

用定向散斑屏编码的白光图像处理

母国光 王肇圻 龚 谦 宋齐望

(南开大学现代光学研究室)

提 要

本文提出了用定向散斑屏作为编码器的白光图像处理新技术。和其它一些编码方法相比较,它有一些明显的优点。作为实验演示,本文给出了彩色图像档案存贮和等密度假彩色编码的实验结果。

一、前 言

近几年,在光学信息处理领域中,白光图像处理以其无相干噪声、便于处理彩色图像和设备简便容易操作等特点吸引愈来愈多人的注意,并已取得了许多成功的实验结果^[1~3]。目前,大多数有关研究人员在作白光图像处理时多采用 Ronchi 光栅作图像的编码器。不过这里却存在两个主要缺点:一是很难获得高分辨率的大尺寸的 Ronchi 光栅,二是在多重编码的图像处理中输出的图像常难避免云纹噪声。因此,为提高处理后的图像质量,探索新的编码方法就成为十分重要的研究课题。

我们在以前的文章中曾提出过用狭缝调制散斑编码和用像全息编码作白光图像处理的技术^[4~5]。这两种编码方法在提高输出图像的分辨率和消除云纹噪声方面有着明显的优点,但是它们需要激光器和防震台,从而失去了白光处理系统的设备简单和容易操作的优点。徐大雄等人在最近的文章中报道了多次曝光散斑调制屏作白光图像处理的方法^[6]。该方法有简便灵活和无莫尔条纹的优点,但存在色饱和度低的缺点。本文提出一种用定向散斑屏作白光图像处理的新技术,它不需激光器和防震台,无云纹噪声,大尺寸、高分辨率的定向散斑屏很容易制备,和多次曝光散斑屏相比较它有色饱和度高的优点。本文在给出这一新技术以理论分析的同时,作为实例,还给出了用研制成的定向散斑屏作编码的彩色图像的档案存贮和黑白图像的密度假彩色化实验结果。

二、定向散斑屏的制备和编码原理

(A) 定向散斑屏的制作如图1所示。由氦氖激光器输出的激光经扩束后照明到漫散射板 D 上,置一高分辨率感光板于距 D 为 z 处曝光,曝光时令感光板沿垂轴的方向(如 x 方向)匀速移动,位移量为 L 。这样曝光的感光板经显影、定影处理后即得所说的定向散斑屏,它的光强透过率可表为

$$T(x, y) = D(x, y) \otimes \text{rect}(x/L), \quad (1)$$

其中 $D(x, y)$ 为在感光板上由散斑造成的随机光强透过率分布, $\text{rect}(x/L)$ 为由感光板位移造成的矩形函数, \otimes 表示卷积。所以经曝光后感光板上的光强透过率分布为该板上的散斑分布跟位移造成的矩形函数的卷积。

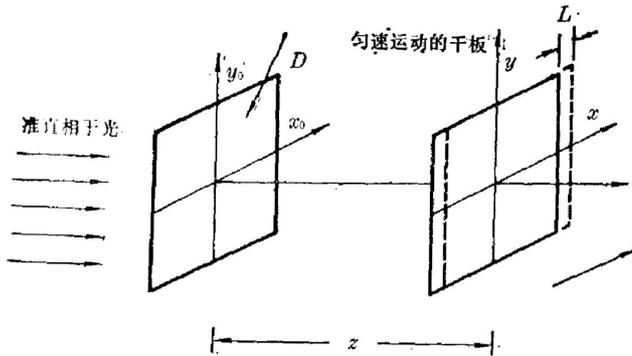


图 1 制备定向散斑屏的光学系统

Fig. 1 The optical system for making designed orientated speckle screen

根据散斑场的统计计算^[6], 单个散斑的平均线度为 $\delta_r = \lambda z/d$, 这里的 λ 是所用相干光的波长, z 是漫散射体 D 到感光板的距离, d 是漫散射体受照明部分的直径。为获得散斑的定向性, 一般可令感光板的位移 $L = 10 \delta_r$ 。改变 z/d 的比值并相应地改变 L , 就可得到具有不同分辨率的定向散斑屏。

(B) 兹以彩色图像的档案存贮为例来说明用散斑屏编码的原理。

编码光路如图 2 所示。将光强透过率为 $T(x, y)$ 的待存贮的彩色透明片置于 P_1 平面上, 在光路中依次插入红、绿、蓝原色滤色片, 分别对位于像平面 P_2 上的与定向散斑屏密接的黑白感光板作三次曝光, 而每次曝光令定向散斑屏的位移量方向分别处于 θ_r, θ_g 和 Q_b 的不同方向上, 控制曝光量在感光板的 $T-E$ 曲线的线性区, 经光化处理后所得黑白透明片(编码片)的振幅透过率为

$$t(x, y) = a - b \{ T_r(x, y) [D(x, y) \otimes \text{rect}(x/L)] + T_g(x, y) [D(x', y') \otimes \text{rect}(x'/L)] + T_b(x, y) [D(x'', y'') \otimes \text{rect}(x''/L)] \}, \quad (2)$$

其中 T_r, T_g 和 T_b 为彩色透明片的红、绿、蓝三原色的光强透过率, $(x, y), (x', y')$ 和 (x'', y'') 是对应于 θ_r, θ_g 和 Q_b 放置的定向散斑屏的坐标系, a 和 b 为由感光板特性所定的常数。

(C) 为得到原彩色图像的复现, 需要把(2)式表示的编码片置于图 3 所示的白光处理系统的输入平面 P_1 中; 于是在该系统的频谱平面 P_2 上得光场分布为

$$E(\alpha, \beta, \lambda) = \mathcal{F}\{t(x, y)\} = a \cdot \delta(\alpha/\lambda f, \beta/\lambda f) - b \{ \tilde{T}_r(\alpha/\lambda f, \beta/\lambda f) \otimes [\tilde{D}(\alpha/\lambda f, \beta/\lambda f) \cdot \text{sinc}(L\alpha/\lambda f)] + \tilde{T}_g(\alpha/\lambda f, \beta/\lambda f) \otimes [\tilde{D}(\alpha'/\lambda f, \beta'/\lambda f) \cdot \text{sinc}(L\alpha'/\lambda f)] + \tilde{T}_b(\alpha/\lambda f, \beta/\lambda f) \otimes [\tilde{D}(\alpha''/\lambda f, \beta''/\lambda f) \cdot \text{sinc}(L\alpha''/\lambda f)] \}, \quad (3)$$

其中 $(\alpha, \beta), (\alpha', \beta')$ 和 (α'', β'') 是频谱平面 P_2 上的坐标系。实际上, 此式表示 P_2 平面上

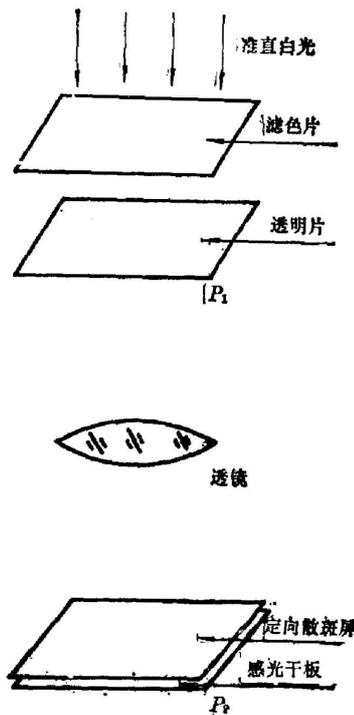


图 2 编码系统

Fig. 2 Encoding system

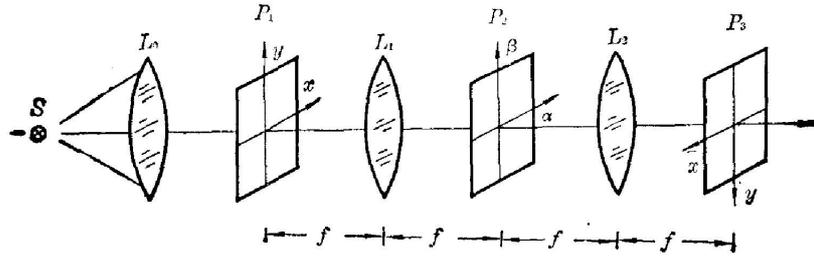


图3 白光图像处理系统

Fig. 3 White-light image processor

的光场分布是三条成一定夹角的相交叉的矩形衍射晕斑, 矩形斑的长和宽之比为 $L:\delta_r$ 。

频谱平面上的处理是用和衍射晕斑形状相同的红、绿、蓝三种原色滤色片分别对三条衍射晕斑作彩色滤波。这样, 从 P_2 平面出射的光场分布可写成

$$\begin{aligned} E'(\alpha, \beta, \lambda) = & \{ \tilde{T}_r(\alpha/\lambda f, \beta/\lambda f) \otimes [\tilde{D}(\beta/\lambda f, \beta/\lambda f) \cdot \text{sinc}(L\alpha/\lambda f)] \}_r \\ & + \{ \tilde{T}_g(\alpha/\lambda f, \beta/\lambda f) \otimes [\tilde{D}(\alpha'/\lambda f, \beta'/\lambda f) \cdot \text{sinc}(L\alpha'/\lambda f)] \}_g \\ & + \{ \tilde{T}_b(\alpha/\lambda f, \beta/\lambda f) \otimes [\tilde{D}(\alpha''/\lambda f, \beta''/\lambda f) \cdot \text{sinc}(L\alpha''/\lambda f)] \}_b, \end{aligned} \quad (4)$$

式中括号外的脚注 r 、 g 、 b 分别表示红光、绿光和蓝光。

输出平面 P_3 上的光场分布是(4)式的逆傅里叶变换。由于 r 、 g 、 b 三种光是不相干的, 所以 P_3 平面输出图像的强度分布为

$$\begin{aligned} I(x, y) = & \{ T_r(x, y) \cdot [D(x, y) \otimes \text{rect}(x/L)] \}_r^2 \\ & + \{ T_g(x, y) \cdot [D(x', y') \otimes \text{rect}(x'/L)] \}_g^2 \\ & + \{ T_b(x, y) \cdot [D(x'', y'') \otimes \text{rect}(x''/L)] \}_b^2. \end{aligned} \quad (5)$$

对于具有某一定分辨率的彩色图像, 总可以制备出足够高分辨率的定向散斑屏作编码以保证图像的分辨率不受损失。在这种情况下, (5)式可写为

$$I'(x, y) = [T_r(x, y)]_r^2 + [T_g(x, y)]_g^2 + [T_b(x, y)]_b^2. \quad (6)$$

(D) 黑白图像的密度假彩色化的实验, 首先需制备原图像的正片和负片。编码时将它们依次地置于编码光路中的 P_1 平面进行编码, 对于两次曝光、定向散斑屏应处于相互正交的位置上。在用白光图像处理系统解码作假彩色时, 用红原色滤色片和绿原色滤色片分别对两条正交的矩形衍射晕斑作彩色滤波(挡住中央交叉部分), 于是就在输出平面上得到由红色负像和绿色正像迭加而成的密度假彩色图像。

三、实验结果

1. 定向散斑屏如图4所示。

2. 用定向散斑屏编码作彩色图像档案存贮。作为被存贮的彩色透明片如图5(a)所示, 在图2所示的光路中作红、绿(为简单计, 只作两原色)两原色的编码。所用定向散斑屏 $\delta_r \approx 1.5 \mu\text{m}$, $L = 10 \delta_r = 15 \mu\text{m}$, 最低分辨本领保证大于 60 line/mm 。将编码片放在图3所示的白光图像处理系统的输入平面上, 在频谱平面用红、绿两原色作彩色滤波。于是在输出平面得到如图5(b)所示的彩色图像。从比较图5(a)和图5(b), 很容易看到它们在颜色上

稍有差异,这主要是由于我们实验中没有对图像中的蓝色成份作编码和处理。(图5见彩色插页)

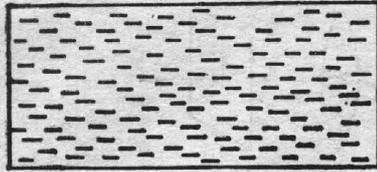
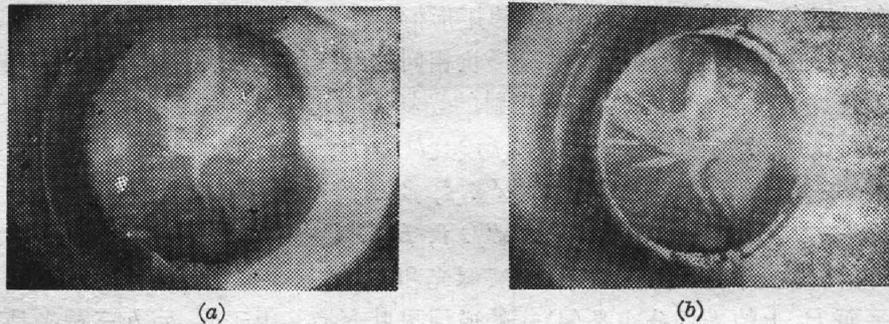


图4 定向散斑屏

Fig. 4 The orientated speckle screen

3. 定向散斑屏作黑白图像的密度假彩色化。图6(a)和图6(b)是一位白内障患者眼球在治疗前和治疗后的两张黑白照片。从光学密度上很难用灰度反映出两张透明片的差异。图7(a)和图7(b)是对这两张[6(a)和6(b)]透明片用定向散斑屏编码作密度假彩色化所得的假彩色图像。显然,从图7(a)和7(b)中眼球中央部位的彩色的变化可以较容易地反映出治疗前后的差异。(图7见彩色插页)



(a)

(b)

图6 白内障患者的眼球照片

Fig. 6 The picture of a cataract patient's eyeball

(a) before treatment; (b) after treatment

四、结 束 语

从前面两项实验所得结果可以看到,这种新型的定向散斑屏可看作是一种随机光栅,用它代替 Ronchi 光栅作图像编码。它有容易制备和高分辨率的特点,而且不引入云纹噪声。与一般调制散斑法相比,它有不需要任何照像物镜和处理后输出图像平面上照度均匀的特点。所以,用定向散斑屏编码作光学图像处理可认为是一个新的有效的技术。

参加本工作的还有吴德祥同志。

参 考 文 献

- [1] F. T. S. Yu, 庄松林, 母国光;《光学学报》, 1981, 1, No. 1 (Jan), 13.
- [2] F. T. S. Yu and S. T. Wu; *J. Optics (Paris)*, 1982, 13, No. 4, 183.
- [3] G. G. Mu, C. K. Chiang and H. K. Lu; *Opt. Lett.*, 1981, 6, No. 6, 263.
- [4] 母国光, 王肇圻, 吴法祥, 张能裕;《物理学报》, 1982, 31, No. 11 (Nov), 1547.
- [5] 母国光, 吴法祥, 王肇圻;《中国激光》, 1983, 10, No. 8~9 (Sep), 647.
- [6] 黄德根, 徐大雄;《光学学报》, 1984, 4, No. 2 (Feb), 139.
- [7] J. C. Dainty; "*Laser Speckle and Related Phenomena*", (Springer-Verlag, 1975), 39.

White-light image processing using orientated speckle screen encoding

MU GUOGUANG WANG ZHAOQI GONG QIAN AND SONG QIWANG

(Modern Optics Laboratory, Nankai University)

(Received 4 May 1984)

Abstract

In this paper, a new technique for white-light image processing which uses an orientated speckle screen as an encoding device is described. This technique has several obvious advantages over some other encoding methods. For experimental demonstration, the results of the archival storage of color image and the equidensity pseudocolor encoding by this technique are provided.

第二届全国基础光学学术报告会和基础光学专业委员会工作会议 在镜泊湖举行

由中国光学学会主办的全国第二届基础光学学术报告会于1984年7月22~26日在中国黑龙江省镜泊湖召开。来自18个省市、45个单位的140名代表出席了会议。会议上宣读了150篇论文。这些报告大体上可分为六大类：一、经典光学；二、光谱学；三、强光与非线性光学效应；四、光学信息处理和全息术；五、大气光学；六、海洋光学。此外，医用光学也有个别文章宣读。

自1982年6月第一届全国基础光学学术报告会以来的两年时间内，我国基础光学研究工作有了新的发展，特别在非线性光学、光学信息处理和光谱学(激光光谱学)方面进展显著。我国近年来对非线性光学中的光学双稳态、四波混频和受激喇曼散射等工作发展得较快，有的工作已接近世界先进水平。光学双稳态工作目前尚处于实验室演示阶段，进一步推广到实际应用的研究工作更为艰巨。四波混频和受激喇曼散射等工作也有待进一步推广应用。我国在白光信息处理工作方面，似乎出现了一个热潮，从事信息处理工作的科技人员，热衷于这方面的工作，白光信息处理的基本理论已经比较清楚，但只是在编码方法上进行了一些工作，尚未能跳出模仿国外工作的圈子。我国的光谱工作有它悠久的历史。从激光器诞生以后，我国激光光谱工作亦较快地开展起来。过去十几年内，主要是开展了原子激光光谱的工作。近年来分子激光光谱工作也有进展，这在本届会议的报告上有所反映。

本届会议与第一届会议相比，出现了一些新的现象。第一、有些边缘光学学科，如海洋光学、医用光学的科研情况在这次会议上首次报告。第二、与会代表中中青年科技工作者占绝大多数，且有20多名代表是研究生，他们代表了我国光学科研工作的未来。因此这次会议呈现出朝气蓬勃，生气盎然的景象。

在报告会期间，基础光学专业委员会召开了扩大会议，讨论了今后2~3年内的学术活动的初步规划。下届报告会将于1986年召开。

这次会议是由哈尔滨工业大学和中国科学院物理研究所筹办的。

(乙 民 李淳飞)