纹理特征, 通过对角二阶矩、对比度、熵和逆差矩的分析, 实现了对散斑噪声图像空间相关的统计分析, 建立了一种基于电压驱动音圈电机振

动样品对激光散斑噪声大小进行控制的实验系统, 通过灰度共生矩阵方法对实验系统不同振动条件下散斑噪声图像各参量进行计算和分析, 实现了对激光散斑噪声的评价。

1 灰度共生矩阵

灰度共生矩阵, 是通过图像一对像素点在一定距离和方向上的联合概率分布统计得到的, 是对图像灰度的二阶统计度量, 反映了图像灰度关于方向、相邻间隔和变化幅度的综合信息^[12]。目前, 图像的灰度级一般是 256, 这就造成了灰度共生矩阵过大的情况, 为了避免这一情况的出现, 常将灰度级变换到 16 级。假设一幅图像两个不同像素的灰度值分别为 i 和 j , 像素间隔距离为 d , 沿方向 θ 的所有像素对中, 其灰度值分别为 i 和 j 的像素对出现的次数, 记为 $P(i, j, d, \theta)$ ^[13]。选择不同的间隔距离和不同的方向就会产生不同的灰度共生矩阵。因此, 本文中采用 $d=1$, θ 为 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ 和 135° 。

HRALICK^[14]等人给出了 14 种特征参量作为灰度共生矩阵描述图像纹理的统计量。为了准确客观地评

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61201193)

作者简介: 白可(1989-), 女, 硕士研究生, 主要从事激光成像方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: hefengtao@xupt.edu.cn

收稿日期: 2015-05-05; 收到修改稿日期: 2015-05-28

价散斑,经过大量分析发现,多种特征参量组合都可得到较好的评价结果。然而,角二阶矩、对比度和逆差矩这 3 个参量是不相关的,并且对比度和熵是两个分辨力最好的特征参量^[15]。因此,本文中选取了角二阶矩、对比度、熵和逆差矩这 4 个特征参量作为散斑评价的标准。

(1) 角二阶矩:

$$f_{ASM} = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} P^2(i, j, d, \theta) \quad (1)$$

角二阶矩又称为能量,一般用来反映图像灰度分布的均匀程度。如果灰度共生矩阵中所有值近似相等时,则角二阶矩值小;反之,如果一些值大一些值小,则角二阶矩值大。因此,角二阶矩的值越大,即表明图像灰度分布越均匀。

(2) 对比度:

$$f_{CON} = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} [(i-j)^2 P(i, j, d, \theta)] \quad (2)$$

对比度反映了图像的清晰程度。对比度值越大,图像视觉效果越清晰;反之,对比度值越小,图像的视觉效果越模糊。

(3) 熵:

$$f_{ENT} = - \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} P(i, j, d, \theta) \lg P(i, j, d, \theta) \quad (3)$$

熵是对图像信息量的度量。当图像包含的信息量越大或者图像纹理越复杂时,图像的熵值越大。熵也可以用来表征图像的混乱程度。如果图像灰度分布不均匀时,图像熵值越大;反之,图像的熵值越小。

(4) 逆差矩:

$$f_{IDM} = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} \frac{P(i, j, d, \theta)}{1 + (i-j)^2} \quad (4)$$

逆差矩是对图像纹理局部变化多少的度量,表征了局部图像的均匀程度。当图像纹理各区域之间缺少变化时,逆差矩值大,局部非常均匀;反之,逆差矩值小,说明图像纹理局部变化不均匀。

2 灰度共生矩阵散斑评价实验装置

本文中建立了一种基于音圈电机振动^[16]来改变控制散斑,并通过灰度共生矩阵方法对散斑改变进行评价的实验装置。装置是将音圈电机固定在载物台上,通过驱动电压控制音圈电机振动,随着音圈电机驱动电压的不同可以得到不同的散斑图像,从而实现对激光散斑的控制。因此,利用该装置可以采集音圈电机不同驱动电压下的激光散斑噪声,进而对散斑噪声的角二阶矩、对比度、熵和逆差矩进行计算与分析。

该装置基本组成包括激光光源、耦合透镜、音圈电

机、显微物镜、CCD 图像采集系统以及计算机处理系统。原理图如图 1 所示。其工作原理为:激光光束经过耦合透镜耦合通过显微物镜入射到样品表面,经样品表面反射后通过 CCD 获得激光散斑噪声图像,通过 CCD 对散斑噪声进行采集并存储在计算机中。同时电压驱动音圈电机使样品表面产生振动,改变激光光程差,实现了对激光散斑噪声的改变控制。

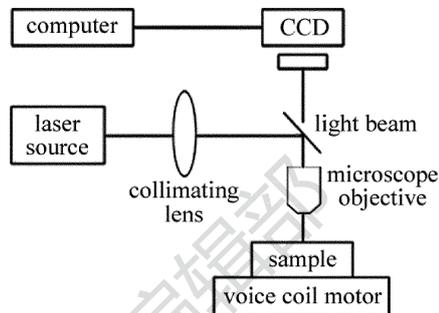


Fig. 1 Schematic diagram

实验中光源采用波长为 405nm、功率为 0.5W 的激光 CCD 摄像头像素为 1280pixel × 960pixel,显微镜物镜为 40 倍,数值孔径为 0.65。

3 实验结果与分析

本文中采集了音圈电机驱动电压频率为 100Hz、幅度为 0V ~ 1.6V、并以 0.2V 为间隔的 9 幅光盘表面散斑图像,如图 2 所示。不同驱动电压下的激光散斑图像可以通过 MATLAB 软件对其角二阶矩、对比度、熵和逆差矩进行分析。

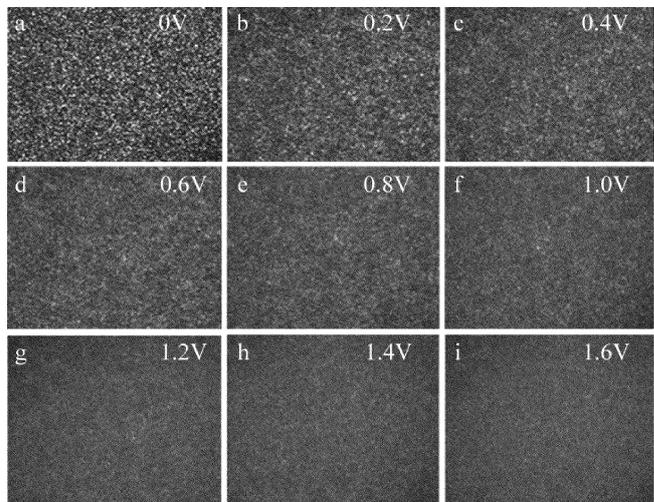


Fig. 2 Laser speckle images under different voltages

利用(1)式 ~ (4)式结合 MATLAB 软件,分别以电压为横坐标,以角二阶矩、对比度、熵和逆差矩为纵坐标来表征散斑噪声的变化,如图 3 所示。随着音圈电机驱动电压的增大,散斑噪声的对比度和熵逐渐减小,角二阶矩和逆差矩逐渐增大。

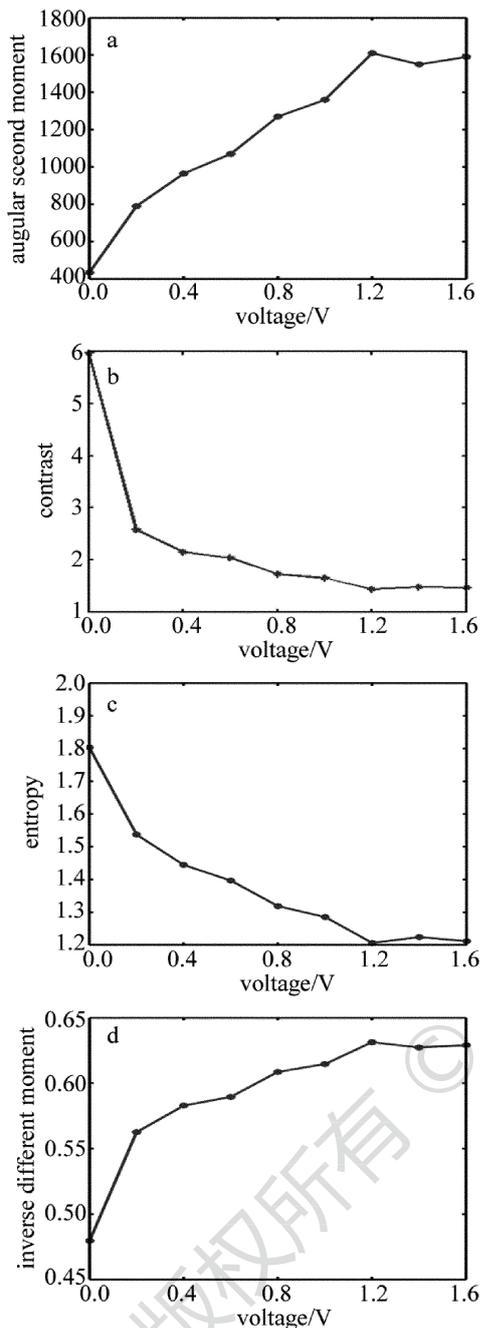


Fig. 3 Characteristic parameters under different voltages

a—angular second moment b—contrast c—entropy d—inverse different moment

角二阶矩的变化趋势如图 3a 所示,当振动电压在 0V ~ 1.6V 不断增大时,散斑噪声的角二阶矩在 $0.4335 \times 10^3 \sim 1.5947 \times 10^3$ 之间不断增大。说明随着振动电压的增大,散斑噪声变得越均匀。

对比度的变化趋势如图 3b 所示,当电压在 0V 的时候,对比度最大,此时的散斑噪声像素最多。随着振动电压的不断增大,像素对逐渐变少,对比度明显下降。

熵的变化趋势如图 3c 所示,随着振动电压的增大,图像的熵值在 1.8035 ~ 1.2114 之间逐渐减小。对

比图 3a 和图 3c 可知,散斑噪声的熵值与角二阶矩值相反,随着角二阶矩值的逐渐增大,熵值逐渐减小。熵反映了散斑噪声的非均匀程度,随着振动的加剧,散斑噪声逐渐变得均匀。

逆差矩的变化趋势如图 3d 所示,随着振动电压的增大,逆差矩值逐渐增大。从局部上说明散斑噪声随着振动电压的增大,噪声各区域之间缺少变化,局部非常均匀。

综上所述,从角二阶矩、对比度、熵和逆差矩 4 个参量的变化趋势可知,随着振动电压的增大,散斑噪声逐渐减小,图像灰度变得均匀。这表明这 4 个参量在本实验中具有同质性,并且它们所表征散斑噪声变化的结果与实验采集噪声所反映的结果相一致。

4 结 论

本文中采用灰度共生矩阵的方法对激光显微成像中的散斑噪声进行分析,结果表明:随着振动电压的增大,散斑噪声的对比度和熵会逐渐减小,角二阶矩和逆差矩逐渐增大,当振动电压增大到一定值时散斑得到一定的抑制、图像灰度变得均匀。因此,灰度共生矩阵方法所提供的特征参量能有效地反映散斑噪声的变化,可对激光成像中的散斑噪声进行评价,为抑制激光成像中的散斑噪声提供参考。

参 考 文 献

- [1] JEONG Y J, PYO Y, IWASHITA Y, *et al.* High-precision three-dimensional laser measurement system by cooperative multiple mobile robots [C]//System Integration, 2012 IEEE/SICE International Symposium. New York, USA:IEEE, 2012:198-205.
- [2] TIAN Z H, LIU W Q, LI X, *et al.* Speckle contrast reduction in laser display [J]. Optics and Precision Engineering, 2007, 15(9):1366-1370 (in Chinese).
- [3] ZHANG Y, HAO L, LIU H, *et al.* Principle and realization of laser display technique [J]. Optics and Precision Engineering, 2006, 14(3):402-403 (in Chinese).
- [4] HIROAKI S, TOMOHIRO S, ATSUSHI M, *et al.* Laser TV with newly developed laser light sources [J]. SID Symposium Digest of Technical Papers, 2008, 39(1):854-857.
- [5] YU G, WANG Sh G, YUN J H, *et al.* Technology of digital speckle pattern interferometry and its applications [J]. Laser Technology, 2002, 26(3):237-240 (in Chinese).
- [6] ZHANG Y P, WANG K F. Application of Labview and MATLAB in ESPI image processing [J]. Laser Technology, 2009, 33(6):582-585 (in Chinese).
- [7] REN Sh Y, ZHANG Zh, LIU G D, *et al.* Restraining speckle of laser imaging system in accurate measurement [J]. Optics and Precision Engineering, 2007, 15(3):331-336 (in Chinese).
- [8] WANG X L, HE F T, JIA Q Y, *et al.* Laser speckle control based on optical fiber vibration [J]. Laser Technology, 2014, 38(2):177-180 (in Chinese).
- [9] JANAKA S, REGE A, LI N. Laser speckle contrast imaging: theory, instrumentation and applications [J]. IEEE Reviews in Biomedical

- Engineering, 2013, 6:99-110.
- [10] WU Y L, WU Z S. Analysis of power spectra for laser scattering intensity on rotating cylinder targets[J]. Optics and Precision Engineering, 2012, 20(12):2654-2660(in Chinese).
- [11] WU Y L, SHAO L, ZHANG K, *et al.* Image metric analysis of laser jamming effect based on wavelet energy and spot size[J]. Acta Photonica Sinica, 2013, 42(7): 832-838(in Chinese).
- [12] HARALICK R M, SHANMUGAM K, DINSTEN I. Textural features for image classification[J]. IEEE Trans on System, Man and Cybernetics, 1973, 3(6):610-621.
- [13] MIAO P, LI N, THAKOR N, *et al.* Laser speckle reduction by using a binary micro mirror array: theory and design [J]. Optics Express, 2010, 18(1):218-236.
- [14] HARALICK R M. Statistical and structural approaches to texture[J]. Proceedings of the IEEE, 1979, 67(5):786-804.
- [15] CULA O G, DANA K J, MURPHY F P, *et al.* Bidirectional imaging and modeling of skin texture[J]. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2004, 51(12):2148-2159.
- [16] WANG L J, QIU Y Sh, CHEN H X, *et al.* Analysis of speckle reduction by the vibrating fiber[J]. Acta Photonica Sinica, 2011, 40(8):1211-1214(in Chinese).

版权所有 © 《激光技术》编辑部