

利用三色光栅实现彩色图像相减

康 辉 杨莫民
(南开大学物理系, 天津)

提 要

本文提出了一种彩色图像相减的新方法。该方法利用互相错动半个周期的两组三色光栅, 在黑白底片上分别对待处理的两幅图像进行一次编码记录, 然后在白光处理器上对黑白编码片进行彩色译码, 即可实现彩色图像的强度相减。文中讨论了三色光栅实时生成和两组三色光栅条纹自动错动半个周期的方法, 并给出了实验结果。

关键词: 彩色图像相减; 三色光栅; 偏振滤波器。

一、引 言

图像相减是信息处理技术的一个重要组成部分。它在军事、医学、遥感测量及通信传输等领域均有广泛的应用。光学图像包括黑白图像和彩色图像, 而彩色图像所包含的信息比黑白图像丰富得多。因此, 研究彩色图像相减无疑是非常有意义的。但是在过去有关图像相减的报道中^[1], 都是针对黑白图像的。近些年来, 关于彩色图像的相减, 已有报道^[2]。我们在对黑白图像相减和白光信息处理研究的基础上^[3], 也开展了对彩色图像相减技术的研究工作, 提出了利用三色光栅实现彩色图像相减的新方法。这种方法利用实时生成的三色光栅对彩色图像进行编码取样, 利用偏振滤波技术, 自动产生彩色光栅条纹半周期的移动, 从而一次完成对待处理的两幅彩色图像的编码记录。然后将所得黑白编码片置入白光处理系统中进行彩色解码, 即可得到彩色图像的相减结果。该方法由于大大简化了编码过程和使用非相干光源照明, 所以它具有操作简单、方便、相干噪音小等一系列的优点。因而具有实际应用价值。

二、基本 原 理

利用互相错动半周期的 Ronchi 光栅, 对两个黑白图像进行编码取样, 再经解码即可实现图像相减的方法^[3], 我们已很熟悉, 根据色度学原理, 彩色图像均可被分解为红、绿和蓝三个原色像。而每个原色像, 又可将其按黑白图像进行处理。所以彩色图像相减可利用上述的方法分别对三种原色像进行相减而得。文献[4]已经描述了利用三色光栅在黑白胶片上记录彩色图像的技术, 它是利用 θ 调制(即不同方位的光栅调制)方法, 把彩色信息记录下来的。根据这一设想, 如果我们能在一张底片上同时记录两幅被三色光栅调制的彩色图像, 并

使对这两幅图像进行编码的三色光栅相互错动半个周期,那么在最后的黑白编码片上,两彩色图像相同的部分变为一般的黑白负(或正)片,而差异部分则呈现以不同方向的黑白光栅所调制的现象。于是彩色差导信息被编码保存下来。最后将黑白编码片放在白光处理器中进行解码,即可得到两彩色图像的差异信息,实现了彩色图像相减。由此可见,本文所提出的彩色图像相减的方法,其关键在于编码过程中如何能实时、准确地使两组三色光栅相互错动半个周期,以便能同时地、分别对待相减的两幅彩色图像进行编码取样。

三、编码和解码

根据上述关于彩色图像相减的原理,为利用三色光栅经过一次曝光就可在黑白底片上完成对两幅彩色图像的相减编码,本文建议使用图1所示的装置。该装置的特点是,它既能实时生成三色光栅,又能自动实现两组三色光栅条纹的半周期移动,因而可同时完成对两幅图像的编码记录。

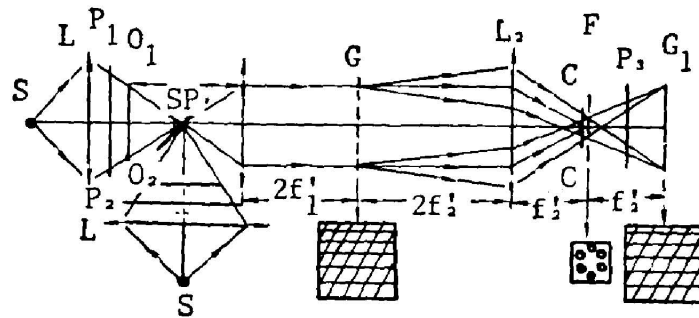


Fig. 1 Optical setup for color image subtraction.

S—white light point sources; P_1, P_2 —polarizers; O_1, O_2 —color objects to be subtracted; SP—beam splitter; L, L_1, L_2 —achromatic lenses; G —2-d grating; C —three primary color filters; F —spatial frequency plane; P_+, P_- —polarization spatial filters; P_3 —analyzer; G_1 —film plane

1. 三色光栅的实时生成

在图1中, G 为 60° 夹角的二维正弦(或 Ronchi)光栅。它在准直白光照明下,于消色透镜 L_2 的后焦平面处形成光栅的谱。通过滤波,阻挡掉零级光谱,并让三对一级光谱分别通过红、绿、蓝三原色滤色片,即可在 G 的共轭面 G_1 处形成三色光栅。光栅的三种颜色的条纹互成 60° 夹角,空间频率为 G 的 2 倍。

2. 条纹半周期的自动位移

为实现对相减两彩色图像的一次编码取样,装置除具有生成三色光栅的功能之外,还必须具有使两组三色光栅彼此错动半个周期的功能,我们使用了偏振滤波装置。如图1所示, P_1, P_2 为起偏器,两者的透偏方向相互垂直。在滤波平面 F 上,对正负一级衍射级分别置入透偏振方向互相垂直的偏振滤波器 P_+ 和 P_- ,在透镜 L_2 后面放置检偏器 P_3 。这些偏振片的透偏振方位的相互关系,在图2(a)中示出。由图2(a)和(c)可知,一路照明光经起偏器 P_1 后的偏振方向为 0° ,经谱面偏振滤波后正负一级衍射光的偏振方向分别为 $+45^\circ$ 和 -45° ,再经 P_3 检偏后,两者具有相同的偏振,即相位相同。图2(a)和(b)示出另一路照明光经起偏器 P_2 后的偏振方向为 90° ,经偏振滤波后 ± 1 级光的偏振方向分别为 45° 和

135°,再经 P_3 检偏,两者具有相反的偏振方向,即相位相反。这样,由正负一级衍射光的干涉,因 π 相位差的引入而在图 1 的 G_1 平面上使两组三色光栅自动错动半个周期。

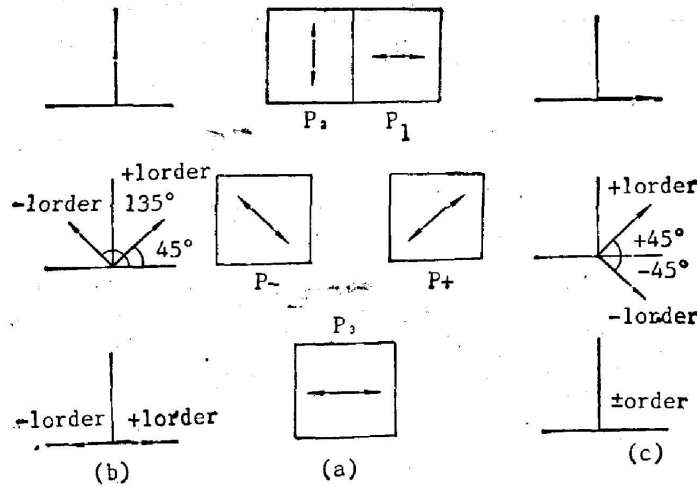


Fig. 2 Schematic for showing the principle of producing n -phase shift by using polarization spatial filter

- (a) Directional diagram of polarizers P_1 , P_2 , P_+ , P_- , and P_3
 (b) When P_1 is polarized at 0° , $+1$ order diffracted light is of opposite phase to -1 order
 (c) When P_2 is polarized at 90° , $+1$ order diffracted light is in phase with -1 order

3. 一次曝光编码

在图 1 中, O_1 , O_2 为待相减的两张彩色透明片, 消色透镜 L_1 将其成像在 G 处, 再通过透镜 L_2 , 在 G_1 平面上得到由三色光栅调制的图像。由于两幅图像的调制光栅条纹互相错动了半个周期, 所以两幅图像相同部分的条纹因互相补偿而消失, 而差别部分仍被光栅所调制。

设彩色物片 O_1 和 O_2 在输出平面 G_1 上的强度分布分别为

$$U(x, y) = U_R(x, y) + U_G(x, y) + U_B(x, y),$$

$$V(x, y) = V_R(x, y) + V_G(x, y) + V_B(x, y),$$

其中角标 R, G 和 B 表示三原色。则它们受相应的三色光栅调制的强度分布为

$$I = U_R(1 + \cos 2\pi N x_1) + V_R(1 - \cos 2\pi N x_1) + U_G(1 + \cos 2\pi N x_2) + V_G(1 - \cos 2\pi N x_2) + U_B(1 + \cos 2\pi N x_3) + V_B(1 - \cos 2\pi N x_3)。$$

用全色黑白胶片记录, 经过适当曝光和事后处理之后, 所得黑白编码片的振幅透过率可表示为:

$$t = A(U_R + V_R + U_G + V_G + U_B + V_B) + A[(U_R - V_R)\cos 2\pi N x_1 + (U_G - V_G)\cos 2\pi N x_2 + (U_B - V_B)\cos 2\pi N x_3],$$

其中 A 为常量。显然, 只有差别信息才被光栅调制。

4. 解码

解码在图 3 所示的普通白光处理器上进行。把黑白编码片放在输入平面上, 在频谱面上进行三原色滤波, 只允许衍射 $+1$ 级通过, 于是在输出平面上得到光场的强度分布为:

$$I = A'[(U_R - V_R)^2 + (U_G - V_G)^2 + (U_B - V_B)^2],$$

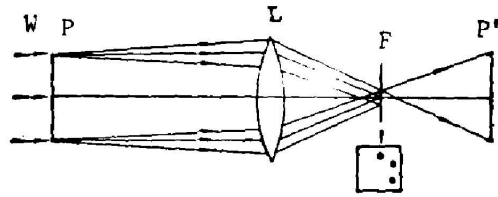


Fig. 3 A white-light processor

W—collimated white-light; P—input plane, L—achromatic lens; F—three color spatial filters; P'—output plane

这就是两幅彩色图像的相减结果。

三、实现与结果

本文用于验证以上理论分析的实验装置如图 4 所示(为简单明了,只用两原色实验)。S 为白光点光源, 它由 150 W 高压短弧氙灯经聚焦照明小孔获得。L₀, L₁, L₂ 和 L₃ 均为消色差透镜。L₀ 提供准直平行白光, 经起偏器 P 后照明二维 Ronchi 正交光栅 G, 光栅空间频率为 101/mm, 位于 L₁ 的前焦面上, 在 L₁ 的后焦面上形成相应的彩虹谱。在谱面上进行空间滤波, 只让正交的两个 ±1 级分别通过雷登 29 和 61 型的红、绿滤色片, 于是在 L₂ 的后焦平面上形成互相垂直的红、绿两色光栅。为使彩色光栅条纹移动, 在 L₂ 的前焦平面上, 按图 2(a) 所示放置偏振滤波器 P₊, P₋, 在 L₂ 的后面放入检偏器 P₃。在 L₂ 的后焦平面 G₁ 处放置彩色透明片, 经透镜 L₃ 的变换, 在其共轭像面位置上形成被正交彩色光栅调制的图像, 利用缩微胶片作记录介质, 为使光源光谱分布特性和胶片的光谱响应相平衡, 可在谱面 F 的光路中加适当中性滤光片。编码时, 将起偏片旋转到 0°, 对第一张彩色透明片曝光编码, 然后将 P 旋转到 90°, 并用第二张彩色透明片替换第一张, 进行第二次曝光编码。经后

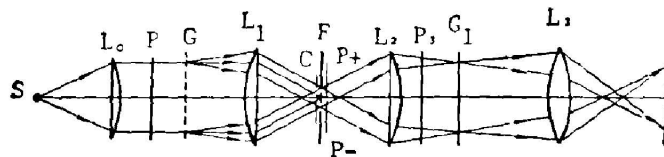


Fig. 4 Experimental setup for color image subtraction

S—white-light point source; L₀—collimated lens; P—polarizer; G—2-D grating; L₁, L₂—achromatic transform lenses; C—color filter; F—spatial frequency plane; P₊, P₋—polarization spatial filters; P₃—analyzer, G₁—object plane; L₃—achromatic image lens, G₂—film plane

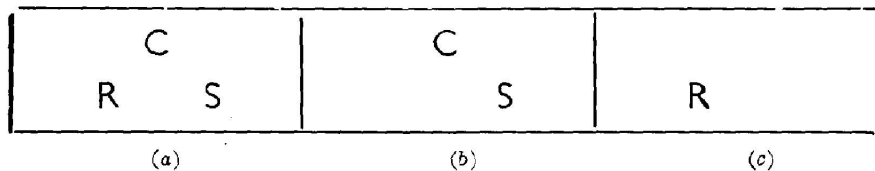


Fig. 5 Experimental result:(a) and (b): two color objects, (c) subtracted image; which symbol “C” is yellow colour, “S” is red colour, and “R” is green colour

道程序的适当处理后,即得图像相减编码片。将编码片放在图3的解码装置中,在谱面放置与记录时相同的红、绿滤色片,只让衍射 $+1$ (或 -1)级通过,在输出平面上可观察到两张彩色透明片的差异,即相减结果。图5(a)和(b)分别示出两彩色物,它们是由不同颜色的字母组成,图5(c)示出它们的相减结果。可知,不仅能将字形减出,也能将颜色减出。

四、讨 论

本文提出的利用三色光栅对彩色图像一次编码取样,实现相减的新方法,具有下列一些特点:

1. 编码和解码过程中均使用白光光源照明的处理系统,所以具有相干噪音低、体积小、重量轻和价格便宜等一系列优点。
2. 本方法利用二维光栅的对称衍射级间干涉实时生成三色光栅对彩色图像编码,并利用黑白胶片一次记录。这一方面可以克服传统的多次曝光法所造成的麻烦,同时也避免莫尔条纹的产生。又因不需使用彩色胶片,故操作处理方便。
3. 利用偏振滤波方法实现三色光栅半周期的自动位移,这不仅省去了对精密机械和防震的需求,且调制方便,容易做到准确。
4. 如果在图1的最后输出面上使用一个实时图像转换器,还可以实现彩色图像相减的实时操作。因此本方法是具有实际应用价值的。
5. 最后应当指出,实时生成的三色光栅的强度要与记录胶片的光谱灵敏度响应相匹配。在照明光源的光谱能量分布一定的情况下,这可通过选用具有不同衍射效率的二维光栅和加适当中性滤光片的方法来实现。由于最后相减输出的强度是与图像的三原色分量相减的平方和成正比,所以在某些情况下彩色还原会有些失真。

作者感谢母国光教授的指导。

参 考 文 献

- [1] J. F. Ebersole; *Opt. Engineer.*, 1975, **14**, No. 5 (Sep), 436.
- [2] F. T. S. Yu; *Optical Information Processing*, (Wiley-Interscience, New York, 1983)
- [3] F. T. S. Yu *et al.*; *J. Opt.*, 1982, **13**, No. 4 (Aug), 183.
- [4] 母国光等:《仪器仪表学报》,1983, **4**, No. 2 (May), 124.
- [5] 荣海生:《南开大学研究生毕业论文》, 1985.

Color image subtraction by using three-color grating

KANG HUI AND YANG YINGMIN

(Department of Physics, Nankai University, Tianjin)

(Received 31 July 1987; revised 19 September 1987)

Abstract

A new method for color image subtraction is proposed in this paper. The two color images encoded separately by two three-primary color gratings with an effective halfperiod shift of color fringes in one step are recorded on the same black-white film. The three-color gratings are formed in real-time by interference of symmetric orders of 2-D grating diffraction and three-color filters, and the half-period change of color fringes is realized by simple polarization spatial filters. The intensity subtraction of two color images then can be obtained easily by decoding in a white-light processor. An experimental example is given.

Key words: color image subtraction; three color gratings; polarization filters.