

空间滤波实时频谱与密度假彩色编码*

贺明霞 刘智深
(山东海洋学院物理系)

提 要

本文论述用频谱面彩色滤波方法对图像进行实时的频谱和密度假彩色编码。频谱假彩色编码是用二维环形彩色滤波器进行滤波来完成的。密度假彩色编码是用双色相衬滤波器使图像反转而实现的。对ERTS(地球资源技术卫星)遥感图片和航空遥感图片进行了直接处理,实验结果证明该方法有效。

一、引 言

七十年代以来,许多新技术开始应用于海洋探测与开发,使海洋科学从古老的、离散的、非同步的研究发展为现代化的、连续的、同步的研究;从不严格的、局部的研究发展为定量的、模式化的、全局的研究。其中遥感技术的应用成为近代海洋研究与开发的一个重要方面。目前已有数十颗卫星获得了大量的海洋资料。为了使遥感资料充分发挥作用,在发展计算机遥感图像数字处理的同时,发展光学信息处理方法是十分有意义的。

迄今为止,所发表的光学图像假彩色编码可分为两类。一类为空间频谱假彩色编码,其结果是对图像的不同的空间频谱赋予不同的色彩。另一类为密度假彩色编码,其结果是对图像的不同灰度赋予不同的色彩。前者用以突出图像的结构差异;后者用以突出图像的灰度差异,以提高对黑白图像的目视判读能力。在处理方法上, Yu^[1~3]提出一步彩虹全息方法; Liu 和 Goodman^[4,5]提出用半色调屏技术为基础的密度假彩色编码方法。他们用相干光源进行处理。Tai 和 Yu^[6]等改进了这一方法,用白光进行处理。Bescos, Strand 和 Indebetouw 等^[7~9]提出采用彩色滤波器的空间频谱假彩色编码方法。Yu 和 Zhuang^[10]等提出采用光栅的频谱和密度假彩色编码方法。

本文的方法,只需通过更换彩色空间滤波器(环形彩色滤波器或双色相衬滤波器),既可进行频谱假彩色编码,又可进行密度假彩色编码。这个方法可对遥感图像进行实时处理,适于处理大量遥感图片,对于短周期变化的海洋动态环境特别有用。假彩色编码的色彩可根据图像判读要求而选择,便于海洋遥感多光谱图像的对比、相减以及差异特征信息的提取。在进行假彩色编码的同时,可对图像的频谱进行分析研究。由于不使用半色调屏或光栅,图像分辨率完全由光学系统本身所决定。

二、光学实验系统和方法原理

图1为白光图像处理系统。 S 为白光光源(氙灯), L_1 为准直物镜, P_1 为图像输入面,

收稿日期: 1982年1月11日,收到修改稿日期: 1982年11月8日

* 本文曾在1981年全国第二次光学信息处理学术报告会上宣读,原题为“海洋遥感图像实时光学假彩色编码”。

可直接插入 $70 \times 70 \text{ mm}^2$ 的遥感图片, L_2 为傅里叶透镜, P_2 为频谱面, L_3 为放大物镜, 其作用是将频谱放大, 等效于傅里叶透镜的焦距拉长, P_3 为经放大物镜放大后的频谱面, 亦为滤波面, L_4 为第二组傅里叶透镜, P_4 为图像输出面。输出图像可直接用彩色闭路电视显示或照相记录。用内调焦观察镜观察, 可连续观察从频谱滤波面 P_3 到假彩色图像输出面 P_4 的卷积运算过程。

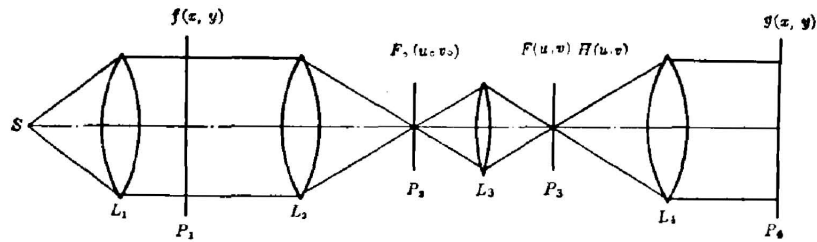


图 1 白光图像处理系统示意图

Fig. 1 A white light image processing system

假彩色编码原理如下:

输入图像 $f(x, y)$ 经 L_2 、 L_3 傅里叶变换和频谱放大后, 其傅里叶谱为

$$F(u, v) = \iint_D f(x, y) \exp[-i2\pi(xu + yv)] dx dy, \quad (1)$$

其中, $u = x/\lambda f$, $v = y/\lambda f$, f 为 L_2 和 L_3 的等效焦距, D 为光学系统孔径。环形彩色滤波器可表示为

$$H(u, v) = \begin{cases} A_1(\lambda) & 0 < R < R_1, \\ A_2(\lambda) & R_1 < R < R_2, \\ A_3(\lambda) & R_2 < R < R_3, \\ \vdots & \vdots \end{cases} \quad (2)$$

其中 $R = \sqrt{u^2 + v^2}$ 。环形彩色滤波器的示意图如图 2 所示。把 $H(u, v)$ 置于 P_3 面, 并使光轴通过滤波器中心。显然, 在 P_3 面同时完成了时频和空间频谱的分割。 P_3 面的输出可表示为

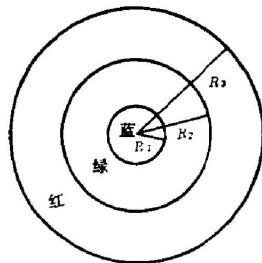


图 2 环形彩色滤波器示意图

Fig. 2 Annular color spatial filter

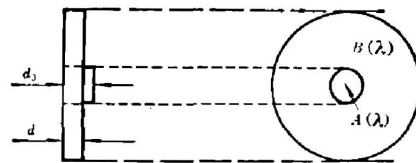


图 3 双色相衬滤波器示意图

Fig. 3 Two-color halfwave phase filter

$$P_3(u, v) = F(u, v)H(u, v), \quad (3)$$

经过 L_4 傅里叶透镜的反变换, P_4 面输出为

$$g(x, y) = f(x, y) \otimes h(x, y), \quad (4)$$

其中, \otimes 为卷积运算符号。上式即为频谱假彩色编码的结果。

若在频谱面放置如图 3 和图 4 所示的双色相衬滤波器, 即可完成密度假彩色编码。双色相衬滤波器的中央部分透射光谱分布为 $A(\lambda)$, 峰值波长为 λ_1 , 厚度为 d_0 。中央以外部分透射光谱分布为 $B(\lambda)$, 峰值波长为 λ_1 和 λ_2 , 厚度为 d , 并且满足如下条件:

$$(n-1)(d_0-d) = \lambda_1/2, \quad (5)$$

其中 n 为滤波器折射率。对于峰值为 λ_2 、光谱分布为 $A(\lambda)$ 的透射光来说, 双色相衬滤波器可表示为

$$H_1(u, v) = \begin{cases} -1 & u=0, v=0, \\ 1 & u \neq 0, v \neq 0. \end{cases} \quad (6)$$

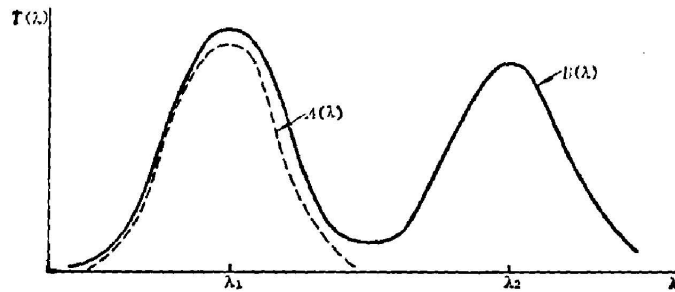


图 4 双色相衬滤波器透射光谱分布

Fig. 4 Transmittance spectrum of two-color halfwave phase filter

对于峰值为 λ_2 的光谱分布的透射光来说, 滤波器则相当于一个零阻滤波器, 可表示为

$$H_2(u, v) = \begin{cases} 0 & u=0, v=0, \\ 1 & u \neq 0, v \neq 0. \end{cases} \quad (7)$$

当输入图像为 $f(x, y)$ 时, 在 P_3 面得到 $f(x, y)$ 的频谱为

$$F(u, v) = \iint_D f(x, y) \exp[-i2\pi(ux+vy)] dx dy. \quad (8)$$

通过双色相衬滤波器之后, P_3 面的输出为

$$P_3(u, v) = F_1(u, v)H_1(u, v) + F_2(u, v)H_2(u, v), \quad (9)$$

其中 $F_1(u, v)$ 相应于峰值为 λ_1 , 光谱分布为 $A(\lambda)$ 的空间频谱, $F_2(u, v)$ 相应于峰值为 λ_2 光谱分布的空间频谱。再通过 L_4 傅里叶透镜反变换, P_4 面的输出为

$$g(x, y) = \iint_D [F_1(u, v)H_1(u, v) + F_2(u, v)H_2(u, v)] \cdot \exp[-i2\pi(ux+vy)] du dv, \quad (10)$$

对上式积分得

$$g(x, y) = [f_1(x, y) - 2f_1^0] + [f_2(x, y) - f_2^0], \quad (11)$$

其中 f_1^0 和 f_2^0 分别相应于频谱 $F_1(u, v)$ 和 $F_2(u, v)$ 的图像直流项。 $f_1(x, y)$ 和 $f_2(x, y)$ 分别相应于频谱为 $F_1(u, v)$ 和 $F_2(u, v)$ 的图像。因此(11)式第一项为对比度反转的峰值为

λ_1 和光谱分布为 $A(\lambda)$ 的图像。第二项为反差增强的峰值为 λ_2 光谱分布的图像。上述两项不相干, 故在 P_4 面输出的光强分布为

$$I(x, y) = |f_1(x, y) - 2f_1^0|^2 + |f_2(x, y) - f_2^0|^2, \quad (12)$$

(12)式即为密度假彩色编码的结果。

上述频谱和密度假彩色编码两种方法相结合, 即可获得一种称为频谱-密度假彩色编码的结果。可在密度假彩色编码的同时, 突出图像结构。

三、处理结果和结论

用本方法及实验系统处理了五十多张中国沿海地区的 ERTS (Earth Resources Technology Satellite) 遥感图片、航空遥感图片以及标准板等。涉及到长江口、钱塘江口、福州近海、连云港海区、胶州湾、山东半岛、天津海区等。图 5 (见彩色插页图(e))为钱塘江口。MSS7 波段 ERTS 遥感图片频谱假彩色编码的结果。南部的山脉丘陵地区由于结构起伏的高空间频率成份, 故呈现红色。江水、平地等, 相应于低空间频率成份, 故呈蓝色。图 6 (见彩色插页图(f))为同一张 ERTS 遥感图片的密度假彩色编码结果。密度高的陆地、泥沙呈现红色, 密度低的江水区等呈现蓝色。泥沙含量不同, 呈现了色调的差异。

本文的方法可用于大量遥感图片的实时处理。假彩色可人为调节。亦可同时进行频谱分析、频谱和密度假彩色编码。处理程序简单, 操作简便, 一般遥感判读人员均可操作使用。

从处理的结果来看, 本方法在利用遥感图片进行海岸带调查中具有应用价值, 如河口泥沙分布、水下浅滩调查、海洋污染调查、海面温度分布及海浪分析等。

本工作得到中国科学院物理研究所副研究员张洪钧同志的指导, 谨此致谢!

参 考 文 献

- [1] F. T. S. Yu; *Opt. Lett.*, 1978, **3**, No. 2 (Feb), 57.
- [2] F. T. S. Yu; A. Tai *et al.*; *J. Opt.*, 1978, **9**, No. 5 (Sep/Oct), 269.
- [3] F. T. S. Yu, T. H. Chao *et al.*; *Opt. Commun.*, 1980, **32**, No. 2 (Feb), 225.
- [4] H. K. Liu, J. W. Goodman *et al.*; *Appl. Opt.*, 1976, **15**, No. 10 (Oct), 2394.
- [5] 刘华光(H. K. Liu);《光学学报》, 1981, **1**, No. 2 (Mar), 1.
- [6] A. Tai, F. T. S. Yu *et al.*; *Opt. Lett.*, 1978, **3**, No. 5 (May), 191.
- [7] G. Indebetouw; *Appl. Opt.*, 1977, **16**, No. 6 (Jul), 1951.
- [8] G. Indebetouw; *Appl. Opt.*, 1979, **18**, No. 24 (15 Dec), 4206.
- [9] J. Besco. T. C. Strand; *Appl. Opt.*, 1978, **17**, No. 16 (15 Aug), 2524.
- [10] F. T. S. Yu, S. L. Zhuang *et al.*; *Appl. Opt.*, 1980, **19**, No. 17 (1 Sep), 2986.

Spatial filtering real-time spatial frequency and density pseudocolor encoding

HE MINGXIA AND LIU ZEISHEN

(Department of Physics, Shandong College of Oceanology, Qingdao)

(Received 11 January 1982, revised 8 November 1982)

Abstract

A real-time image pseudocolor encoding method for spatial frequency and density encoding is presented. Pseudocolor images are obtained through color spatial filtering at a spatial frequency plane. The spatial frequency pseudocolor encoding is accomplished by two-dimensional color spatial filters. The density pseudocolor encoding is obtained through contrast reversal of color image, and the contrast reversal is accomplished by two-color halfwave phase filtering. ERTS and airborne remote sensing images are processed directly. Experimental results showed that this method is effective.