

文章编号 1004-924X(2007)09-1366-05

## 激光显示中散斑的减弱

田志辉<sup>1,2</sup>, 刘伟奇<sup>1</sup>, 李霞<sup>1,2</sup>, 魏忠伦<sup>1</sup>, 冯睿<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 应用光学国家重点实验室, 吉林 长春 130033;  
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘要:**为减弱激光显示中散斑的影响,在对散斑对比度进行理论分析的基础上,提出了一种利用位相光学元件减弱散斑的方法。实验以绿光为光源,让激光束通过位相光学元件,再经过 CCD 相机和图像处理系统处理,得到屏幕上散斑对比度和光强的变化。实验结果表明:散斑的对比度降低到 3.7%,可满足激光显示中对散斑减弱的要求。该方法具有简单易行、成本低、适合批量化生产等优点。

**关键词:**激光显示;激光散斑;对比度

**中图分类号:**TN27 **文献标识码:**A

## Speckle contrast reduction in laser display

TIAN Zhi-hui<sup>1,2</sup>, LIU Wei-qi<sup>1</sup>, LI Xia<sup>1,2</sup>, WEI Zhong-lun<sup>1</sup>, FENG Rui<sup>1</sup>

(1. *State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*  
2. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

**Abstract:** In order to weaken the influence of speckle on laser display system, a novel speckle reduction method utilizing pure phase pattern optical element was presented based on the theoretic analysis of speckle contrast. Then, by using green laser as source, the laser beam passed through the Diffractive Optical Element (DOE) in experiment. The changes of speckle contrast and light intensity on screen were obtained with the help of CCD camera and image processor. The experimental results indicate that the contrast of laser speckle is reduced to 3.7%, which meets the requirement of laser display. Proposed method has many advantages in simple practice, low cost and good manufacture in industry.

**Key words:** laser display; speckle; contrast

### 1 引言

激光显示技术与其它显示技术相比,具有可

实现大色域显示、颜色饱和度高、显示画面尺寸灵活可变、无有害电磁射线辐射等优点<sup>[1]</sup>。但是,散斑的存在在很大程度上阻碍了激光显示的快速发展。不少科研工作者曾提出抑制散斑的很多方

收稿日期:2007-03-09;修订日期:2007-06-05.

基金项目:国家 863 高技术计划资助项目(No. 2002AA311130);中科院知识创新工程资助项目(No. C02E05Z);吉林省科技厅资助项目(No. 20030302)

法,如利用不同波长的光源<sup>[2]</sup>;利用脉冲激光的叠加<sup>[3]</sup>;移动散射体<sup>[4]</sup>;移动孔径光阑<sup>[5]</sup>;振动屏幕<sup>[6]</sup>等方法来降低散斑。但是,这些方法很难应用到目前正在研制的激光电视中。本文简述了散斑的形成机理,阐明了利用位相型光学元件降低散斑对比度的工作原理。在实验中,利用位相型衍射光学元件对散斑进行抑制,得到了满意的实验结果。实验证明,该方法对激光显示中散斑对比度的降低是有效的。

## 2 激光散斑的成因

图1表示的是激光显示中散斑的成因,投射到屏幕上的激光光束被粗糙表面散射后形成不同的子波,这些不同的子波相互干涉,经光学系统(人眼)后,在像面上形成许多随机分布的颗粒状、明暗不均的强度图样<sup>[7]</sup>。一般来说,按照光场的传播方式,可以把散斑分为通过自由空间传播形成的近场散斑(与非涅尔衍射对应)和远场散斑(与夫琅和费衍射对应)。激光电视屏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3~4 m的地方观看电视,由此可知,激光电视中的散斑为远场散斑。散斑的存在极大地影响了图像的清晰度,如何减少散斑的影响是人们思考的问题。

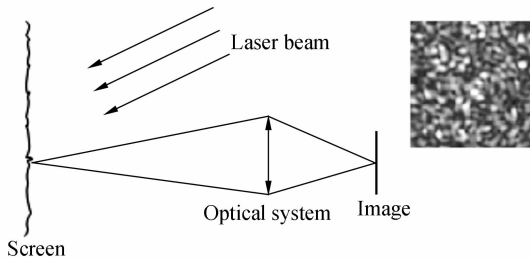


图1 散斑的成因

Fig. 1 Speckle formation

## 3 理论分析

通常用对比度来评价散斑:

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

如果屏幕上的散斑随时间和空间不断变化,在一个积分时间内探测器一个像元探测到 $N^2$ 种散斑结构,则对比度相应地减弱到原静态时的 $1 \sim N$ 倍。散斑的减弱程度由这 $N^2$ 个散斑结构的相互关系决定。当 $N^2$ 种散斑结构完全相干时,对比度与静态时相同;当 $N$ 种散斑结构相互独立时,对比度减少至静态时的 $\frac{1}{N}$ ;其它情况下,对比度的减弱程度在这两个值之间。根据J. I. Trisnadi的理论<sup>[8]</sup>,假设像元为矩形,把它分成 $N_1 \times N_2$ 个面积相同的小方格,每个小方格 $N_{ij}$ 对应屏幕上相应 $ij^{\text{th}}$ 处的光场 $E_{ij}$ ,则像元上的散斑强度为:

$$I = \left| \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} E_{ij} \right|^2 \quad (2)$$

若在一个积分时间内将 $M$ 种不同的位相样式附加到小方格,即对第 $ij^{\text{th}}$ 小方格附加上 $\phi_{ij}^m$ 的相位,则强度相应地变为:

$$I = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left| \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} H_{ij}^m E_{ij} \right|^2 \quad (3)$$

其中: $H_{ij}^m = \exp(i\phi_{ij}^m)$ 。如果以下条件满足:

$$\sum_{m=1}^M H_{ij}^{m*} H_{kl}^m = M \delta_{ik} \delta_{jl} \quad (4)$$

则:

$$I = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} \sum_{k=1}^{N_1} \sum_{l=1}^{N_2} H_{ij}^{m*} E_{ij}^* H_{kl}^m E_{kl} = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} |E_{ij}|^2 \quad (5)$$

此时,式(2)中的交插项消失, $N^2$ 个小方格彼此相互独立,由此,散斑的对比度可降为静态时的 $\frac{1}{N}$ 。

上述小方格的位相排列形式可以由Hadamard矩阵得到<sup>[9]</sup>。

## 4 实验

实验采用 $8 \times 8 = 64$ 个单元的Hadamard矩阵的位相分布形式,并将上述方形区域推广到圆形区域,制作出相应的位相型衍射片,应用于实验中。实验装置如图2所示。这里以功率0.32 W、波长532 nm的绿光为例来说明使用衍射片前后

激光散斑光强的变化和激光散斑对比度的减弱情况。激光束经过匀光系统,照明空间光调制器 DMD<sup>TM</sup>,DMD<sup>TM</sup>对激光进行调制,被调制后的激光又被投影光学系统投至屏幕上形成图像。把东芝 Satellite Pro M19 笔记本电脑连接到激光电视上,在装有 Windows XP 操作系统的笔记本电脑上打开一新建的 Microsoft Word 文档,激光电视屏幕上便会显示出相应的 Word 文档,此时,整个投影屏幕上便是绿色的图案。然后,在距离激光电视 4 m 处正前方固定 CCD 相机,在投影屏幕上显示图像 60 s,图像稳定后,用相机拍下。最后,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 摄像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像在 CCD 阵列上并适合观察者的观察。把 CCD 相机拍下的图片导入笔记本电脑,通过 Matlab 软件处理,最终得到激光散斑的光强分布和对比度的大小。其中,图 2(a)表示的是未加衍射片时的系统构成图,图 2(b)表示的是加衍射片后的系统构成图。其中,衍射片由 8×8 个小面元组成,被放置于 DMD<sup>TM</sup>的中间像面处,并由电机带动进行旋转。

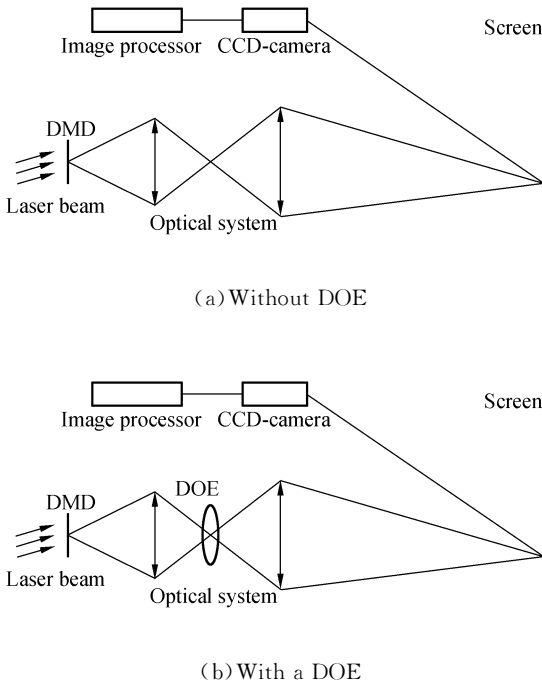


图 2 实验装置

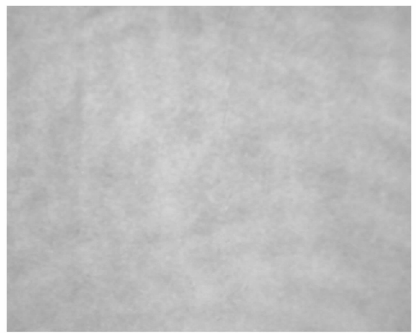
Fig. 2 Sketch maps of experiment

### 5 实验结果及分析

图 3 为加位相型光学元件前后用 CCD 相机拍下的屏幕上的光强分布,其中图 3(a)为无位相型衍射片时的照片,图 3(b)为有位相型衍射片时的照片。从图 3(a)中可明显地看出散斑现象的存在,而图 3(b)与图 3(a)相比,其散斑对比度明显降低。



(a)Photo taken by a CCD without phase DOE



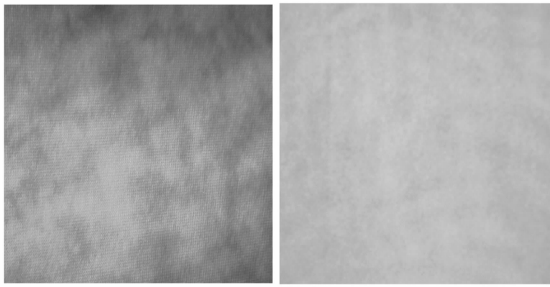
(b)Photo taken by a CCD with a phase DOE

图 3 光强分布

Fig. 3 Intensity distribution

图 4 中的两幅图片分别是由图 3 中的两幅照片(a)和(b)经计算机处理后得到的灰度图。将这两幅灰度图输入到 Matlab 软件处理后得到图 5 所示的光强分布图。

图 5(a)表示的是无位相型衍射片时的光强分布情况,图 5(b)表示的是有位相型衍射片时的光强分布情况。同时通过软件计算可得,散斑的对比度从无位相型衍射片时的 20%减弱为有位



(a) Processed gray image from Fig. 3(a)      (b) Processed gray image from Fig. 3(b)

图 4 灰度图  
Fig. 4 Gray images

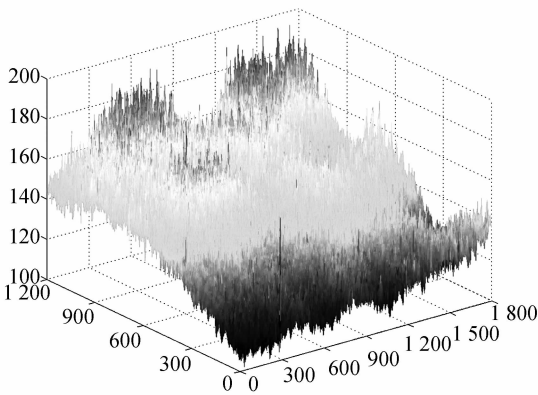
显示中,图像是以视频的形式播发的,在这种情况下人眼更是难以发现散斑的存在。由此可见,该方法对激光散斑的减弱是十分有效的,可以满足激光显示对散斑的抑制要求。

另外,从实验结果上来看,使用该方法后,散斑的对比度降低到原来的约  $\frac{3.7\%}{20\%} = 18.5\%$ , 并没有达到最优化的  $\frac{1}{\sqrt{64}} = 12.5\%$ 。

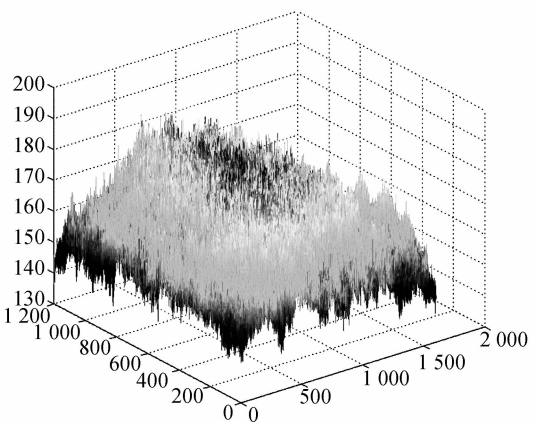
分析原因,除了和实验中环境的影响、测量和数据处理过程中误差的存在等因素有关外,还与在将方形面积区域推广到圆形区域后,其图样分布和各单位面元的面积没有严格符合最优化的限定条件有关。

将这种散斑的抑制方法应用于目前正在研制的 150 cm(60 in)激光电视样机中,取得了满意的效果。图 6 为该样机照片。

将这种散斑的抑制方法应用于目前正在研制的 150 cm(60 in)激光电视样机中,取得了满意的效果。图 6 为该样机照片。



(a) Without DOE



(b) With a DOE

图 5 光强分布  
Fig. 5 Intensity distribution



图 6 激光电视样机  
Fig. 6 Laser TV sample

## 6 结 论

本文以激光显示中的激光散斑为研究对象,分析了激光散斑的成因与抑制原理。在这些基础上,结合激光显示系统的结构特点,提出了一种利用位相光学元件减弱散斑的方法,把显示屏幕上的静态散斑转化为动态散斑。实验结果证明:散斑的对比度降低到 3.7%,从而提高了图像的清晰度。该方法简单易行、成本低、效果好、适合批量化生产。

相型衍射片时的 3.7%,小于 4%。在一般情况下,人眼很难察觉到散斑的存在。考虑到在激光

## 参考文献:

- [1] 刘伟奇,魏忠伦,康玉思,等. 全固态激光彩色视频显示技术[J]. 液晶与显示,2004,19(5):325-328.  
LIU W Q, WEI ZH L, KANG Y S, *et al.*. Color video display technique based on diode pump laser[J]. *Liquid Crystals and Displays*, 2004,19(5):325-328. (in Chinese)
- [2] GEORGE N, JIAN A. Speckle reduction using multiple tones of illumination[J]. *Appl. Opt.*, 1973,12:1202-1212.
- [3] SAO K, ASATANI K. Speckle noise reduction in fiber optic analog video transmission using semiconductor laser diodes[J]. *IEEE Trans. Commum.*, 1981,29:1017-1024.
- [4] LOWENTHA S, JOYEUX D. Speckle removal by a slowly moving diffuser associated with a motionless diffuser [J]. *J. Opt. Soc. Am.*, 1971,61:847-851.
- [5] MCECHNIE T. Reduction of speckle by a moving aperture-first order statistics[J]. *Opt. Commum.*, 1957,13:35-39.
- [6] RAWSON E G, NAFARRATE A B, NORTON R E, *et al.*. Speckle-free rear-projection screen using two close screens in slow relative motion[J]. *J. Opt. Soc. Am.*, 1976,66:1290-1294.
- [7] GOODMAN J W. Some fundamental properties of speckle[J]. *J. Opt. Soc. Am.*, 1976,66:1145-1149.
- [8] TRISNADI J I. Hadamard speckle contrast reduction[J]. *Opt. Lett.*, 2004,29:11-13.
- [9] HEDAYAT A S, SLOAN N J A, STUFKEN J. *Orthogonal Arrays: Theory and Application*[M]. Springer-Verlag New York,1999.

**作者简介:**田志辉(1981—),男,吉林长春人,中科院长春光学精密机械与物理研究所博士研究生,主要从事激光显示方面的研究。E-mail:tian-zhi-hui@163.com

刘伟奇(1958—),男,吉林长春人,中科院长春光学精密机械与物理研究所研究员,博士生导师,主要从事激光显示方面的研究。

(本栏目编辑 严寒)