

相位调制密度假彩色编码

郭履容 陈祯培 王植恒
(四川大学物理系)

提 要

本文提出一种利用光栅调制的位相图象在白光照射下取零级或一级等低衍射级次, 获得彩色化输出图象的新方法。本方法光强利用率高、彩色饱和度好、噪声低、方法简便、易于推广, 已在遥感、生物医学等图象处理中收到实际应用效果。

彩色图象特征鲜明, 易于识别。将黑白图象彩色化一直是图象处理中一个重要课题。在光学上已研究了实现图象彩色化的许多方法。但一般都利用衍射一级或其他高级次的输出图象^[1~4]。本文提出一种获得彩色化输出图象的新方法: 用罗奇光栅对待处理的图象抽样, 再作漂白处理, 使图象上不同的密度信息转换成相应的位相信息, 再利用位相图象在白光处理系统中的衍射特性, 取出零级或一级等低衍射级次输出, 从而获得光强利用率高、彩色饱和度好、噪声低的彩色输出图象。

一、原 理

本方法的基本原理是利用位相光栅在白光信息处理系统中的衍射特性。设有一维矩形位相光栅, 周期为 a , 宽度为 b , 光栅每单元内两部分之位相延迟分别为 ϕ_1 和 ϕ_2 , 如图 1 所示。

该光栅的振幅透过率函数可表示为:

$$T(x) = (T_2 - T_1) \cdot \text{rect}\left(\frac{x}{b}\right) * \frac{1}{a} \text{comb}\left(\frac{x}{a}\right) + T_1, \quad (1)$$

式中: $T_1 = e^{j\phi_1}$, $T_2 = e^{j\phi_2}$ 。

将此光栅置于一白光照明的 $4f$ 系统的输入平面上, 设波长为 λ 的入射光光强为 $A(\lambda)$, 经过滤波, 可以得到输出平面上的光强为 $I(\Delta\phi, \lambda)$, 其中 $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$ 。由分析得知^[5], 当 $b = \frac{a}{2}$ 时, 取零级衍射之输出光强为:

$$I_0(\Delta\phi, \lambda) = \frac{A(\lambda)}{2} [1 + \cos \Delta\phi], \quad (2)$$

第 m 级衍射的光强为:

$$I_m(\Delta\phi, \lambda) = \frac{2A(\lambda)}{m^2\pi^2} [1 - \cos \Delta\phi] \quad (m = \pm 1, \pm 3, \pm 5 \dots). \quad (3)$$

现以光程差 Δd 表示相应的位相差 $\Delta\phi$, 则 (2), (3) 式成为:

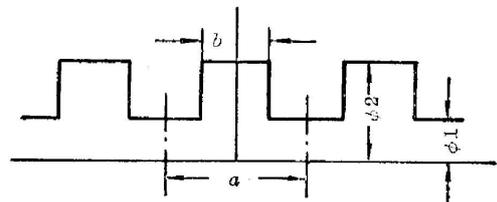


图 1 矩形位相光栅的透过率

Fig. 1 Transmittance of the rectangular phase grating

$$I_0(\Delta d, \lambda) = \frac{A(\lambda)}{2} \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \Delta d\right) \right], \quad (4)$$

$$I_m(\Delta d, \lambda) = \frac{2A(\lambda)}{m^2 \pi^2} \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \Delta d\right) \right] \quad (m = \pm 1, \pm 3, \pm 5, \dots). \quad (5)$$

图 2(a)、(b) 表示输出强度 $I_0(\lambda)$ 和 $I_1(\lambda)$ 随光程差 Δd 而变化的曲线, 其中 $A(\lambda) = 1$, λ 作为参变量。当用白光光源照明时, 各色光非相干迭加由下式积分表示:

$$I(\Delta d) = \int I(\Delta d, \lambda) d\lambda,$$

即得到随 Δd 而变化的彩色输出。如果使光程差 Δd 随输入密度而改变, 则可得到输入图象密度的假彩色编码。

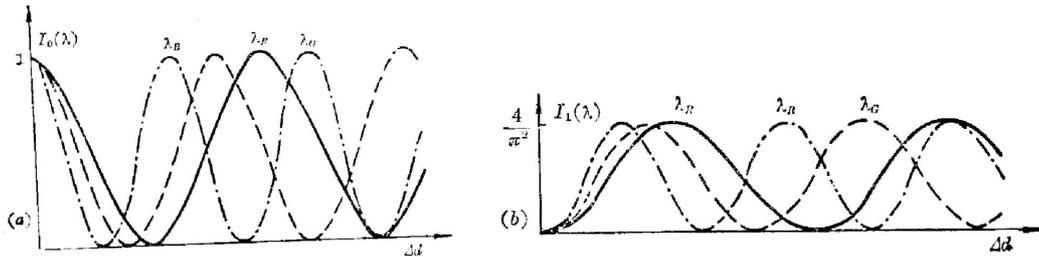


图 2 输出光强随光程差变化的理论曲线

Fig. 2 Theoretical curves of output intensity as function of light path difference

二、实验与结果

实验可分为三个步骤: 1. 光栅抽样; 2. 漂白处理; 3. 在白光信息处理系统中滤波解调。

1. 光栅抽样 将周期为 a 的罗奇光栅与输入图象重叠在一张复制底片上, 用均匀入射光照明曝光, 制成经光栅抽样的负片。设输入图象的密度分布为 $D_i(x)$, 则对应于光栅的透明部分, 其负片的密度为 $D_1 - \gamma D_i(x)$; 对应于光栅的不透明部分, 其负片的密度为 D_0 。其中, D_0 是底片的灰雾密度, D_1 是与曝光条件有关的常数, γ 是底片的反差系数。

2. 漂白处理 将用光栅抽样所得的负片进行漂白, 适当控制漂白工艺, 可使光程差的变化 $\Delta d'$ 与底片的密度变化 ΔD 成正比^[6], 即

$$\Delta d' = C \cdot \Delta D, \quad (6)$$

而此负片便成为有调制深度变化的位相光栅, 其透过率为:

$$T(x) = [T_2(x) - T_1] \cdot \text{rect}\left(\frac{2x}{a}\right) * \frac{1}{a} \text{comb}\left(\frac{x}{a}\right) + T_1, \quad (7)$$

式中: $T_1 = e^{j\phi_1} = e^{j\left[\frac{2\pi}{\lambda} C D_0 + \phi_0\right]}$, $T_2 = e^{j\phi_2} = e^{j\left\{\frac{2\pi}{\lambda} C [D_1 - \gamma D_i(x)] + \phi_0\right\}}$, ϕ_0 为底片基底所产生的位相延迟。

3. 在白光信息处理系统中滤波解调 选择罗奇光栅的频率高于输入图象最高频率的二倍。将漂白后得到的位相片置于白光信息处理系统的输入平面上。由于 $D_i(x)$ 的变化速率低于光栅频率, 在局部范围内, $D_i(x)$ 可视为参数。这时由 (7) 式的位相调制片可近似作

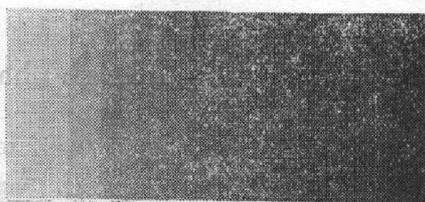


图 3(a) 阶梯密度片的黑白照片

Fig. 3(a) White and black photograph of the stepped wedge

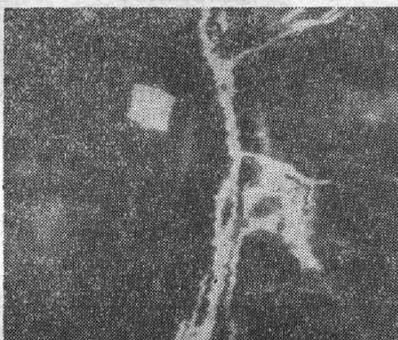


图 4 某地温泉热场的红外扫描图片及彩色增强照片

Fig. 4 Infrared thermograph of hot spring and its pseudo color enhancement photograph.

为一矩形位相光栅处理,经滤波取出零级或一级谱,在输出平面上便得到随输入图象 $D_i(x)$ 变化的彩色编码图象。

实验中采用的光栅频率为 20 lp/mm, 尺寸为 $60 \times 60 \text{ mm}^2$ 。用上述方法处理阶梯密度片图 3(a) 得到的零级彩色输出为图 3(b), [见插页彩版图(f)], 一级彩色输出为图 3(c), [见插页彩版图(g)]。对应于原有不同的密度阶梯在输出中表现为不同的颜色。

用上述方法对某地温泉航空热红外扫描图象图 4(a) 处理所得零级彩色输出为图 4(b), [见插页彩版图(h)]。从彩图中可明显地分辨温泉热场的等温场分布,而原图象是难于分辨的。本方法已为地理、地质、林业等部门处理多种遥感图片,均收到明显的应用效果。

参 考 文 献

- [1] F. T. S. Yu, A. Tai *et al*; *J. Opt.*, 1978, **9**, No. 5 (Sep-Oct), 269.
- [2] H. K. Liu, J. W. Goodman; *SPIE*, 1976, **83**, (Aug), 125.
- [3] T. H. Chao, S. L. Zhuang *et al*; *Opt. Lett.*, 1980, **5**, No. 6 (Jun), 230.
- [4] 张洪钧等;《激光》, 1978, **5**, No. 5~6, 44.
- [5] S. R. Dashiell, A. A. Sawchuk; *Appl. Opt.*, 1977, **16**, No. 7 (Jul), 1936.
- [6] L. Jong, R. Vanhorebeek; *Photogr. Sci. Eng.*, 1980, **24**, No. 2 (Mac-Apr), 108.

Pseudocolor density encoding through phase modulation

GUO LURONG CHEN ZHENPIE AND WANG ZHIHENG

(Department of Physics, Sichuan University, Chengdu)

(Received 24 January 1983, revised 9 May 1983)

Abstract

A new method for pseudocolor density encoding is presented: phase modulation by sampling with a grating, bleaching the sampled plate and choosing the zeroth or first diffraction order for white light illumination.

The primary advantage is high utilizing efficiency of light energy, high color saturation, low noise, simplicity and versatility. The method has been applied to image processing in remote sensing and biomedicine with useful results.

中国硅酸盐学会光学玻璃、玻璃专业委员会一九八三年 年会在昆明召开

中国硅酸盐学会光学玻璃、玻璃两个专业委员会 1983 年年会于 12 月 6 日至 11 日在昆明市召开。来自全国 50 多个单位的 145 名代表出席了会议。会议共收到论文 180 多篇。在会上宣读的论文有 104 篇，以资料形式交流的有 50 篇。报告分三个小会场，用三天半时间宣读完毕。

论文内容的涉及面相当广泛。不仅有玻璃结构、相变、析晶、光谱、氧化物的性质、熔制工艺、设备、性能检验及测试等方面，而且还有引起会议代表浓厚兴趣的古代玻璃研究，真可谓成果累累。各方面的专家汇集一堂，学术空气十分活跃。

新系统玻璃的形式及析晶、分相的研究是探索新品种玻璃的途径。就这方面提出的文章约有 20 余篇。上海硅酸盐研究所姚鹿苹等同志报告的“Li-Al-Si-O-N 系统中某些玻璃的析晶研究”一文，着重介绍对该系统某些化学组成的玻璃析晶进行研究的结果，结果表明晶相和玻璃相的氮化硅陶瓷具有很高的机械强度，从而引起对氧氮玻璃的关注。

用光谱手段(包括红外光谱, 荧光光谱, 发光光谱, 喇曼光谱, 顺磁共振谱, 核磁共振谱等)来研究玻璃结构, 确定离子或离子团在玻璃中的价态、配位方式等是一门新的课题。近年来, 国内刚刚开始做。有关这方面的文章近 20 篇。尤其是对某些非寻常价态的过渡金属离子的光谱, 国外也很少有人研究。上海光机所刘慧民等同志提出的题为“氟磷酸盐玻璃中 Ti^{3+} 光谱性质的研究”一文, 由于该项工作做得十分细致认真, 选题与结果也都较为令人满意, 受到与会者的一致好评。此外, 还有用荧光光谱和激发光谱讨论硒钬着色玻璃的能级结构的, 用发光光谱和激发光谱进一步研究了 $Tb^{3+} + Ce^{3+}$, $Er^{3+} + Ce^{3+}$ 及 $Tm^{3+} + Ce^{3+}$ 双掺杂情况下, 无机玻璃中的发光光谱的弛豫谱和能量传递过程的等论文在会上作介绍。关于在石英玻璃中掺杂稀土离子的研究工作, 由于熔化温度高, 样品难以制备, 以往很少开展。在这次会议上已有论文报导了用 14 种稀土离子掺入石英玻璃中测得其吸收光谱, 探索了离子存在于石英玻璃中的稳定价态。另外, 有的论文介绍了对 $Na_2O-Al_2O_3-P_2O_5$ 系统玻璃的喇曼光谱研究, 指出随着 Na/P 及 Al_2O_3 含量的不同, 构成

(下转第 153 页)