

利用一次曝光实现白光假彩色密度编码

康 辉 李正明
(南开大学物理系)

提 要

本文用一块 Ronchi 栅将待处理物进行一次曝光, 根据编码片“透过率高处光栅调制度反而低”的特性, 当只让光栅零级和一级处的频谱通过时, 分别得到正、负像, 从而实现了对比度反转。再进行颜色滤波, 即可实现假彩色密度编码。

一、引 言

F. T. S. Yu 等人最近提出了“利用对比度反转进行白光假彩色密度编码”^[7,8]的方法。该方法较其它假彩色编码法^[1~6]有许多长处。但文献[7]是利用正、负片两次曝光得到编码片, 要求在暗室条件下, 两片精密对准, 较难操作。F. T. S. Yu 的另一项工作^[8]虽是实时操作, 但 π 位相板的制作和调整亦不甚容易。本文根据 O. Bryngdahl 提出的“光栅特定调制片的零级和一级像和正、负相反像的现象”^[9], 采用了一次曝光法。即将物透明片, Ronchi 栅和感光板三者迭置, 经一次曝光制得一个编码负片。将编码负片放入白光处理系统的输入面, 并在频谱面上光栅零级和一级处分别加不同的滤色片。为使光强匹配, 零级处除加滤色片外, 尚需加一光强滤色片。最后在系统输出面得到假彩色像。本文从理论上导出了光栅调制度与输入片密度之间的关系, 以及彩色合成的强度公式, 并给出了实验结果。这种方法简单易行, 为应用创造了条件。

二、原 理

设物函数的光强分布为 $f(x)$ ①。一维 Ronchi 栅的强度透过率用下式描写:

$$R(x) = \text{rect}\left(\frac{x}{\pi, \omega_0}\right) \otimes \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta\left(x - n \frac{2\pi}{\omega_0}\right),$$

其中 \otimes 表示卷积, ω_0 为光栅的空间角频率②。为简便计, 将 $R(x)$ 按傅里叶指数函数展开, 且只取重要的前三项:

$$R(x) \doteq \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \exp(i\omega_0 x) + \frac{1}{\pi} \exp(-i\omega_0 x). \quad (1)$$

将光栅与未曝光的干板迭置, 用物光对其曝光, 则到达干板的光强分布为: $f_s(x) = f(x) \cdot R(x)$ 。将感光的干板适当显影, 定影, 即得编码片。其振幅透过率为: $t(x) = t_0 - Kf_s(x)$, 式中 t 为常量透过率, K 为常数, 它与干板的特性及曝光和显影条件有关。

收稿日期: 1981年9月7日, 收到修改稿日期: 1982年3月26日

① 为简便计, 文中一律采用一维表示。

② 一般选取 $\omega_0 \geq 2\omega_{\max}$, 即 ω_0 不小于物截止频率的二倍。

为描述编码片的特点, 本文利用调制度公式: $\mu = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min})$ 。计算编码片中光栅的光强调制度与图像透过率的关系, 并用图 1 加以描述。

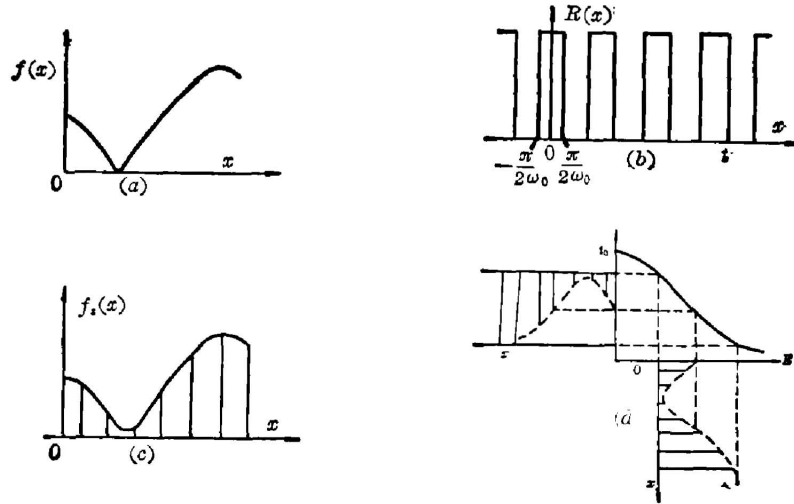


图 1 光栅调制度 μ 与图像透过率 t_1 的关系

Fig. 1 Dependence of modulation degree μ of grating on the image transmissivity t_1

设以均匀准直光 I_0 照明编码片, 则有 $I_{\max} = I_0 t_{\max}^2$, $I_{\min} = I_0 t_{\min}^2$ 。由图 1 可知, $t_{\max} = t_0$, $t_{\min} = t_1 = t_0 - K f(x)$ 。所以

$$\mu = (t_{\max}^2 - t_{\min}^2) / (t_{\max}^2 + t_{\min}^2), \tag{2}$$

其中 t_1 为编码片中图像的振幅透过率分布。(2) 式表明, t_1 越小, 则 μ 越大。即编码片中透过率小(密度高)的地方, 光栅调制度大; 反之, 编码片中透过率高(密度低)的地方, 光栅调制度小。编码片的这一调制特性, 就是光栅零级和一级形成正负反转像的根本所在。

图 2 中 S 是扩束白光光源; L_0 是聚光镜; P_0 是针孔; L_1 是平行光管; P_1 是输入平面; L_2 是消色差透镜; P_2 是光谱平面; P_3 是输出平面; R 是红光滤光片; G 是绿光滤光片; F 是中性衰减片。现将编码片置于白光处理系统(见图 2)的输入面上, 则在频谱面, 对于每一单色光入皆有

$$\begin{aligned} T(\omega) &= \tilde{f}\{t(x)\} = t_0 \delta(\omega) - K F_s(\omega) \\ &= t_0 \delta(\omega) - K \{F(\omega) \otimes [\delta(\omega)/2 + [\delta(\omega + \omega_0) + \delta(\omega - \omega_0)]/\pi]\} \\ &= t_0 \delta(\omega) - K F(\omega)/2 - K [F(\omega + \omega_0) + F(\omega - \omega_0)]/\pi, \end{aligned} \tag{3}$$

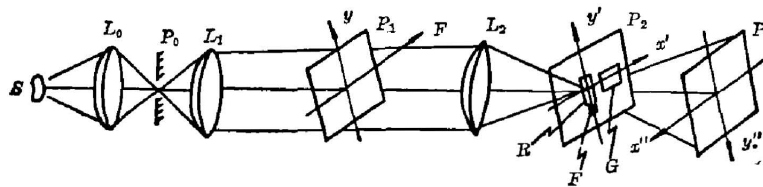


图 2 白光处理系统

Fig. 2 White-light processing system

其中, $\omega = 2\pi x'/\lambda f$ 为归一化空间角频率(这里, λ 为波长, f 为镜头 L_2 的焦距, x' 为频谱面坐标)。 $\tilde{f}\{\}$ 代表傅里叶变换, $F(\omega) = \tilde{f}\{f(x)\}$, $F_s(\omega) = \tilde{f}\{f_s(x)\}$ 。由(3)式可知, 式中的前两项对应于频谱面上的坐标原点($x'=0$), 后两项的中心位置坐标分别为 $x' = \mp x_0 = \mp \lambda f \omega_0/2\pi$, 即在原点两侧对称分布。

在频谱面上放置滤波器, 其滤波函数选为

$$H(\omega) = cH_1(\omega) + H_2(\omega),$$

其中

$$H_1(\omega) = \text{rect}\left(\frac{x'}{2b}\right) = \begin{cases} 1, & -b < x' < b \\ 0, & \text{别处,} \end{cases} \quad (4)$$

$$H_2(\omega) = \text{rect}\left(\frac{x' - x_0}{2b}\right) = \begin{cases} 1, & x_0 - b < x' < x_0 + b \\ 0, & \text{别处,} \end{cases}$$

c 为实验所确定的衰减系数。它的大小取决于所用光源的光谱分布特性, 以及编码片零级和某一级(正一级或负一级)衍射光的强度比。滤波器宽度 $2b$ 的选择, 应使物的全部频谱通过。经滤波后的谱分布为:

$$T_f(\omega) = c\{t_0\delta(\omega) - [KF\omega/2] + \{-KF(\omega - \omega_0)/\pi\}.$$

若再在滤波器 H_1 和 H_2 上分别加以不同颜色的滤色片[例如红(R)和绿(G)两种滤色片], 则输出像的复振幅分布为

$$t'(x'') \doteq c[t_0 - Kf(x'')/2]_R + [-Kf(x'')\exp(-i\omega_0 x'')/\pi]_G, \quad (5)$$

输出像的强度分布为

$$I = \{c^2[t_0 - Kf/2]^2\}_R + \{[-Kf\exp(-i\omega_0 x'')/\pi][-Kf^* \exp(i\omega_0 x'')/\pi]\}_G \\ = \{c^2[t_0 - Kf/2]^2\}_R + \{[Kf/\pi]^2\}_G = I_{PR} + I_{nG}. \quad (6)$$

由(5)式可以看出, 其中第一项为两个量之差, 即象函数振幅与一常量之差。只要该常量选取适当(取决于胶片的偏置工作点), 那么(5)式右端两项即为两个对比度反转的像, 亦即(6)式中下角标 PR 和 nG 所表示的红的正像和绿的负像^①。为简单计, 滤色片按纯单色滤色片处理。这种通过取特定编码片的零级和一级衍射像而实现对对比度反转的现象, 与生物的频谱的零级处加 π 位相板^[8] 是完全等效的。这一点从(5)式中可以清楚地看到。(3)式中的头两项是物的频谱与一个 δ 函数之差, 这就相当于 π 位相滤波的作用。这种对比度反转像形成的直观解释也可以借助图 1(d) 加以说明。如前所述, 编码片的特点是透过率大的地方光栅调制度小, 透过率小的地方光栅调制度反而大。因此, 当只让零级通过时, 输出像与输入的极性一致(即正像)。即输入片亮的部分, 相应的输出像部分仍亮, 反之亦然。当只让衍射一级通过时, 由于编码片亮处的光栅调制度低, 故衍射效率也低, 所以输出像的相应部分就暗; 反之, 编码片黑的地方光栅调制度高, 衍射效率也高, 故输出像的相应部分反而亮。所以, 一级输出像与输入极性相反(负像), 即零级输出像的对比度反转像。图 3 示出的分别是零级和一级输出的两个极性相反的像。

有了正负像后, 再将 $H_1(\omega)$ 和 $H_2(\omega)$ 分别加上红、绿滤色片, 则零级和一级两个通道分别输出一个红的正像和一个绿的负像。这两个像的迭加即为(6)式所表达的总的输出——一个假彩色像。这种假彩色像的颜色与输入片密度有一定的对应关系: 原编码片黑的

① 这里所说的正、负像是对编码片而言。负像即编码片的对比度反转像。

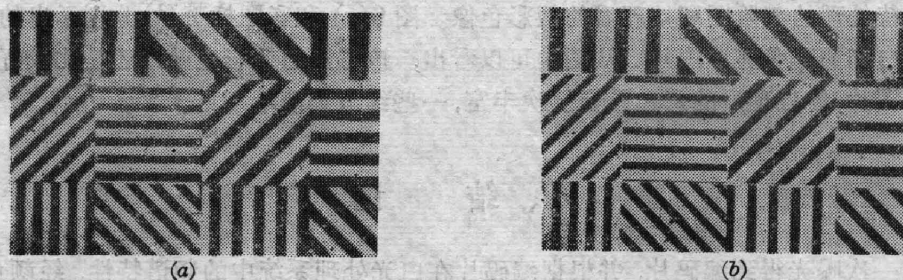


图3 零级和一级输出的两个极性相反的像

Fig. 3 Two contrast reversed images from zero and first orders

地方,像的对应处是绿色,而编码片“白”(即透明)的部分,像的对应处是红色。而介于黑“白”之间的各种灰度部分,则按红绿不同比例匹配成多种颜色(如橙、黄、黄绿等等)。当零级和一级的滤色片更换时,输出像的颜色也随之变化,可供选择。此外,因零级卷积的频谱强,故为使它与一级卷积的频谱强度匹配,需在 $H_1(\omega)$ 处加一滤光片,通过调整滤光片的衰减系数来调整输出像的色调。另外,还需要指出的是,由于谱面上光栅的每个衍射级(包括零级)都卷积了物的全部频谱,因而滤波后实际上几乎不损失分辨率。

三、实验方法和结果

首先制作编码片。本文采用图4所示的装置,用普通光源照明物, Ronchi 栅(50 pair of lines/mm)与乳胶干板迭置,调焦透镜 L ,使物成像在干板上。经适当曝光和显影,制得一张编码片。这里的关键是曝光量适当和选择合适的干板。

得到编码片后,将其放入图2所示的白光处理系统中进行处理。使用的白光源是溴钨灯(12 V, 100 W)。针孔滤波器的孔径约为 $500 \mu\text{m}$ 。频谱面上用的滤色片是 Kodak 29[#] 和 61[#] 原色滤色片(用国内市场上的原色滤色片亦可)。最后的彩色图像显示可用毛玻璃屏直接观察或者用彩色底片记录。

本文分别对灰阶图和遥感图片进行了密度假彩色编码实验。图5(a)和彩图插页(g)分

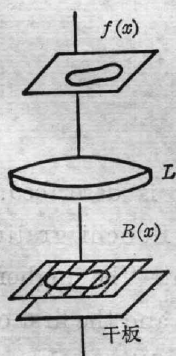


图4 制备调制片的装置
Fig. 4 Device for preparing modulation plate



图5 灰阶图及其假彩色编码
(见彩图插页(g))
Fig. 5 Grey scale picture and its pseudocolor encoding (shown in color inset)

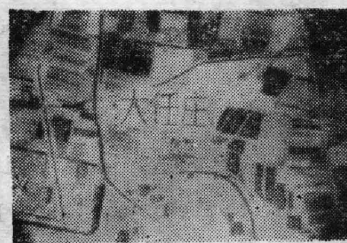


图6 遥感图片及其假彩色编码
(见彩图插页(h))
Fig. 6 Remotesensing photogram picture and its pseudocolor encoding (shown in color inset)

别示出了待处理的灰阶图和处理后的假彩色像。图 6(a) 和彩图插页(h)分别示出的是处理前后的黑白和假彩色遥感图片。从图中可以看出, 该方法的假彩色效果还是比较好的。特别是遥感图片, 经处理后的彩色图像层次丰富, 一些细节仍清晰可见。

四、结 论

利用一次曝光得到编码片, 并根据编码片在白光处理系统中的频谱特性, 经颜色滤波, 实现了假彩色密度编码。它操作简单, 大大简化了通常假彩色编码所需的复杂操作过程, 避免了制作 π 位相板的困难。容易提高编码片的衍射效率, 从而可降低对光源亮度的要求。这种方法更便于推广和应用。例如, 它可用于 X 光照片和遥感图片的图像增强等。

本工作曾得到沈寿春教授和程路副教授的有益帮助。李玺英工程师为我们的彩色显示付出了辛勤的劳动, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] J. Escos, T. C. Strand; *Appl. Opt.*, 1978, **17**, No. 19 (Sep), 2524.
- [2] F. T. S. Yu; *Opt. Lett.*, 1978, **3**, No. 2 (Aug), 57.
- [3] H. G. Liu, J. W. Goodman; *Nouv. Rev. Opt.*, 1976, **7**, No. 5 (Sep-Oct), 235.
- [4] F. T. S. Yu *et al.*; *Opt. Lett.*, 1978, **3**, No. 5 (Nov), 190.
- [5] G. Indebetouw; *Appl. Opt.*, 1977, **16**, No. 8 (Aug), 1951.
- [6] J. Santanmaria *et al.*; *J. Opt.*, 1979, **10**, No. 4 (Jul), 151.
- [7] T. H. Chao *et al.*; *Opt. Lett.*, 1980, **5**, No. 6 (Jun), 230.
- [8] F. T. S. Yu *et al.*; *Appl. Opt.*, 1980, **19**, No. 17 (Sep), 2986.
- [9] O. Bryngdahl; *J. O. S. A.* 1970, **60**, No. 12 (Dec) 1698.

White-light pseudocolor density encoding by means of one photographic step

KANG HUI AND LI ZHENGMING
(Department of Physics, Nankai University)

(Received 7 September 1981, revised 26 March 1982)

Abstracts

A new technique of white light pseudocolor density encoding is described. The exposure to the object to be processed is performed by means of a Ronchi grating in one step. According to the property of the negative encoding plate "the higher the transmittance, the lower the modulation", and when only the zeroth and the first orders of the spectrum of the grating are allowed to pass. Authors the positive and negative images have been obtained respectively, and hence realized contrast reversal. After color filtering, authors accomplished the pseudocolor density encoding.