

文章编号: 1001-5078 (2006) 10-0927-04

激光显示中散斑的抑制

郝 丽, 张 岳, 刘伟奇, 柳 华, 冯 睿, 魏忠伦
(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘 要: 文章首先概述了散斑的形成机理, 接着简述了在近场条件下通过降低激光的时间或空间相干性来抑制散斑的许多方法, 并具体分析了仅通过降低激光的相干性来减弱激光显示中散斑的缺陷。提出一种在远场条件下减弱散斑的两维扫描复面转镜, 且详细说明了该转镜的工作原理, 当合成的激光束通过旋转的复面镜时, 移动的干涉条纹在屏幕上产生“沸腾”的散斑图样。最后以红光为例, 说明了合成光束通过转镜时显示屏幕上散斑对比度的降低, 显示了二维转镜有效地抑制了激光显示中的散斑现象。

关键词: 激光显示; 散斑的抑制; 二维扫描转镜

中图分类号: TN873; TN249 **文献标识码:** A

Speckle Suppression in Laser Display

HAO Li, ZHANG Yue, LIU Wei-qi, LIU Hua, FENG Rui, WEI Zhong-lun

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033, China)

Abstract: Firstly it summarizes how laser speckle is formed, then speckle suppression is simplified in the near field by reducing or eliminating temporal or spatial coherence of the laser, and disadvantages are detailed to reduce speckles only by changing the coherence properties of laser in the far field such as in laser TV. Rotating polygon mirror with two-dimensional scanning which can decrease speckles in the far field is proposed and how rotating polygon mirror is illuminated in detail. When combined laser beams go through rotating polygon mirror with two-dimensional scanning, moving interference fringes produce "boiling" speckle patterns in the screen. Finally speckle contrast is explained when combined laser beams pass rotating polygon by taking example for red beam, which effectively reduce speckles in laser display owing to rotating polygon mirror with two-dimensional scanning.

Key words: laser display; speckle suppression; rotating polygon mirror with two-dimensional scanning

1 引 言

在激光投影系统中,例如激光电视系统,一束平行相干激光束扫描屏幕,像素逐点成像。由于激光的单色性好,色纯度高,按三色合成原理,在色度图上有最大的色三角形区域,因而它有其它光源所不可比拟的优势。然而激光有一个不可忽略的缺陷,即作为光源的激光照射到粗糙物体的表面会形成激光散斑,屏幕上强烈的散斑条纹严重影响了成像质量,降低了图像的分辨率和对比度。这个问题长期以来一直未能成功解决,已经成为制约激光电视快速发展的因素之一。

如图 1 所示,一束平行激光照射一粗糙平面(与光波长相比)上时,表面上各点都要向空间散射

光,这些光的振幅和位相无规则分布。来自粗糙物体表面上各个小面积元射来的基元光波,将相互干涉而产生强度显颗粒状的图样,即激光散斑,也称为斑纹^[1]。一般来说,按照光场的传播方式,可以把散斑分为两类,一类是通过自由空间传播形成的近场散斑(与菲涅尔衍射对应)和远场散斑(与夫琅和费衍射对应),另一类是像面散斑^[2]。激光电视屏

基金项目: 国家“863”计划资助项目 (No. 2002AA311130); 中国科学院知识创新工程项目 (No. C02E05Z); 吉林省科技厅资助项目 (No. 20030302)。

作者简介: 郝 丽 (1980 -), 女, 硕士, 主要研究方向是激光显示中散斑噪声的减弱, 光学系统设计, 颜色光学等。

收稿日期: 2006-04-27

幕上的散斑是激光通过自由空间传播形成的,观察者一般在 3、4m 左右的地方看电视,由此可知,激光电视中的散斑为远场散斑。在激光显示长期发展过程中,不少科研工作者都曾提出抑制散斑的很多方法^[3-6],如利用不同波长的光源,单光纤或纤维束照明等来降低激光相干性,从而减弱散斑;利用脉冲激光的叠加、移动散射体、移动孔径光阑、超声波、屏幕的振动等方法来降低散斑。这些方法都是通过降低激光的时间或空间相干性,并且在近场条件下来抑制斑纹。可是,在激光显示中,这些方法是很难在保证激光功率和光束质量的前提下改变激光的时间或空间相干性的。

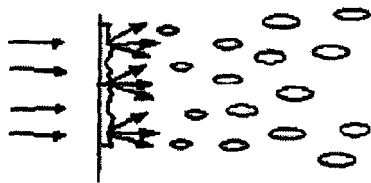


图 1 散斑的形成

Fig 1 speckle formation

我们设计出一种在远场条件下减弱散斑的两维扫描复面转镜,当合成的激光束通过旋转的复面镜时,移动的干涉条纹在屏幕上产生“沸腾”的散斑图样,保证了在远场且不降低光束质量的前提下有效地抑制了散斑。

2 方法原理

当观察者距离散斑图样较近时,如图 2 所示,不妨设人眼离散斑图样的距离 $f = 15\text{mm}$,散斑图样高度 $D = 20\text{mm}$,照明激光波长为 λ (以红光为例 $\lambda = 671\text{nm}$),根据散斑横向尺寸^[7]的计算公式,则人眼看到的散斑尺寸为:

$$d = \frac{1.22\lambda f}{D} = \frac{1.22 \times 671\text{nm} \times 15\text{mm}}{20\text{mm}} = 0.61\mu\text{m}$$

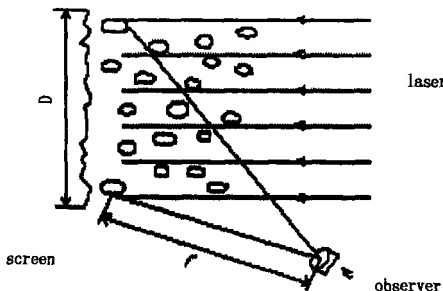


图 2 散斑的分布与尺寸

Fig 2 speckle distribution and speckle size

由此可知在近场情况下,散斑的横向尺寸是非常小的,所以可以通过空间光调制器调节投影光束的位相变化而抑制散斑。如果位相调制变化大于人眼的累积时间,人眼是看不到散斑的。还可以通过降低激光的相干长度来减弱散斑。如果激光的相

干长度大于散射光的光程差,散斑的对比度也会降低。

但是这对于激光显示屏幕上的远场散斑是不可行的。假设人眼离屏幕的距离扩大为 $f = 4.5\text{m}$, D, λ 不变,同理可得散斑横向尺寸 $d = 0.18\text{mm}$,这远远大于人眼的分辨能力。因此仅通过调节投影激光束空间位相的变化是不可能消除散斑的。

在激光投影系统中,屏幕表面的粗糙是形成散斑的主要原因。散斑的强度分布不仅与光源的相干长度和被照物体表面的标准偏差直接相关,还与照明角度紧密相联^[8]。如果光源的相干长度较长,不管入射到任何物体的表面都会产生散斑;如果光源的相干长度较短,散斑将取决于被照平面的粗糙度。所以用宽谱带宽度和短相干长度的激光或用扩展光源作为激光显示的光源,屏幕上的散斑都会减弱。但这两种方法都会降低光束质量,使得图像的清晰度不够,所以在激光显示中这两种减弱散斑的方法也是行不通的。

通常把因散射屏运动而随时间变化的散斑现象称为动态散斑,一般相当复杂。但可以把这种变化归结为两种基本形式:图样“沸腾”(散斑图样整体表现为无规运动)和图样“冻结”(散斑图样整体表现为按某种规律运动)。在某些条件下,这两种变化形式可以分别出现,而通常则是两者同时存在。若显示屏幕上的散斑为无规“沸腾”的散斑图样,由于人眼对光的积分效应,人眼是看不到散斑的,关键是怎样产生“沸腾”的散斑图样,当然可以通过移动屏幕产生“沸腾”图样,但这在实际中是不可取的。我们实验室设计出如图 3 所示的能实现两维扫描的复面转镜,该转镜采用 60 个扫描镜面,从第 1 个面起到第 30 面,依次递减 10°,从第 30 面到第 60 面依次递增相同角度。转镜扫描时,从第 1 面开始,每转 1 个面,扫描线下移 1 行,转到第 30 面时,扫描线下移 30 行,之后,扫描线开始逐行上移,直到回到第 1 行,转镜旋转一周,此过程如此重复下去。当扫描镜达到 4000 r/min 转速时,经转镜扫描的移动投影光束,照射到显示屏幕上,扫出的光照面就会使人感到一个恒定的亮面。这种利用瞬时小视场的扫描方式,实现了水平和垂直的扫描视场角,且当单色激光入射到旋转的两维扫描镜上时,从每一独立时刻看,成像平面内只有一点扫描光束,也只有在这一点处发生干涉。而在另外一独立时刻,移动光束扫描屏幕上另一点,所以屏幕上任何两观察点处的散斑光强起伏是独立变化的,并且在每个观察点处散斑的出现和消失也是独立的,因此观察面上将呈现“沸腾”状态的散斑,再考虑到人眼的视觉暂留特性,可

知人眼是看不到散斑的。

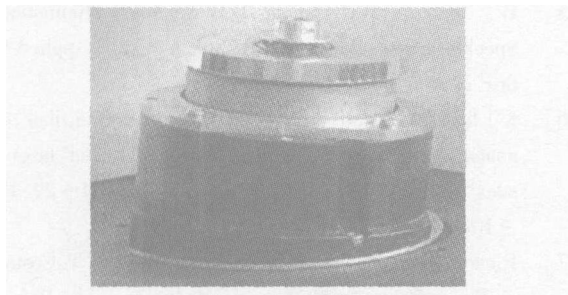
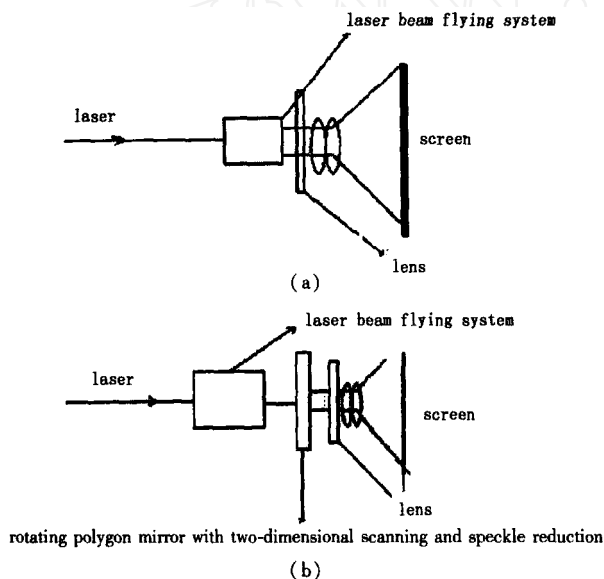


图 3 可实现两维扫描的复面转镜

Fig 3 rotating polygon mirror with two-dimensional scanning

3 实验与结果



(a)无二维扫描消散斑转镜, (b)有二维扫描消散斑转镜

(a) without rotating polygon mirror with two-dimensional scanning and speckle reduction, (b) with a rotating polygon mirror with two-dimensional scanning and speckle reduction

图 4 减弱散斑的实验装置

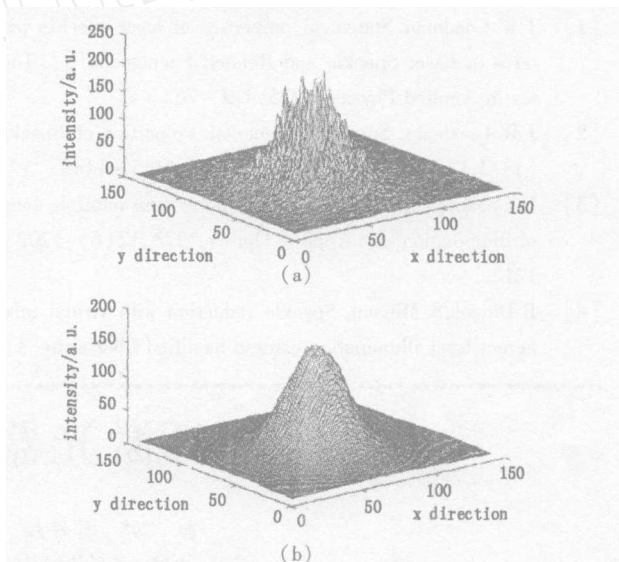
Fig 4 experimental setup for speckle reduction

实验装置如图 4 所示。激光电视的内部结构是一个复杂的光学系统,红绿蓝三激光器发出红、绿、蓝三基色光,经过一系列反射与投射后汇聚为一束(我们实验中用的红光)。当合成的激光束通过激光器扫描系统和透镜组后,不同的衍射级相互叠加在投影屏幕上。在图 4(a)中,没用二维扫描消散斑转镜,通过 CCD 相机和图像处理系统,在投影屏幕上观察到的是静止的像素。在图 4(b)中,准直的合成光束入射到二维扫描消散斑转镜上,移动的干涉条纹在屏幕上产生“沸腾”的散斑图样。

我们实验室所用的是红、绿、蓝三色二极管泵浦固体激光器,三基色波长分别 671nm, 532nm, 473nm;功率为 3.5W, 0.32W, 1.3W;系统最高分辨率为 1024 × 768,可接受 NTSC、PAL 制 V D E O 信号、S-V D E O 信号、XGA 信号等; 24 位真彩色显示。在

本实验中以红光为例,说明显示屏幕上散斑的抑制情况。

为了能够充分观察到散斑的减弱,投影屏幕用的是一张白色的打印纸。用 Allegretto M81 分辨率为 1200 × 800 Pixels 的 CCD 摄相机测量观察者眼中散斑场的分布^[9]。用一大快速变焦物镜把屏幕上的像成在 CCD 阵列上,通过调节 CCD 摄相机前方的物镜与摄像机的光圈,分别确保散斑以高分辨率成在 CCD 阵列上和适合观察者的观察。利用行场扫描的方法测量散斑的对比度。



(a)无二维扫描消散斑转镜, (b)有二维扫描消散斑转镜

(a) without rotating polygon mirror with two dimensions scanning,

(b) with a rotating polygon mirror with two dimensions scanning

图 5 散斑的测量

Fig 5 speckle patterns measurement

以波长为 671nm,功率是 3.5W 的红光为例,说明散斑对比度的变化和光场强度的分布。首先在实验中是没有用二维扫描消散斑转镜,如图 4(a)所示,合成激光束直接投影于显示屏幕上,CCD 相机显示的红光光场的强度分布如图 5(a)所示,红光在显示屏幕上形成的像素直径约为 4.5mm。在显示屏幕上像素尺寸不变的情况下,加上二维扫描消散斑转镜如图 4(b),红光光场的分布如图 5(b)所示。从图 5 以及对比度的定义可知,散斑的对比度明显地降低,经过一系列的图像处理,得到散斑的对比度由原来的 5%降为 3.1%。此外从图 5 中可以看出,屏幕上红光光场强度的变化小于 4%,在一般照明条件下,人眼是看不出强度的变化的。

从图 5 中我们看到,光束的质量和投影到屏幕上的像的质量都没有明显的变化,但散斑的对比度明显降低,这主要因为投影光束的相干性质几乎没受到影响,而光束经旋转的二维扫描消散斑转镜时,移动的干涉条纹便在屏幕上产生“沸腾”散斑图样。

4 结 论

自从激光问世以来,在全息和显示中,散斑就一直困扰着人们,特别是在激光显示中,散斑的出现严重影响了成像质量,降低了图像的清晰度和分辨率^[10]。我们成功研究出一种在远场条件下抑制激光显示中散斑的方法,合成激光束通过二维扫描消散斑转镜时,移动的干涉条纹产生“沸腾”的散斑图样,在降低了散斑对比度的同时,并没有影响图像质量。

参考文献:

- [1] J W Goodman Statistical properties of laser speckle patterns in Laser Speckle and Related Phenomena[J]. Topics in Applied Physics, 1975, 9: 9 - 76
- [2] J W Goodman Some Fundamental Properties of Speckle [J]. J. Opt Soc Am. , 1976, 66(11): 1145 - 1149
- [3] N George, A Jian Speckle reduction using multiple tones of illumination[J]. Applied Optics, 1973, 12(6): 1202 - 1212
- [4] B Dingel, S Minami Speckle reduction with virtual incoherent laser illumination using a modified fiber array[J]. Optik, 1992, 94(3): 132 - 136
- [5] H J Gerritsen, W J Hannan, E G Ramberg Elimination of Speckle in Holograms with Redundancy[J]. Applied Optics, 1968, 7(11): 2301 - 2311.
- [6] K I Sato, K A satani Speckle noise reduction in fiber optic analog video transmission using semiconductor laser diodes[J]. IEEE Trans Commun , 1981, COM - 29: 1017 - 1024
- [7] Ricardo G Dantas, Sidney Leeman, Eduardo T Costa, et al Phase Diversity for Speckle Reduction [A]. Proceedings of SPIE, 2003, 5035: 414 - 422
- [8] Klaus Freischlad, Michael K ühel Speckle reduction by virtual spatial coherence [A]. Proc SPIE, 1992, Interferometry: Thechniques and Analysis, 1775: 38 - 43
- [9] Liu Chuntian, Xu Youren, Xu Yuan Experimental investigation on the statistical properties of speckle recorded by ccd camera [A]. Proc SPIE, 288: 373 - 377.
- [10] J W Goodman, J I Trisnadi Speckle reduction by a moving diffuser in laser projection display [A]. Annual meeting of the optical society of America [C]. Rhode Island, 2000.

大功率光纤激光器输出功率超过 1.2kW

赵 鸿,周寿桓,朱 辰,李 尧,吴 健
(中国电子科技集团公司第十一研究所,北京 100015)

大功率光纤激光器是近年来激光技术领域研究的热点之一,目前国外研究机构单纤激光功率输出已达 2kW。2006 年 8 月,中国电子科技集团公司第十一研究所研制的大功率光纤激光器,经检测输出平均功率达 1207W。

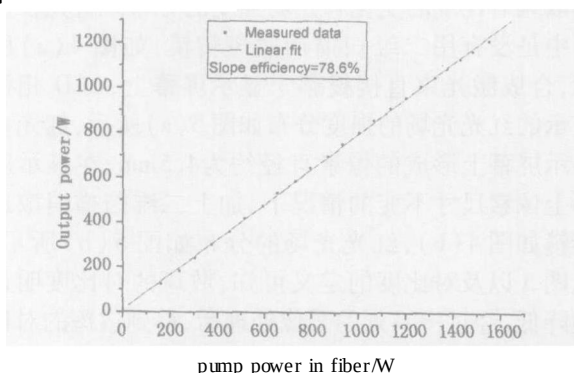


图 1 光纤激光器输入输出曲线

Fig 1 output power versus pump power in fiber of fiber laser

我们采用的新型掺镱光纤内包层直径为 700 μ m, D 型结构。对光纤的两个端面进行了高精度的抛磨处理,利用光纤端面的菲涅尔反射作为输出腔镜,通过双色镜耦合输出激光。研制中,课题组采用双端泵浦方案,精心设计了大功率泵浦光束整形、耦合结构和热管理系统,通过对光纤损伤机理的

深入研究和多项工艺改进,有效解决了大功率条件下光纤端面损伤问题。

实验中,当泵浦光功率为 1550W 时,光纤激光输出 1207W,斜效率为 78.6%。图 1 所示为输入输出曲线,有较好的线性关系,还有提高输出功率的余地,输出功率波动约 1%,未见光纤有激光烧蚀或损伤现象。图 2 为工作中的大功率光纤激光器。

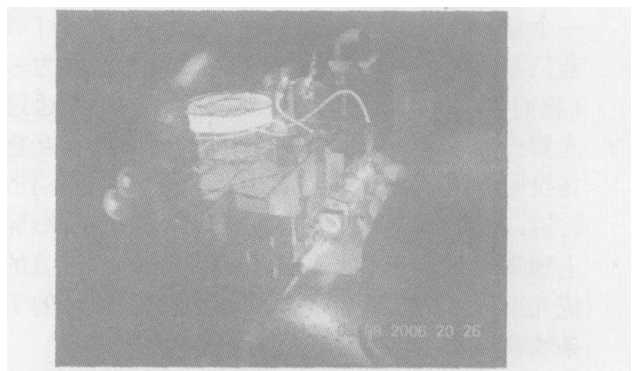


图 2 工作中的大功率光纤激光器

Fig 2 high power fiber laser in work

联系人:赵 鸿

收稿日期:2006-09-08