

文章编号: 1001-3806(2014)02-0177-04

## 基于光纤振动的激光散斑控制

王晓琳, 贺锋涛\*, 贾琼瑶, 刘 佳  
(西安邮电大学 电子工程学院, 西安 710061)

**摘要:** 散斑噪声的存在使得图像灰度剧烈变化,降低了图像分辨率,影响成像质量。为了控制散斑噪声,使用波长为 405nm 的激光作为显微系统照明光源,利用音圈电机振动光纤,通过对抛光玻璃显微成像,用 CCD 图像采集卡采集图像后进行了散斑噪声对比度分析。结果表明,在光纤振动幅度不变、振动频率在 4Hz~55Hz 内逐渐增加时,图像散斑对比度在 0.0326~0.1197 范围内逐渐变小;当频率大于 51Hz 时,图像散斑对比度曲线趋于平稳且对比度在 0.0326 处获得了最小值,图像清晰,达到良好的散斑控制。

**关键词:** 激光光学; 激光散斑; 散斑对比度; 频率

**中图分类号:** TN249

**文献标志码:** A

**doi:** 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2014.02.007

### Laser speckle control based on optical fiber vibration

WANG Xiaolin, HE Fengtao, JIA Qiongyao, LIU Jia

(College of Electronic Engineering, Xi'an University of Post and Telecommunications, Xi'an 710061, China)

**Abstract:** The image gray can be changed by severely the speckle noise, so the image resolution can be reduced and the image quality was decreased. In order to control the speckle noise, using a laser at 405nm wavelength as light source of the microscopic imaging system and a voice coil motor vibrating the optical fiber, images was obtained by the polished lens and captured with a CCD image acquisition card, the speckle noise contrasts were studied. The results show that when the fiber vibration amplitude is stable and the vibration frequency is increased from 4Hz to 55Hz, the image speckle contrasts change in the range of 0.0326~0.1197 and the overall trend gradually becomes smaller. The image speckle contrast levels off when the frequency is more than 51Hz. When the speckle contrast reaches the minimum at 0.0326, the image is clear and the laser imaging speckle can be controlled satisfactorily.

**Key words:** laser optics; laser speckle; speckle contrast; frequency

## 引 言

激光具有方向性好、亮度高、单色性和相干性好的特性,在精密测量和图像显示<sup>[1-5]</sup>等领域得到广泛应用。但由于激光的强相干性,成像时会形成散斑噪声,使得图像灰度剧烈变化,隐藏图像的细节信息,影响成像质量,降低了图像的清晰度和分辨率<sup>[6-7]</sup>,所以需要散斑控制。如何减弱散斑噪声的影响一直是人们研究的问题<sup>[8]</sup>。不少科研人员提出了降低散斑对比度的方法,如利用不同波长的光源照明来降低激光相干性<sup>[9]</sup>,从而减弱散

斑;利用脉冲激光的叠加、移动散射体等方法来降低散斑<sup>[8]</sup>。这些方法虽然减弱散斑的影响,但系统较为复杂。作者采用 405nm 的激光作为系统的照明光源,结合 CCD 图像采集卡对样品图像进行采集,在采集过程中利用音圈电机振动光纤来消除由于激光相干性所产生的散斑噪声,有效地降低了散斑对比度。这种方法成本低、精度高、结构简单、且实用可行,使得本系统易于实现。

## 1 基本原理及系统结构

光学显微镜的分辨率由显微物镜的分辨率、CCD 摄像头的分辨率和图像采集卡的分辨率决定;但主要取决于显微物镜的分辨率<sup>[10]</sup>。由瑞利判据可知,物镜的分辨率由  $d = 0.61 \frac{\lambda}{d_{NA}}$  决定,即与照明光源的波长成正比,与物镜的数值孔径 (numerical

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61201193)

作者简介:王晓琳(1987-),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:2013-07-08;收到修改稿日期:2013-08-20

aperture, NA)  $d_{NA}$  成反比。因此,提高分辨率则可选用短波长的光源或者提高数值孔径<sup>[11]</sup>。该系统选用显微镜物镜的数值孔径  $d_{NA} = 0.65$  保持不变,采用短波长为 405nm 的激光作为光源,其理论分辨率可达 380nm。但由于散斑的存在,影响了成像的质量,所以作者利用光纤振动的方法对激光散斑进行控制。

本系统由三部分组成,即光学显微镜、CCD 图像采集和微型计算机,如图 1 所示。其基本原理为:405nm 的激光通过振动的光纤传输到聚光镜上,使激光汇聚在孔径光阑中,当从孔径光阑出射后,经一组聚光透镜汇聚,通过分光镜和辅助物镜聚焦在显微镜的焦平面,物镜使光束变为平行光均匀照射在测量样品上,从样品表面反射回的带有样品信息的光经显微镜、辅助物镜后,被分光镜反射,反射光束经棱镜后呈倒立放大的实像,通过目镜接收放大后,由 CCD 摄像头在 CCD 显示器上成像;最终显示在计算机中<sup>[12]</sup>。

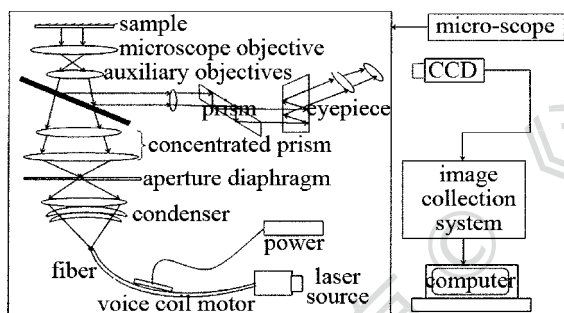


Fig. 1 Schematic diagram

该系统采用振动光纤的方法减小散斑噪声,即将一个音圈电机固定在光纤上,通过音圈电机振动

带动光纤振动,当 405nm 的激光经过振动的光纤时,其相位发生变化,即破坏了激光的强相干性,从而起到减小散斑噪声的作用。

## 2 实例对比度分析

用对比度<sup>[13]</sup>作为激光散斑控制的评价标准。实验装置选用 40× 的显微物镜,CCD 摄像头像素为 786 × 576 以及 0.65 的数值孔径。当数值孔径不变时,选用 405nm 激光作为系统的照明光源,分别采集音圈电机振动频率在 4Hz ~ 55Hz 时的抛光玻璃表面散斑图像,如图 2 所示,共 52 幅。利用公式  $C = \sqrt{\frac{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2}{\langle I \rangle}}$  (其中,  $I$  是散斑图样的强度)<sup>[14]</sup> 通过 MATLAB 软件计算其对比度。计算结果如表 1 所示。

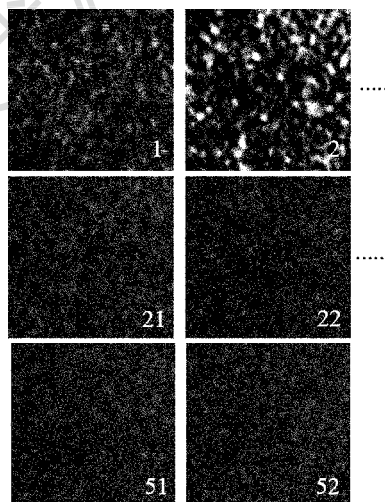


Fig. 2 The speckle image of polishing glass surface under different frequency

Table 1 Speckle contrast

frequency/Hz	4	5	6	7	8	9	10	11	12
speckle contrast	0.1156	0.1197	0.1189	0.1169	0.0985	0.0991	0.0981	0.0976	0.0972
frequency/Hz	13	14	15	16	17	18	19	20	21
speckle contrast	0.0974	0.0890	0.0862	0.0869	0.0851	0.0768	0.0755	0.0754	0.0723
frequency/Hz	22	23	24	25	26	27	28	29	30
speckle contrast	0.0712	0.0753	0.0691	0.0652	0.0629	0.0639	0.0576	0.0533	0.0523
frequency/Hz	31	32	33	34	35	36	37	38	39
speckle contrast	0.0535	0.0511	0.0503	0.0494	0.0462	0.0478	0.0453	0.0445	0.0456
frequency/Hz	40	41	42	43	44	45	46	47	48
speckle contrast	0.0462	0.0421	0.0409	0.0401	0.0396	0.0356	0.0387	0.0341	0.0359
frequency/Hz	49	50	51	52	53	54	55		
speckle contrast	0.0344	0.0328	0.0326	0.0328	0.0326	0.0326	0.0328		

通过 MATLAB 软件,对采集到的多幅显微图像进行散斑对比度计算及对比度曲线拟合,得到音圈电机振动幅度不变频率变化时散斑对比度曲线,如图 3 所示。可以看出,随着振动频率在 4Hz ~ 55Hz 范围内增加时,图像散斑对比度在 0.0326 ~ 0.1197 之间逐渐变小,在 5Hz 时,其对比度最大,屏幕上会显示无规则分布的散斑噪声,如图 2 中的 2 所示。当频率大于 51Hz 时,图像散斑对比度曲线趋于平稳,在 0.0326 对比度处获得了最小值,具有良好的散斑消除效果,即通过频率的控制完成了对激光散斑的控制。

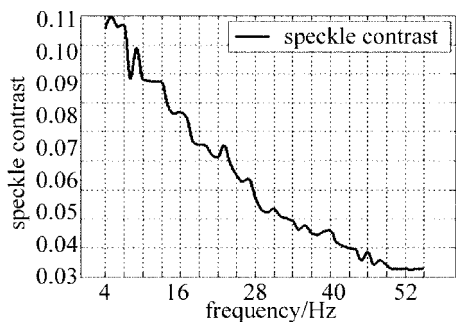


Fig. 3 Contrast curve with the frequency change

为了进一步说明散斑控制的效果,选择最大对比度和最小对比度的两幅散斑图像,即 5Hz 和 51Hz 进行光强分析,如图 4 和图 5 所示。

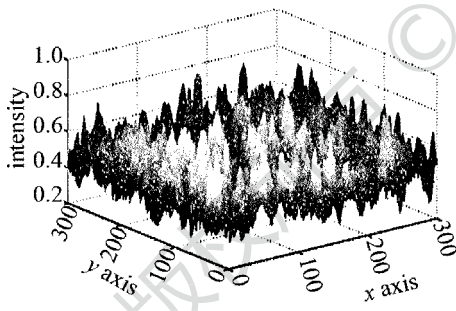


Fig. 4 Intensity distribution of speckle pattern of 2 of Fig. 2

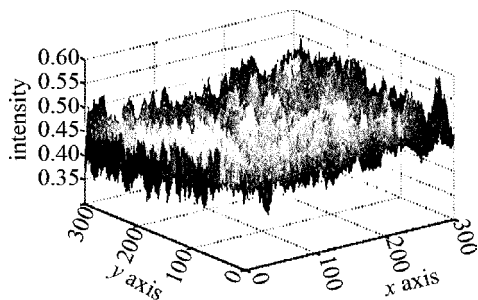


Fig. 5 Intensity distribution of speckle pattern of 51 of Fig. 2

从图 4 中频率为 5Hz 时散斑图的光强分布可以看出,光强的起伏较大,在 0.2 ~ 0.8 范围内波动,多处区域出现尖峰,对应图 2 中的 2,其对比度为

0.1197,验证了频率较小时,图像会出现无规则分布的散斑噪声。图 5 为 51Hz 时散斑图的光强分布,其光强起伏较小,集中在 0.35 ~ 0.5 范围内波动,只有个别区域出现尖峰,其对比度为 0.0326,使显微图像达到 5% 以下的散斑对比度,低于人眼对图像的分辨,说明散斑噪声得到了很好的控制。

### 3 应用

用波长为 405nm 的激光作为激光显微成像系统的照明光源,对散斑消除前后的 DVD-R 盘片显微成像图像进行采集对比,如图 6 所示。

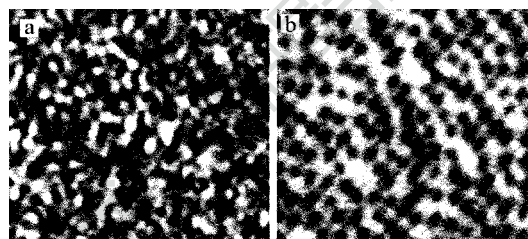


Fig. 6 a—DVD-R disk image when existing speckle noise b—DVD-R disk image without speckle noise

图 6a 为光纤静止时采集到的 DVD-R 盘片图像,可以看出,DVD-R 由于散斑的影响无法分辨。当用音圈电机振动光纤后,在频率为 51Hz 时,采集到如图 6b 所示的 DVD-R 盘片图像,由于光纤受到振动,破坏了激光的强相干性,起到了消除图像散斑的作用。可以看出,此时 DVD-R 盘片图像的信息点能清晰观察。

### 4 结论

该系统中光学显微镜的照明光源选用了 405nm 的短波长激光,当数值孔径不变时,能有效地提高系统分辨率,通过振动音圈电机带动光纤振动的方法来减弱由于采用激光作为光源时所产生的散斑,并对抛光玻璃表面在振动电机不同频率下采集的图像进行对比度分析。结果表明,当幅度不变而频率提高时,散斑的消除效果越来越理想,但在频率提高到一定阈值时,对比度值基本不变,即散斑消除效果趋于稳定,实现了不同频率下对激光散斑的控制,该方法成本低、灵敏度高、结构简单,这对激光散斑消除具有重要意义。

### 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 Internation-

- al Symposium. Tokyo, Japan; IEEE, 2012:198-205.
- [2] WANG X D, LIU W Y, JIN Y H, *et al.* Laser radar image acquisition and display integrated system based on DSP and CPLD [J]. Optics and Precision Engineering, 2004, 12(2):190-194 (in Chinese).
- [3] BI Y, SUN Zh P, LI R N, *et al.* High power blue Nd:YAG laser by intracavity summing frequency [J]. Optics and Precision Engineering, 2005, 13(1):16-21 (in Chinese).
- [4] YANG Ch J, ZHOU J Zh, ZHANG Y K, *et al.* Study on calculation of minimum laser energy of sheet metal deformation by laser shock forming [J]. Optics and Precision Engineering, 2006, 14(3):396-401 (in Chinese).
- [5] YIN R Y, TONG Y, ZHAO Y Q, *et al.* Optical Doppler technologies for micro-circulation measurement and their recent progress [J]. Optical Technique, 2013, 39(2):112-123 (in Chinese).
- [6] 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).
- [7] 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).
- [8] LI X, LIU W Q, TIAN Z H, *et al.* Speckle contrast reduction of laser display system [J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2008, 23(2):153-156 (in Chinese).
- [9] JIA Q Y, HE F T. Speckle homogenization in laser projection display [J]. Laser Technology, 2013, 37(3):400-403 (in Chinese).
- [10] ZHANG D L, HE F T, FENG X Q, *et al.* High-resolution optical micro-survey system with blue illuminating source [J]. Applied Optics, 2005, 26(3):57-59 (in Chinese).
- [11] HE F T, LIU J. Analysis on the speckle contrast of the microscopic image of laser [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2012, 42(3):377-380 (in Chinese).
- [12] HE F T, LIU J, WANG Z, *et al.* The micro-measurement system of high-resolution 405nm laser [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2011, 41(4):603-605 (in Chinese).
- [13] JANAKA S, REGE A, LI N. Laser speckle contrast imaging: theory, instrumentation and applications [J]. IEEE Reviews in Biomedical Engineering, 2013(6):99-110.
- [14] 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).