

图象等密度假彩色编码的一种光学方法*

王植恒
(四川大学物理系)

提 要

本文用光学方法实现了图象等密度假彩色编码。采用一种四灰阶矩形剖面的半色调屏,对输入图象进行脉冲频率调制。在白光滤波系统的光源狭缝平面上加滤光片进行假彩色编码。半色调屏采用泰保(Talbot)效应自成像的方法制作。屏的空间频率达12.5lp/mm,一维空间带宽积达750。用此方法处理遥感照片取得了良好的结果。

一、引 言

近年来,光学半色调处理已成功地实现了各种类型的非线性变换^[1]。等密度分割是在图象资源分类等方面广泛采用的一种非线性变换处理方法。它要求将输入图象按确定的密度范围进行分区。H. K. Liu^[2]等曾用多次移动 Ronchi 光栅的方法制作半色调屏,进行“面积调制”处理,得到了等密度分割的黑白图象。G. Indebetouw^[3,4]用三灰阶密度的半色调屏加 θ 调制的方法对图象进行三次调制,得到了假彩色编码的三个密度区域的输出图象。本文用自成像滤波法制作了面积较大、空间频率较高的四灰阶半色调屏,对输入图象进行一次“频率调制”,并采用新的照明方法滤波,得到了假彩色编码的三个密度区域的输出图象。

二、半色调处理及假彩色编码

半色调处理是一种两步成像过程^[5]。如图1所示,首先用均匀入射光将输入图象 I 通过一密着半色调屏 P 复制在高反差底片 H 上,即可得到包含有输入图象 I 的信息的半色调图片。 P 的密度分布 $D_p(x)$ 如图2(a)所示。它有四个密度阶 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 。与 I 之密度分布 $D_i(x)$ (图2b)重迭后,合密度为 $D_i(x) + D_p(x)$ (图2c)。设入射曝光量为 E_0 ,透过 I 、 P 之后入射到 H 上的曝光量为 $E = E_0 \cdot 10^{-[D_i(x) + D_p(x)]}$ 。若理想底片 H ($\gamma \rightarrow \infty$)的阈值曝光量为 E_{th} ^[5],则只有满足 $E > E_{th}$ 条件,即满足 $D_i(x) + D_p(x) < \log \frac{E_0}{E_{th}}$ 时,底片才会曝光变黑。令 $D_{th} = \log \frac{E_0}{E_{th}}$ 为该曝光条件下之阈值密度。换句话说,只有当合密度之值小于此阈值 D_{th} 时,底片才会曝光变黑。这样得到的半色调图片之透过率可表示为:

$$\tau(x) = \frac{1}{2} \{1 + \text{sgn}[D_i(x) + D_p(x) - D_{th}]\}。$$

收稿日期:1981年1月26日

* 本文系研究生毕业论文。指导老师:郭履容,朱自强。

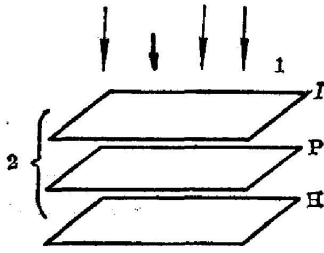


图 1 两步成像过程示意图

1—入射光; 2—贴紧压牢; I—输入图片
P—半色调屏; H—高反差底片

Fig. 1 Schematic diagram of using two processes for making the halftone image

1—Incident light; 2—Keep contact; I—Input image;
P—Halftone screen; H—High reflectance film

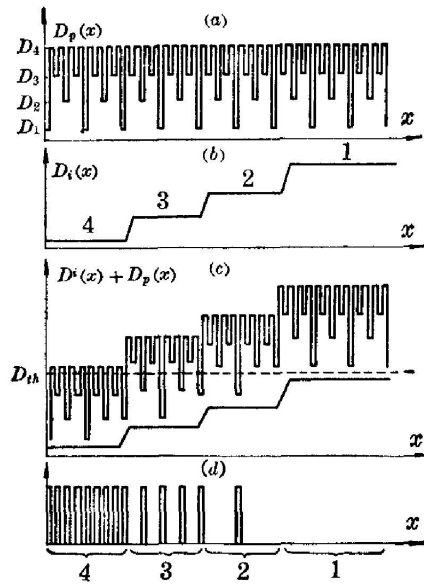


图 2 半色调屏的密度分布图

1—区域 1; 2—区域 2;
3—区域 3; 4—区域 4

Fig. 2 Density distribution diagram of halftone screen

1—Region 1; 2—Region 2;
3—Region 3; 4—Region 4

对应于 I 上之不同密度区域, 半色调图片上出现脉冲宽度均为 $T/8$, 但频率并不相同的线条 (图 2d)。脉冲频率与输入密度间的关系如下表所示:

输入区域	区域 1	区域 2	区域 3	区域 4
输入密度 $D_i(x)$	$D_{th} - D_1 < D_{i1}(x)$	$D_{th} - D_2 < D_{i2}(x) < D_{th} - D_1$	$D_{th} - D_3 < D_{i3}(x) < D_{th} - D_2$	$D_{th} - D_4 < D_{i4}(x) < D_{th} - D_3$
脉冲频率	0	f_0	$2f_0$	$4f_0$

其中 $f_0 = \frac{1}{T}$, T 为半色调屏的周期。

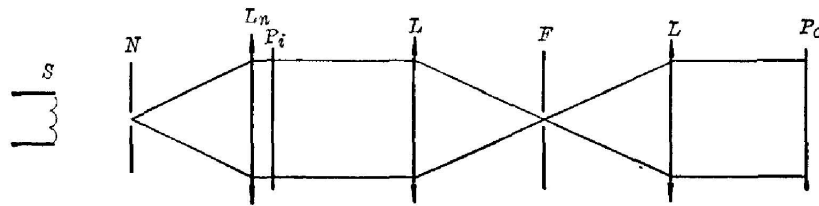


图 3 信息处理系统示意图

S—白炽光源; N—光源狭缝; L_n —准直透镜; P_i —输入平面;
L—傅里叶变换透镜; F—滤波狭缝; P_o —输出平面

Fig. 3 Schematic diagram of optical information processing

S—White light source; N—Light source slit; L_n —Collimating lens;
 P_i —Input plane; L—Fourier transform lens; F—Filtering slit;
 P_o —Output plane

然后将半色调图片放入滤波系统中(图3)。当用单色光照明时,在频率平面 F 上便可得到上述线条的频谱,其振幅分布可由宽度为 $T/8$, 频率为 $f_0, 2f_0, 4f_0$ 的线条之透过率 τ_1, τ_2, τ_4 的傅里叶分析得知:

$$\begin{aligned} \tau_1 &= 0.875 - 0.243 \cos(\omega_0 x) - 0.225 \cos(2\omega_0 x) - 0.196 \cos(3\omega_0 x) \\ &\quad - 0.16 \cos(4\omega_0 x) - \dots, \\ \tau_2 &= 0.75 - 0.45 \cos(2\omega_0 x) - 0.318 \cos(4\omega_0 x) - \dots, \\ \tau_4 &= 0.5 - 0.637 \cos(4\omega_0 x) - \dots, \end{aligned}$$

式中 $\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{2\pi}{T}$ 。

然后利用上述各衍射级之光强进行假彩色编码。

根据当点光源在不同的位置照明物体时,所得到的像之位置并不改变这一事实,本文采用如下的彩色化方法。

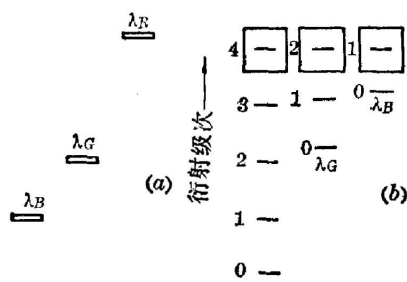


图 4

(a) 光源狭缝; (b) 傅里叶变换平面的空间滤波器

Fig. 4

(a) Light source slit; (b) Spatial filter in the Fourier transform plane

用扩展白光光源 S 照明狭缝 N (如图3),在 N 上靠近光轴附近选取三个平行狭缝,分别将红(R)、绿(G)、蓝(B)三个颜色滤光片放在狭缝前面(图4a),由此构成假彩色编码的光源。

各狭缝出射光经准直后形成不同倾角的平面波,照明物体后在 F 平面上产生各自独立的频谱。只要对狭缝位置安排适当,就可使各色频谱不相重迭。现用三个带通滤波器分别滤出与波长 $\lambda_B, \lambda_G, \lambda_R$ 对应的1、2、4级频谱分量。因像的位置与照明光的角度无关,各级衍射分量在输出平面上形成的像仍然是互相重合的。又由于各种频率的线条在各衍射级处所形成的

振幅之比值不同,因而各种颜色分量之比值也不一样,所以在输出平面上就得到了如下表所示的用不同颜色表示的等密度分割图象:

输入区域	区域 1	区域 2	区域 3	区域 4
合成颜色	黑色	$(0.243)^2 B + (0.225)^2 G + (0.196)^2 R$	$(0.45)^2 G + (0.318)^2 R$	$(0.637)^2 R$

这样便实现了输出图象的等密度假彩色编码。

三、半色调屏的制作

本文采用自成像滤波法制作半色调屏^[6]。先作一周期分布的黑白二元掩模,其单元结构(图5a)由所需之半色调屏(图5b)决定。沿 x 方向分布的各不透明线条在 y 方向的长度比为 $T:C_1 T:C_2 T:0$ 。

将此二元掩模置于图6之物面 P_i 处。若在光源狭缝面 N 上取一小孔,来自光源 S 的光由滤光片 F_i 滤色,并经准直透镜 L 准直之后照明 P_i 。根据泰保(Talbot)效应^[7],在 P_i 后

面相隔 $Z_T = \frac{2T^2}{\lambda}$ 的 P_0 处, 将出现 P_i 的像。现在 N 面上改用与 P_i 上线条方向平行的狭缝, 即用线光源照明, 则在 P_0 上产生沿 y 方向移动的像。这些像彼此迭加的结果相当于 P_i 沿 y 方向取强度平均, 实现了该方向的零频滤波。最后得到在 P_0 上沿 x 方向各区域有 $0:(1-C_1):(1-C_2):1$ 的强度分布。

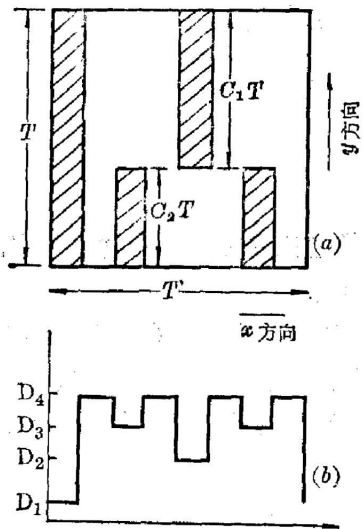


图 5

(a) 二元掩膜的形状; (b) 相应的半色调屏掩

Fig. 5

- (a) Shape of the binary mask cell;
- (b) Shape of the corresponding halftone screen mask cell

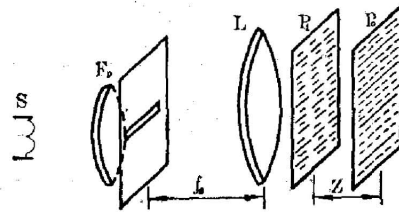


图 6 利用二元掩膜的光源产生半色调屏的光学系统

S —光源; F_p —干涉滤光片; N —光源狭缝;
 L —准直透镜; P —周期物体; P_0 —象平面

Fig. 6 Optical system for making halftone screen by using light source and self-image of the binary mask

S —Light source; F_p —Interference filter; N —Light source slit; L —Collimating lens; P —Periodical object; P_0 —Image plane

将反差为 γ 的底片放在 P_0 处曝光, 控制曝光量 E_p 在 $H-D$ 曲线的线性部分, 其密度 D 与 E_p 之关系为: $D = \gamma \cdot \log E_p - D_0$ 。 D_0 为 $H-D$ 曲线线性部分的延长线与 D 轴交点的密度值。

最后得到的半色调屏的密度值(图 5b)为:

$$D_1 = D_g, \quad D_2 = \gamma \cdot \log [(1-C_1) E_p] - D_0, \\ D_3 = \gamma \cdot \log [(1-C_2) E_p] - D_0, \quad D_4 = \gamma \cdot \log E_p - D_0,$$

其中 D_g 为灰雾密度。如将曝光区域选在 $H-D$ 曲线的非线性区, 则所得半色调屏的密度值应由实际测量决定。

四、实验结果

用分步重复照像法在 Kodak 超微粒干版上制得的二元掩模的实际尺寸如图 7 所示。周期 T 为 0.08 mm, 面积为 $60 \times 60 \text{ mm}^2$, 局部放大照片如图 8a 所示, 将它进行自成像滤波, 照明光波长为 6400 \AA 。用天津 I 型全息干版曝光所得半色调屏之放大照片如图 8b 所示, 单元频率为 12.5 lp/mm, 一维空间带宽积为 750。考虑到曝光处理时底片上不可避免地会出现渐晕加宽, 而且加宽量随曝光量的增大而增大, 所以在设计掩模时, 根据经验, 有意使与低密度区对应的线条窄一些, 以保证半色调图片上的线条有相同的宽度。用 SO 特硬软片 ($\gamma \approx 8$) 作半色调图片, 其放大照片见图 8c。经滤波解调后即得假彩色编码的等密度分割输出。

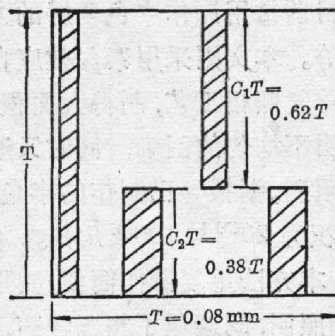


图 7 二元掩膜的实际形状

Fig. 7 Real shape of the binary mask cell

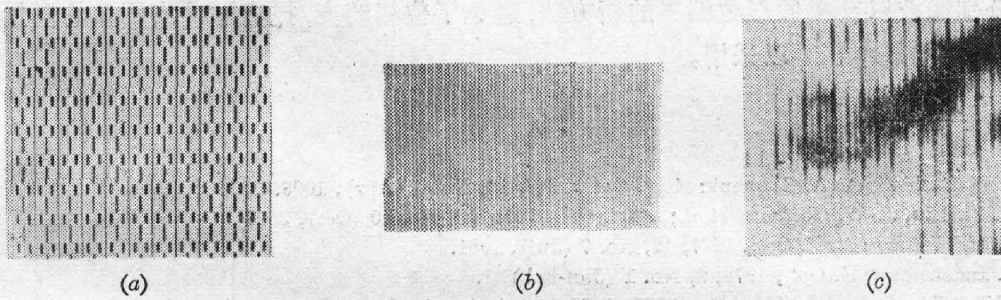


图 8

(a) 二元掩膜的照片(约放大 40 倍); (b) 半色调屏的照片(约放大 40 倍);
(c) 半色调屏的照片(约放大 40 倍)

Fig. 8

(a) Photograph of the binary mask cell (enlarged by 40 times);
(b) Photograph of the halftone screen (enlarged by 40 times);
(c) Photograph of the halftone image (enlarged by 40 times)



图 9 输入成像

Fig. 9 Input image

图 9 为未处理的卫星遥感照片。图 10 (见 102 页后彩图插页) 为输出图片。从图 10 中可见图下部灰阶的彩色与图中分布一致, 密度分割效果良好, 所处理的图象已为解译人员采用, 表明本方法已初步达到实用阶段。

五、讨 论

(1) 本文采用四灰阶半色调屏, 经一次调制, 可得到三个密度分割区域。与 θ 调制法相比, 调制次数减少、操作简便, 而且无交叉调制噪声。同时本文采用的“频率调制”法使用不连续分布的线条频率来传递密度信息, 与可连续变化的线条宽度相比, 受线晕现象的干扰显著减少, 对密度分割较为适合。

(2) 半色调屏决定了密度分割范围和采样频率。由调制过程和采样定理得知, 为使密度分割准确, 输出图象清晰, 要求制作密度分布均

匀, 单元频率较高的半色调屏。目前常用制作半色调屏的方法有显微光密度扫描法及采用大尺寸光栅在缩小时移动曝光法等。本文则采用泰保效应自成像零频滤波的方法制作半色调屏。这样既利用了成熟的分布重复照相工艺, 制得大面积均匀的二元掩模, 克服了直接缩小光栅的方法中遇到的大面积照明不均匀的困难, 同时又避免了由于目前透镜的制作水平给提高屏的空间带宽积所带来的限制。据报导已制作的半色调屏有频率为 1.968 lp/mm ^[2]; 频率为 1 lp/mm , 一维空间带宽积为 20 ^[3]与 100 ^[4]几种。本文的结果已远较这些值大。而与显微光密度计扫描的方法相比, 本方法重复制作简便, 费用低廉, 易于采用。

(3) 在滤波系统中, 使用白光照明, 既避免了相干噪声, 又为假彩色编码提供了方便。通常假彩色编码是在频率平面上加滤光片, 由于滤光片制造的质量问题(如不均匀度、不平度等), 引起位相畸变, 造成输出失真和位错。本文提出了用不同颜色的光以不同入射角同时照明, 分别滤波以获得假彩色编码的新方法, 避免了位相畸变, 提高了输出图象的质量, 在其他彩色编码问题中也可以采用。

参 考 文 献

- [1] S. R. Dashiell, A. A. Sawchuk; *Appl. Opt.*, 1977, **16**, No. 4 (Apr), 1009.
- [2] H. K. Liu, J. W. Goodman *et al.*; *Appl. Opt.*, 1976, **15**, No. 10 (Oct), 2394
- [3] G. Indebetouw; *Appl. Opt.*, 1977, **16**, No. 7 (Jul), 1951.
- [4] G. Indebetouw; *J. Opt.*, 1978, **9**, No. 1 (Jan-Feb), 1.
- [5] 刘华光(H. K. Liu); 《光学学报》, 1981, **1**, No. 1 (Jan), 97.
- [6] D. Casasent, A. A. Sawchuk; 《*Proc. SPIE, Vol. 83, Optical Information Processing*》(Palos Verder Estates, 1977), 120.
- [7] J. T. Winthrop. C. R. Worthington; *J. O. S. A.*, 1965, **55**, No. 4 (Apr), 373.

An optical method of pseudocolor equidensity encoding of image*

WANG ZEHENG*

(Department of Physics, Sichuan University, Chengdu)

(Received 26 January 1981)

Abstract

An optical method of pseudocolor equidensity encoding of photographic image is described. Frequency modulating of input image is made through a four grey-levels halftone screen and the pseudocolor encoding is performed in a spatial filtering system where the white light source is used with the color filter placing at the plane of the source slit. The halftone screen is made by means of the Talbot effect which incorporates the equivalent of low-pass spatial filtering. The spatial frequency of the screen is up to 12.5 lp/mm . The one-dimensional space-bandwidth product is up to 750. The remote sensing image processed by using this method is available.

* This paper is a post-graduate thesis.

Tutors: Guo Lurong and Zhu Ziqiang