

文章编号: 1001-3806(2016)01-0122-04

基于塑料光纤的激光散斑特性研究

朱玉晗, 贺锋涛*, 彭小龙

(西安邮电大学 电子工程学院, 西安 710061)

摘要: 为了解决激光成像系统中的散斑问题, 利用 ULN2003 芯片驱动喇叭振动光纤对激光成像系统中的散斑特性进行了研究。采用波长为 532nm 的激光作为系统光源, 通过线阵 CCD 图像传感采集系统对激光散斑图像进行采集, 对塑料光纤在不同振动频率下的激光散斑对比度进行了分析。结果表明, 在光纤振动幅度不变、振动频率在 0Hz ~ 20Hz 内逐渐增加时, 图像散斑对比度逐渐减小; 当振动频率大于 16Hz 时, 图像的散斑对比度趋于稳定, 达到良好的散斑抑制效果, 可用于激光显示及激光成像等领域。

关键词: 激光技术; 激光散斑; 光纤振动; 散斑对比度; 频率

中图分类号: TN249

文献标志码: A

doi: 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2016.01.027

Research of characteristics of laser speckle of plastic optical fiber

ZHU Yuhan, HE Fengtao, PENG Xiaolong

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

Abstract: In order to solve the speckle problem in laser imaging systems, characteristics of laser speckle in imaging systems were studied with the fiber vibrated by a speaker driven by ULN2003 chip. In this experiment, using 532nm wavelength laser as light source of system and using linear CCD image sensor acquisition system to acquire laser speckle images, laser speckle contrast of plastic fiber was analyzed at different vibration frequencies. The results show that when fiber vibration amplitude is stable and vibration frequency increases from 0Hz to 20Hz, image speckle contrast decreases. When vibration frequency is more than 16Hz, image speckle contrast tends to be stable and can get good effect of speckle elimination. The study can be used for laser display, laser imaging and other fields.

Key words: laser technique; laser speckle; optical fiber vibration; speckle contrast; frequency

引言

当激光作为成像系统中的光源时, 与普通光源相比, 激光光源具有单色性好、亮度高、方向性强和相干性强等特点^[1-5]。在激光成像系统中, 由于激光的高度相干性, 激光散斑的现象就更加明显, 散斑的出现严重影响了图像画面的质量, 降低了图像的分辨率和清晰度^[6-7], 从而减弱了观察者从图像中提取相关细节的能力, 所以对激光散斑特性的研究尤为重要。国内外科研工作者都曾提出过很多降低散斑对比度的方法, 如利用不同波长的光源照明^[8]、脉冲激光的叠加^[9]、抖动屏幕^[10]、移动散射体^[11]、液晶调制^[12]等方法来减小图像的散斑对比度, 这些方法虽然可以降低散斑对比度, 但对于激光成像系统来说, 以上方法结构相对复

杂、成本较高, 并且很难达到理想的效果, 因此并不是很实用。

作者提出将 532nm 的激光引入 0.6mm 塑料多模光纤, 用线阵 CCD 图像传感采集系统对激光散斑图像进行采集, 通过 ULN2003 芯片驱动 2.5cm 喇叭控制塑料光纤的振动频率, 使用线阵 CCD 摄像机得到相应的视频信号, 由线阵 CCD 上位机软件处理分析后, 在监视器上显示出塑料光纤振动在不同频率时的激光散斑图像的变化, 进而通过图像散斑对比度的分析实现了对塑料光纤的激光散斑特性的研究^[13]。该方法不仅有利于激光的传输, 而且通过振动塑料光纤使得图像中的散斑对比度明显降低, 提高了图像的分辨率和清晰度, 进而观察者就可以选择画面质量较好的图像存储到计算机中, 以便进行相应的分析和处理。因此, 利用塑料光纤的振动特性来抑制激光成像系统中散斑对比度的方法是切实可行的。

1 系统结构及实验原理

1.1 系统结构

该系统采用 0.5W, 532nm 的固体激光器作为光

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61201193)

作者简介: 朱玉晗(1988-), 女, 硕士研究生, 主要从事光电传感系统的研究。

* 通讯联系人。E-mail: hefengtao@xupt.edu.cn

收稿日期: 2014-11-11; 收到修改稿日期: 2015-01-07

源,通过 0.6mm 塑料多模光纤^[14]将激光引入线阵 CCD 摄像头在线阵 CCD 显示器上成像,同时利用光纤传感技术和线阵 CCD 图像采集系统^[15]对图像进行采集,数据采集系统会使内部模数转换器从线阵 CCD 中取得散斑图像和灰度曲线,并存储到计算机中,进而计算机中的线阵 CCD 上位机软件会显示出所采集到的散斑图像和灰度曲线,从获取的图像数据中获得需要的相关信息,系统框图如图 1 所示。

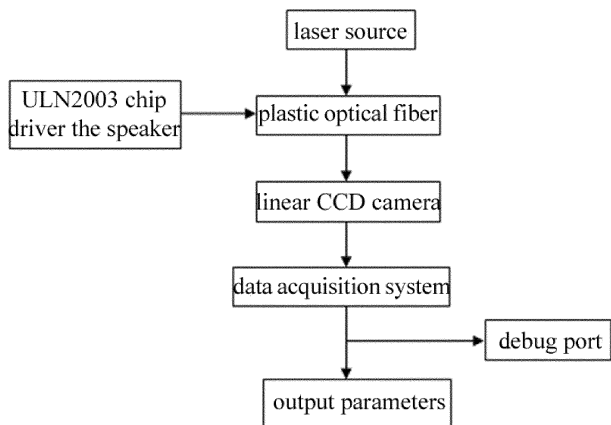


Fig. 1 System block diagram

传感系统的原理图如图 2 所示,其工作原理为: 0.5W,532nm 的激光通过振动的塑料光纤后产生的散斑图像由线阵 CCD 摄像头在线阵 CCD 显示器上成像,利用光纤传感技术和线阵 CCD 图像采集系统对塑料光纤振动在不同频率时的图像进行采集,并存储到计算机中,进而用线阵 CCD 的上位机软件对其进行分析处理,得到相应的散斑图像和灰度曲线。

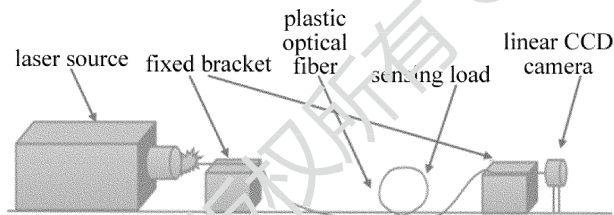


Fig. 2 Principle diagram of laser speckle analysis

1.2 实验原理

从散斑的成因和影响散斑场的因素可以知道,当光纤振动频率发生变化时,散斑场分布会有所变化,采集到的散斑图像也会随之发生变化,而这些变化会反映在散斑图像所携带的信息上,也会呈现在灰度及对比度的变化上。记录并分析这些数据变化,就可以从找出图像散斑对比度随塑料光纤振动频率发生变化的关系。

从对比度来评价散斑,散斑对比度定义为:

$$C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \times 100\% \quad (1)$$

式中, I_{\max} 为采集到的激光散斑图像的灰度图中像素最

大值, I_{\min} 为采集到的激光散斑图像的灰度图中像素最小值^[15]。

实验中作者将 532nm 的激光引入振动的塑料光纤来降低图像的散斑对比度,即通过 ULN2003 芯片驱动 2.5cm 喇叭振动塑料光纤使其发生剧烈的振动,该振动会影响激光在塑料光纤中的传输路线,因此会产生不同的散斑图像。由于塑料光纤的剧烈振动使得散斑图像的结构不断变化,在积分时间内散斑结构的叠加会使散斑对比度得到不同程度的减小,散斑的减弱程度由散斑结构的相互关系决定。当塑料光纤静止时,其散斑结构的相干性没有变化,检测器接收到的散斑结构完全相干,就形成了静态散斑,此时散斑对比度大;当塑料光纤振动时,检测器接收到的散斑结构相互独立,屏幕上不同散斑之间的相位差会随时间发生随机变化,此时散斑对比度明显减小。

综上所述,散斑对比度的大小取决于散斑结构之间的关系,因此,通过塑料光纤的振动来降低散斑对比度的方法是切实可行的,此方法简单易行且成本较低、便于实现,对于激光成像系统中散斑的抑制有很好的效果。

2 实验结果分析

实验中采用 0.5W,532nm 的固体激光器作为光源,并通过线阵 CCD 上位机软件对线阵 CCD 图像采集系统所采集到的图像进行分析和处理,进而通过图像散斑对比度的分析实现了对塑料光纤的激光散斑特性的研究。

作者利用光纤振动传感技术和线阵 CCD 图像采集系统对获取的激光散斑图像进行实时观察,并将采集到的图像存储到计算机中,利用计算机中的线阵 CCD 上位机软件对采集到的图像进行分析处理,将散斑图像转换为灰度图像并计算分析其散斑对比度。振动装置采用 ULN2003 芯片驱动 8cm 喇叭,分别采集喇叭振动电压为 5V,频率在 0Hz ~ 20Hz 变化时的散斑图像及灰度曲线,其灰度曲线中的横坐标是线阵 CCD 的 128 个像素值,纵坐标是图像的灰度值,与上面散斑图像的变化是相对应的,如图 3a ~ 图 3d 所示。图 3a 和图 3b 是光纤上未加载振动(即频率为 0Hz)时激光成像系统获得的散斑图像及灰度曲线,其中图 3a 是频率为 0Hz 的第 1 幅图,图 3b 是频率为 0Hz 的第 10 幅图;图 3c 和图 3d 是光纤上加载振动(即频率为 20Hz)时激光成像系统获得的散斑图像及灰度曲线,其中图 3c 是频率为 20Hz 的第 1 幅图,图 3d 是频率为 20Hz 的第 10 幅图,由这几幅小图对比可以看出,通过振动塑料光纤可以明显降低图像散斑对比度。此外,作者对振

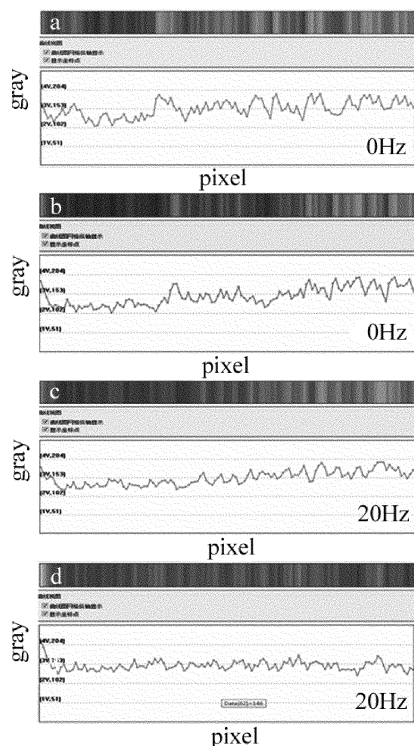


Fig. 3 Speckle image of fiber optic vibration at different frequencies

动频率在 0Hz ~ 20Hz 变化时采集到的图像通过串口调试窗口,得到相应的激光散斑图像对比度,并取其平均值得到塑料光纤振动频率在 0Hz ~ 20Hz 时的平均散斑对比度。

通过 MATLAB 软件,将塑料光纤振动频率在 0Hz ~ 20Hz 时的平均散斑对比度进行曲线拟合,得到塑料光纤振动频率变化时的图像散斑对比度曲线,如图 4 所示。从图中可以看出,随着塑料光纤振动频率在 0Hz ~ 20Hz 范围内增加,图像散斑对比度逐渐减小,在 0Hz 时,其对比度最大,散斑对比度最大可到 34%;当振动频率大于 16Hz 时,图像散斑对比度曲线趋于稳定,最低可到 5% 左右。

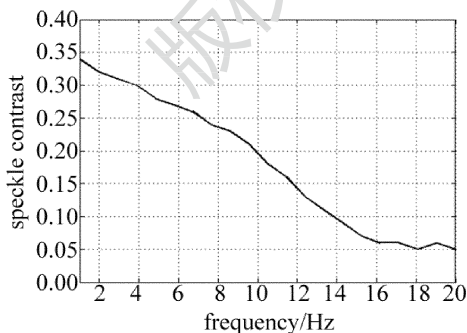


Fig. 4 Relationship between contrast and frequency

3 实例应用

采用波长为 532nm 的激光作为系统光源,采用上述振动塑料光纤抑制散斑的方法,将塑料光纤中的激光引入显微成像系统中,图 5a 和图 5b 是散斑抑制前

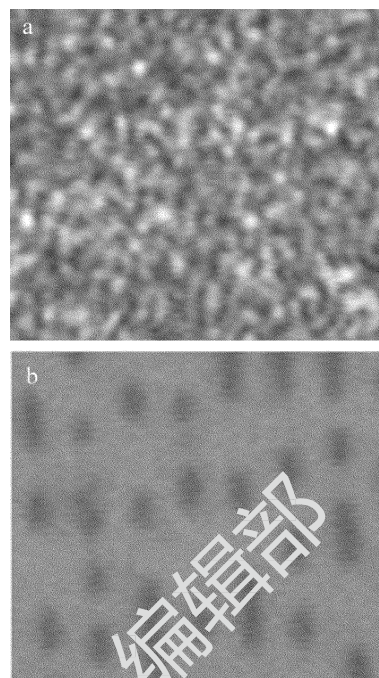


Fig. 5 a—CD-R disk image with speckle noise b—CD-R disk image without speckle noise

后的 CD-R 盘片图像。

图 5a 是塑料光纤上未加载振动(即频率为 0Hz)时采集到的 CD-R 盘片图像,由图可以看出,此时 CD-R 盘片表面图像完全被散斑噪声淹没,因此 CD-R 盘片上的信息点均无法分辨。图 5b 是采用 ULN2003 芯片驱动 8cm 喇叭振动塑料光纤后,即振动频率为 18Hz 时采集到的 CD-R 盘片图像,由于塑料光纤受到振动,该振动会影响激光在塑料光纤中的传输路线,从而消除了由于激光相干性所产生的散斑噪声,进而达到了良好的散斑抑制效果,因此 CD-R 盘片上的信息点可清晰分辨。

4 结论

通过振动塑料光纤的方法对激光散斑特性进行了研究,在有利于激光传输的同时也减少了能量的损失,并对其在不同振动频率下的散斑对比度进行了分析。实验结果表明,通过该方法可以将散斑对比度控制在 5% 左右,实现了良好的散斑抑制效果,可满足激光显示及激光成像系统中对散斑减弱的要求。

参考文献

- [1] LI X, LIU W Q. Speckle contrast reduction in laser display [J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Display, 2008, 23(2): 153-156 (in Chinese).
- [2] JIA Q Y, HE F T. Research for the problem of speckle homogenization in laser projection display [J]. Laser Technology, 2013, 37(3): 400-405 (in Chinese).
- [3] YIN R Y, TONG Y, ZHAO Y Q, et al. Optical Doppler technologies for micro-circulation measurement and their recent progress [J]. Opti-

- cal Technique, 2013, 39(2):112-123 (in Chinese).
- [4] WANG X D, LIU W Y, JING 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).
- [5] TIAN Y L, WANG H. Speckle measurement in laser projection display [J]. Advanced Display, 2012, 135(4):34-37 (in Chinese).
- [6] YU G, WANG S G, YUN J H. 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] NICHOLAS G, ATUL J. Speckle reduction using multiple tones of illumination [J]. Applied Optics, 1973, 12(6):1202-1212.
- [9] KI S, ASATANI K. Speckle noise reduction in fiber optic analog video transmission using semiconductor laser diodes [J]. IEEE Transactions on Communications, 1981, 29(7):1017-1024.
- [10] RAWSON E G, NAFARRATE A B, NORTON R E, *et al.* Goodman speckle-free rear-projection screen using two close screens in slow relative motion [J]. Journal of the Optical Society of America, 1976, 66(11):1290-1294.
- [11] LOWENTHAL S, JOYE D. Speckle removal by a slowly moving diffuser associated with a motionless diffuser [J]. Journal of the Optical Society of America, 1971, 61(7):847-851.
- [12] KIEMLE T H, WOLFF U. Application de cristaux liquides en holographie optique [J]. Optics Communication, 1971, 3(1):26-28.
- [13] WANG X L, HE F T. Laser speckle control based on optical fiber vibration [J]. Laser Technology, 2014, 38(2):177-180 (in Chinese).
- [14] WANG L J, QIU Y S, CHEN H X, *et al.* Analysis of speckle reduction by the vibrating fiber [J]. Acta Photonica Sinica, 2011, 40(8):1211-1214 (in Chinese).
- [15] HE F T, LIU J. Analysis on the speckle contrast of the microscopic image of laser [J]. Journal of North West University (Natural Science Edition), 2012, 42(3):377-385 (in Chinese).