

文章编号: 1001-3806(2013)03-0400-04

激光投影显示中散斑均化问题的研究

贾琼瑶, 贺锋涛*

(西安邮电大学 电子工程学院, 西安 710061)

摘要: 为了解决激光投影显示中因光源相干性所引起的激光散斑而导致投影图像的亮度不均、清晰度下降的问题, 采用将激光引入振动的多模光纤的方法, 实现了输出的激光模场在各种模式间发生高频跳动的功能, 从而在多模光纤输出端获得传输光信号均匀化、消相干的输出效果。结果表明, 投影图像的散斑对比度明显降低, 达到人眼难于分辨的4%以下。

关键词: 激光技术; 散斑均化; 多模光纤; 散斑对比度

中图分类号: TN27 文献标识码: A doi: 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2013.03.029

Speckle homogenization in laser projection display

JIA Qiong-yao, HE Feng-tao

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

Abstract: In order to solve the problem of uneven brightness and decreased sharpness of the projected image caused by the laser speckle rising from the coherence of the light source in the laser projection display, introducing laser into a vibrating multimode optical fiber, the output laser mode field beats between the various modes at high frequency, and homogenized and incoherent results were obtained. The results show that the speckle contrast ratio of the projected image is significantly reduced to 4% or less, which the human eye is difficult to distinguish.

Key words: laser technique; speckle homogenization; multimode fiber; speckle contrast

引言

随着显示技术的跨越式发展, 激光显示技术成为显示领域的重大发展方向, 同时也成为国际显示领域的研发热点之一, 具有很好的应用前景。激光显示就是以红(R)、绿(G)、蓝(B)三基色激光为光源的图像信息终端显示技术, 最真实地再现客观世界丰富、艳丽的色彩, 提供更具震撼的表现力。与自然光色域相比较, 传统显示设备只能再现人眼所见颜色的30%, 而目前正在开发中的激光显示方式可覆盖90%, 这一巨大的潜力让人们对于激光显示技术的未来充满期待, 因此, 激光显示被称为“人类视觉史上的革命”^[1-3]。

但是, 作为投影光源的激光, 其高度的相干性会使得投影屏幕上出现激光散斑现象^[4-5]。激光散斑的存在使得图像的灰度发生剧烈的变化, 降低了图像的分辨率, 隐藏了图像的细节信息, 减弱了观察者从相干图像中提取细节的能力, 这大大阻碍了激光显示技术的快速发展。为此, 不少科研工作者提出了很多减弱散斑的方法, 如: 利用不同波长的光源降低激光的相干性^[6]、脉冲激光的叠加^[7]、移动散射体^[8]、移动孔径光阑^[9]、超声波、屏幕振动^[10]等。这些方法都是通过降低激光的时间或空间相干性并且在近场条件(全息照相中的散斑)下来抑制散斑斑纹的, 但对于激光显示而言, 上述方法系统结构复杂、成本高, 并且很难达到理想的效果。因此, 研究投影图像中的散斑均化问题对于激光显示技术具有重要的意义。

作者所在实验室提出了一种通过振动多模光纤来均化激光散斑的方法, 即将激光引入振动的多模光纤, 不仅利于激光的传输, 而且通过振动的多模光纤使得投影图像中的散斑对比度明显降低, 人眼很难分辨。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60678013)

作者简介: 贾琼瑶(1987-), 女, 硕士研究生, 主要从事激光成像关键技术中的散斑消除及光电传感信息处理技术等方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: hefengtao@xupt.edu.cn

收稿日期: 2012-09-16; 收到修改稿日期: 2012-10-29

1 实验装置及实验理论

1.1 实验装置

本实验装置采用 0.5W 的 532nm 激光作为投影光源,同时结合 240pixel × 320pixel 分辨率的液晶空间光调制器,通过 ARM 驱动控制液晶空间光调制器对图像和文字信息进行调制,即通过图片编辑软件编辑想要的图片,再通过图片转换软件转换成数组形式放到 ARM 处理器(advanced RISC machines, ARM)程序中,通过 ARM 程序把图片送入液晶中并且显示出来,再通过成像系统实现了图像及文字的投影显示。

系统基本组成包括:激光光源、耦合透镜、多模光纤、准直透镜、ARM、液晶空间光调制器、成像透镜、屏幕。

工作原理如下:532nm 的激光经耦合透镜耦合进振动的多模光纤,通过准直透镜准直后照射到液晶空间光调制器上,液晶空间光调制器在 ARM 微处理器的驱动控制下对图像及文字信息进行调制,调制信息经成像透镜($f = 50\text{mm}$)成像投影显示到屏幕上。

实验装置如图 1 所示。

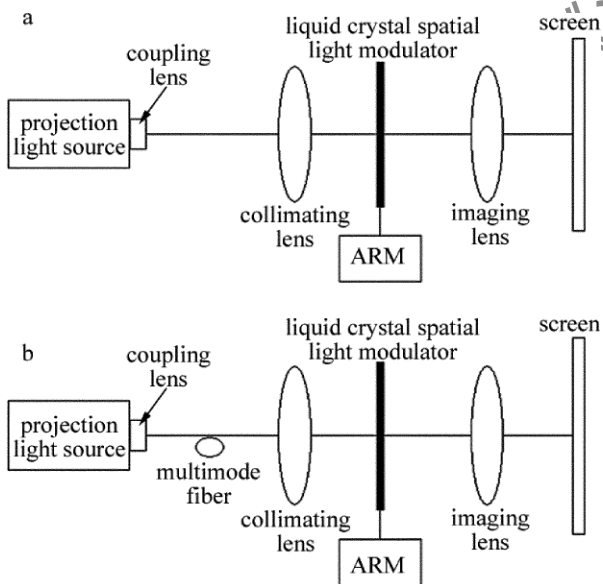


Fig. 1 Experimental device

a—multimode optical fiber without vibrating b—vibrating multimode optical fiber

1.2 实验理论

和其它光源相比较,激光器有四大优势:(1)对比度更好;(2)色域更好;(3)有潜力得到更大的亮度;(4)在某种投射非常窄的逐点扫描光束的配置

中有接近无穷大的焦深。但由于激光本身具有高度的相干性,当激光作为光源照射到粗糙物体表面时会形成激光散斑,在激光显示中散斑的存在严重影响了成像质量,使图像的清晰度和分辨率下降。因此在采用激光作为投影光源时,应付出的代价是需要尽力抑制散斑,如果不抑制,激光散斑会造成极低的信噪比,令观察者不满意。

国内外已经有研究机构提出很多关于抑制激光散斑的方法,如利用不同波长的光源照明、屏幕的振动、移动孔径光阑、脉冲激光的叠加^[11]等都不同程度地降低了散斑对比度。

这里,作者用对比度作为散斑的评价标准,散斑对比度定义为:

$$C = \frac{\sqrt{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2}}{\langle I \rangle} \quad (1)$$

式中, $\langle I \rangle$ 表示系统平均 I 为散斑图上某一点处的光强值^[11]。

在本实验装置中,作者采用的是让激光通过耦合透镜耦合进振动的多模光纤传输的方法来均化激光散斑,即利用振动器使多模光纤反射光在多模光纤内部的反射形式发生剧烈的改变,振动的多模光纤影响光的传输路线,从而造成不同的出射角度和光程,产生不同的散斑图样。多模光纤的不断振动使得散斑结构不断变化,便形成了“沸腾”的散斑,在积分时间内散斑结构的叠加必然造成散斑对比度的降低,最终实现输出的激光模场在各种模式间发生高频跳动的功能,从而在多模光纤输出端获得传输光信号均匀化、消相干的输出效果,达到散斑均化的目的。

当散斑对比度降到 4% 以下时,人眼就看不到散斑了^[12]。此方法简单、成本低且易于实现,对于激光散斑的均化有很好的效果。

2 实验结果及分析

实验装置采用 532nm 的半导体激光器作为投影光源,结合了激光投影中关于散斑均化的技术,在此基础上又加入液晶空间光调制器,通过 ARM 驱动控制液晶空间光调制器对图像和文字信息进行调制,实现了对图像和文字信息的投影显示。

作者利用 CCD 图像传感技术和图像采集技术对投影显示的图像进行实时观察与存储,将投影图像采集到计算机中,并利用计算机中的图像处理模块^[11,13]对投影显示图像进行处理分析。将散斑图

像转换为灰度图像并计算分析其散斑对比度,得到散斑均化前后的灰度图像(如图2所示)和光强分布图(如图3所示)。

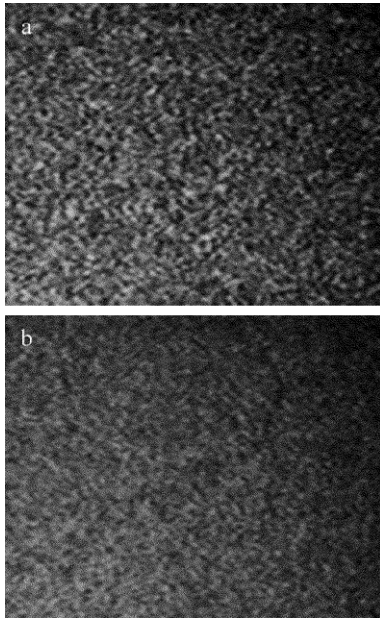


Fig. 2 Projected image of no speckle averaging or speckle averaging
a—the projected image of no speckle averaging b—the projected image of speckle averaging

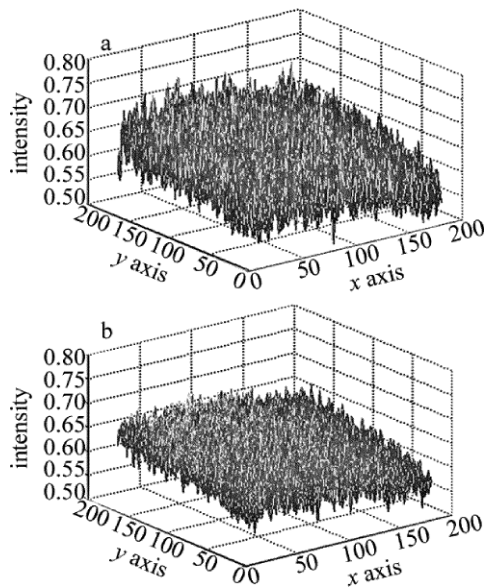


Fig. 3 Intensity distribution map of the multimode optical fiber without vibrating or vibrating
a—the intensity distribution map of the multimode optical fiber without vibrating b—the intensity distribution map of the vibrating multimode optical fiber

由于激光散斑的存在,严重地影响了投影图像的质量,降低了图像的分辨率,图2a、图3a分别为散斑未均化的投影散斑图像和光强分布图。而作者让激光光束通过振动的多模光纤对散斑均化后,获

得了投影图像信息及光强分布图,分别如图2b、图3b所示。由图2、图3对比可以看出,振动的多模光纤对于散斑均化有很好的效果,散斑的对比度明显地降低了。

利用计算机中的图像处理模块对采集到的投影图像进行处理分析,得到在散斑未均化时投影图像的散斑对比度为12.96%,而散斑均化后投影图像的散斑对比度为3.22%。一般情况下,当对比度达到4%以下,人眼就难于分辨了。

此外,作者采用此方法对分辨率为 $240\text{pixel} \times 320\text{pixel}$ 液晶空间调制器的液晶单元进行了投影显示,投影效果图如图4所示,更加清楚形象地说明了振动多模光纤对于投影显示图像的散斑均化有很好的效果,对于激光投影显示技术具有很重要的作用。

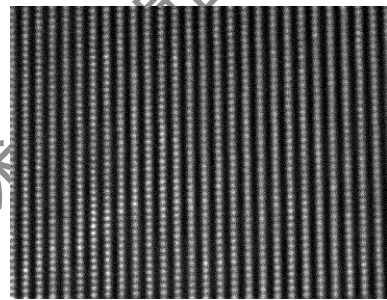


Fig. 4 Effect image of the LCD unit's projection

让激光通过耦合透镜耦合进振动的多模光纤传输,即利用振动器使多模光纤反射光在多模光纤内部的反射形式发生剧烈的改变,最终实现输出的激光模场在各种模式间发生高频跳动的功能,从而在多模光纤输出端获得传输光信号均匀化、消相干的输出效果。此方法简单、成本低且易于实现,对于激光散斑的均化有很好的效果。

3 小结

投影显示在大屏幕、大的计算机监视器、广告、模拟器以及其他用途中广为应用。当这些显示用激光作为三原色的光源时,散斑的出现成为令人烦扰的噪声,要看得满意,必须对它进行处理。

实验结果表明,采用振动多模光纤的方法对于减弱激光投影显示中散斑噪声的影响是切实可行的。自从激光问世以来,在全息和显示中,散斑噪声的抑制一直困扰着人们,很大程度上制约了当前激光电视的发展,作者引入振动的多模光纤,一方面利于激光的传输,减小了能量损失,并对激光匀光有一定的作用,更为重要的是,利用振动器使多模光纤反射光在多模光纤内部的反射形式发生剧烈的改变,

最终实现输出的激光模场在各种模式间发生高频跳动的功能,从而在多模光纤输出端获得传输光信号均匀化、消相干的输出效果。

该方法很早就被提出,但多模光纤的参量选择、振动装置的参量选择对散斑抑制效果的影响仍需进一步研究,要得到理想的抑制效果,可能需要与其它方法相结合。

参 考 文 献

- [1] XU Z Y. Laser displays—new display technology for next generation[J]. *Laser & Infrared*, 2006, 36(s1): 737-741 (in Chinese).
- [2] 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.
- [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(in Chinese).
- [4] YU G, WANG Sh G, YUN J H. Technology of digital speckle pattern interferometry and its applications [J]. *Laser Technology*, 2002, 26(3): 237-240(in Chinese).
- [5] 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).
- [6] NICHOLAS G, ATUL J. Speckle reduction using multiple tones of illumination[J]. *Applied Optics*, 1973, 12(6): 1202-1212.
- [7] 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.
- [8] LOWENTHAL S, JOYEU 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.
- [9] McKECHNIE T S. Reduction of speckle by a moving aperture—first order statistics[J]. *Optics Communications*, 1975, 13(1): 35-39.
- [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] LI X, LIU W Q, TIAN Zh H, *et al.* Speckle contrast reduction in laser display [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2008, 23(2): 153-154(in Chinese).
- [12] WANG L L, TSCHUDI T, HALLDORSSON T, *et al.* Speckle reduction in laser projection systems by diffractive optical elements [J]. *Applied Optics*, 1998, 37(10): 1770-1775.
- [13] GU G Q, WANG K F, YAN X J. Electronic speckle interferometry image processing based on homomorphic filtering [J]. *Laser Technology* 2010, 34(6): 750-752(in Chinese).