

文章编号: 0253-2239(2010)06-1629-05

一种同时实现图像微分和假彩色的方法

许浩瀚

(苏州科技学院数理学院, 江苏 苏州 215009)

摘要 在光学信息处理中,为了突出图像的差别和细节,假彩色编码和图像微分都能实现,各有其优点。本文用一种简单的方法将它们结合起来,并吸收两者的长处。先在 4F 光路中对图像进行微分编码,将所得编码片漂白,用白光作光源,在 4F 系统中的频谱面上适当滤波,在像面上所得图像具有同时实现图像微分和假彩色编码的效果。还具有处理面积大,处理灰度连续变化图像效果好,微分量可变,色彩丰富的特点。该方法可方便地用于 CT 片等记录图像的预处理,给这些图像的分析带来了一个新方法。

关键词 光学信息处理;图像;光栅;假彩色;微分

中图分类号 O4382 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS20103006.1629

A Method for Simultaneously Achieving Image Derivation and Pseudo-Color

Xu Haohan

(School of Mathematics and Physics, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou, Jiangsu 215009, China)

Abstract In optical information processing, the very tiny differences and minutiae in an image can be enlarged by the image derivations and pseudo-color codes, which have different advantages. In this paper, combining the two methods, a new method is proposed. Firstly, an image is coded by a grating Secondly a white light source is used, and the space frequency of the image is filtered in 4F optical system. Then the image derivations and pseudo-color codes on an image with successively changing greyness are realized simultaneously. The proposed method with changeable derivation can process large areas and offer rich color image. With this new method, the pictures such as the CT pictures are easily analyzed forexample.

Key words optical information processing; image; grating; pseudo-color; derivation

1 引 言

随着激光的诞生,光学信息处理获得了突飞猛进的发展,随之而来出现了多种光学信息处理方法,其作为新兴学科受到了人们的重视,人们不断提高信息处理的效果,使之更具有实用价值。它与计算机图像处理属于不同领域^[1,2],理论上讲用光学实现诸如傅里叶变换等运算,具有速度快,信息量大,并行处理特点。光学信息处理的实时元件尚有不足之处,给它的应用带来了影响。医院拍摄的 X 光片,卫星拍摄的遥感照片往往对比度较差,因此提出了图像微分的方法^[3,4],目的是提高边缘的强度。例如复合光栅法,在 4F 系统的频谱面上适当放置一块频率略有差异的复合光栅,在像面上可获得微

分图,该方法处理图片面积小,对复合光栅定位要求高。为了增加处理图片的面积,可用散斑法,将一幅随机散斑图与待处理图像叠合在一起,用二次曝光法编码图像,编码图在 4F 系统中滤波后,可获得边缘增强的效果。此方法为两步法,会在待处理图片上叠加散斑。最简单的方法是直接将处理图放在 4F 系统的物面,并在频谱面上高通滤波,同样实现边缘增强的效果。大部分的微分实验,都将二元型图像作为物,连续灰度变化图像作为物图并不多见,而灰度连续变化图像是实际应用中最为常见的。为了辨别图像的强弱变化,利用人眼对色彩变化敏感的特点,提出了假彩色编码的方法^[5~8],将图片的强度量转变为色彩变化。如用带通滤波器,将图像的

收稿日期: 2009-06-30; 收到修改稿日期: 2009-09-20

作者简介: 许浩瀚(1963—),男,硕士,主要从事光学信息处理、光学测量等方面的研究。E-mail: Xuhaohan63@126.com

不同频谱假彩色编码,可提高识别效果。还有用相位调制假彩色编码,将罗奇光栅与待处理图像重叠在一起,并复制,复制图像漂白后,在4F系统中适当滤波后,可将图像强度量转化为色彩变化。文献[9]中用分数傅里叶变换的方法,对物的像进行假彩色编码,可用于防伪。在以往的图像微分方法中,能突出图像的强弱变化部分,但仍然是同一种色调,对微分效果的识别受到一定的限制。另外,散斑法中,编码图中的散斑影响微分结果,故常用二元型图像作为物。本文提出一种图像处理的新方法,将具有灰度变化的图像,在4F系统中进行微分编码,仅需将记录的图像漂白,再放入4F系统,经过滤波后,同时实现微分和假彩色编码。方法简单,具有处理灰度连续变化图像效果好,处理面积大,微分量可变,色彩丰富的特点。

2 原 理

方法在普通的4F系统进行实验,如图1所示,

L_1, L_2 为透镜,采用微分编码方法,将制作的头像作为待处理物图。所用相位光栅为 $G(x)$, 光栅常数 d , 物图振幅透射率函数 $p(x, y)$ 。二者迭合后,物函数为

$$u_p = G(x)p(x, y). \quad (1)$$

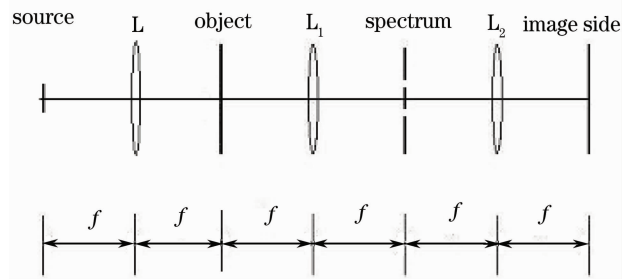


图1 实验光路图

Fig. 1 Optical setup

将其置于4F系统的物面(xy 平面),用平行单色光照射。经过透镜 L_1 傅里叶变换后,频谱面($\zeta\eta$ 平面)上光波的复振幅为

$$u_F = G'(\zeta, \eta) * p'(\zeta, \eta), \quad (2)$$

式中 $G'(\zeta, \eta) = \iint G(x) \exp[-i \frac{2\pi}{\lambda f} (x\zeta + y\eta)] dx dy = \sum a_n \delta(\zeta - \frac{n\lambda f}{d}, \eta)$ 。它是相位光栅 $G(x)$ 的傅里叶变换,其中 f 为透镜焦距。 $p'(\zeta, \eta) = \iint p(x, y) \exp[-i \frac{2\pi}{\lambda f} (x\zeta + y\eta)] dx dy$ 是物图的傅里叶变换。在频谱面上让 ± 1 级通过,通过的频谱为

$$u_{F\pm 1} = p'(\zeta, \eta) * [a_{+1} \delta(\zeta - \frac{\lambda f}{d}) + a_{-1} \delta(\zeta + \frac{\lambda f}{d})]. \quad (3)$$

由于采用相位光栅具有对称性, a_{+1} 和 a_{-1} 可认为相等。经过透镜 L_2 傅里叶变换后,像面上光波复振幅为

$$u_i = p(x', y') \cos\left(\frac{2\pi x'}{d}\right). \quad (4)$$

忽略系统引入的常数,像面($x'y'$ 平面)上记录像的强度。曝光一次,将全息干板移动 $m \frac{d}{2} + \frac{d}{4}$, 移动量中 m 的大小为整数,再曝光一次,记录的总光强为

$$I(x', y') = P_0(x', y') + \Delta P(x', y') \cos\left(\frac{4\pi x'}{d}\right). \quad (5)$$

同样忽略常系数,其中

$$P_0(x', y') = p^2\left(x' + \frac{1}{2}md + \frac{1}{4}d, y'\right) + p^2(x', y'), \quad (6)$$

$$\Delta P(x', y') = p^2\left(x' + \frac{1}{2}md + \frac{1}{4}d, y'\right) - p^2(x', y'). \quad (7)$$

ΔP 反映了物图的强度透射率函数的微分值,强度透射率函数与振幅透射率函数相似。它的微分同样起到增加识别效果的作用。将记录的图像显影定影,控制 γ 值,将变量 x', y' 改为 x, y , 光波的振幅透射率函数为

$$t(x, y) = D_0 - \gamma \left[P_0(x, y) + \Delta P(x, y) \cos\left(\frac{4\pi x}{d}\right) \right], \quad (8)$$

式中 D_0 表示全息底片的灰度,将这样处理后的底片,放入4F系统的物面,用平行单色光照射,经过透镜 L_1 傅里叶变换后,在频谱面上频谱是 $t(x, y)$ 的傅里叶变换,滤波时,用直径为 $2\lambda f/d$ 小孔,让 $+1$ 级频谱通过,通过的频谱为

$$u_{F1} = \iint \Delta P(x, y) \exp\left[-i \frac{2\pi}{\lambda f}(x\zeta + y\eta)\right] dx dy * \delta\left(\zeta - \frac{2\lambda f}{d}, \eta\right). \quad (9)$$

上式忽略了常系数,小孔大小比+1级频谱范围大,能够通过全部+1级频谱,经过透镜 L2 傅里叶变换后,图像微分结果出现在像面上,光强为

$$I' = \left(\frac{\partial P}{\partial x'}\right)^2 \left(\frac{1}{2}md + \frac{d}{4}\right)^2. \quad (10)$$

这是实现图像微分的结果^[5],它仅能用强度差别反映图像的微分,达到分辨图像边缘的目的。用一个头像作为待处理物图,将(8)式反映的图像漂白,强度透射率函数转化为相位函数,近似用 $\Delta\phi$ 表示。

$$\Delta\phi = \frac{2\pi c}{\lambda} \left[D_0 - \gamma P_0(x, y) - \gamma \Delta P(x, y) \cos\left(\frac{4\pi x}{d}\right) \right] = \phi_0 + \phi_1 \cos\left(\frac{4\pi x}{d}\right), \quad (11)$$

式中 ϕ_0 与波长以及 $P_0(x, y)$ 有关, $\phi_1(x, y)$ 则与波长以及 $\Delta P(x, y)$ 有关, C 为漂白过程中的常数。当透明片放入 4F 系统物面后,用在准直镜 L 前焦面上白光光源 s (平行 y_0 轴的发光狭缝) 照射,光源上不同发光点,可认为是点光源,初相位是随机的,与时间关系也是随机的,不同点之间的相位互不相关。光源上任一波长的光波复振幅表示为

$$u_0 = \sqrt{a(\lambda)} s(x_0, y_0) = \sqrt{a(\lambda)} \text{rect}\left(\frac{x_0}{A}\right) \text{rect}\left(\frac{y_0}{B}\right) * \delta\left(x_0 + \frac{2\lambda_0 f}{d}\right) \exp[i\varphi(x_0, y_0, \lambda)], \quad (12)$$

式中 A, B 是狭缝的宽度和长度, $a(\lambda)$ 是每一点波长为 λ 光的强度, $\varphi(x_0, y_0, \lambda)$ 是随机相位, λ_0 为光源的中心波长。这是光源的光波简单模型,任一波长的光波到达物面时的复振幅为

$$u_s = \sqrt{a(\lambda)} \iint s(x_0, y_0) \exp\left[-i \frac{2\pi}{\lambda f}(xx_0 + yy_0)\right] dx_0 dy_0. \quad (13)$$

式中准直镜焦距也为 f ,光源上每一点在物面上产生的光波是平面波,但空间频率不同。光源中心位置偏离光轴 $-2\lambda_0 f/d$,与光源中心在光轴上相比,目的是使光波附加一定空间频率,照射编码透明片,光波经过编码透明片后+1级衍射波基本上在光轴上,这样在透镜傅里叶变换时,+1级光波不考虑受透镜孔径限制,有更大的范围,频谱也有更大的范围。由(13)式反映的照射透明片的光强为

$$I_s = u_s u_s^* = a(\lambda) \iint dx_0 dy_0 \iint s(x_0, y_0) s^*(x'_0, y'_0) \exp\left\{-i \frac{2\pi}{\lambda f}[(x_0 - x'_0)x + (y_0 - y'_0)y]\right\} dx'_0 dy'_0, \quad (14)$$

式中光源上不同点随机相位不同,而且与时间有关。实际观察和测量的光强是一定时间的平均值,光源上不同点的光波到达物面时,累加的强度分为两项,第一项为消除随机相位后,各点光源的光波强度和,第二项为存在随机相位项的积分,它的和为 0,因此只有当 $x'_0 = x_0, y'_0 = y_0$ 时才能消除随机相位,所以光强可表示为

$$I_s = a(\lambda) \iint \left[\text{rect}\left(\frac{x_0}{A}\right) \text{rect}\left(\frac{y_0}{B}\right) * \delta\left(x_0 + \frac{2\lambda_0 f}{d}\right) \right]^2 dx_0 dy_0, \quad (15)$$

上式的积分结果为常量,光源越大,强度越大,而且物面上光强是均匀的。经过编码透明片后,光波的复振幅为

$$u_p = \sqrt{a(\lambda)} \exp(i\Delta\phi) \iint s(x_0, y_0) \exp\left[-i \frac{2\pi}{\lambda f}(xx_0 + yy_0)\right] dx_0 dy_0. \quad (16)$$

光波经过物镜 L1 傅里叶变换后,在频谱面上光波的复振幅为

$$u_F = \sqrt{a(\lambda)} s(\zeta, \eta) * \mathcal{F}[\exp(i\phi_0)] * \mathcal{F}\left\{\exp\left[i\phi_1 \cos\left(\frac{4\pi x}{d}\right)\right]\right\}, \quad (17)$$

式中卷积中第一项 $s(\zeta, \eta)$ 为狭缝光源的像,第二项 $\mathcal{F}[\exp(i\phi_0)] = \iint \exp(i\phi_0) \exp\left[-i \frac{2\pi}{\lambda f}(x\zeta + y\eta)\right] dx dy$ 是缓变函数 $\exp(i\phi_0)$ 的傅里叶变换,频谱范围较小。为求第三项的性质,利用贝塞尔函数积分公式^[10]展开 $\exp\left[i\phi_1 \cos\left(\frac{4\pi x}{d}\right)\right]$,

$$\exp\left[i\phi_1 \cos\left(\frac{4\pi x}{d}\right)\right] = \sum i^n J_n[\phi_1(x, y)] \exp\left(i \frac{4n\pi x}{d}\right), \quad (18)$$

式中 $J_n(\phi_1)$ 是 n 阶贝塞尔函数,实际上决定漂白图各级衍射光的衍射效率。将上式傅里叶变换为

$$\mathcal{F}\left\{\exp\left[i\phi_1 \cos\left(\frac{4\pi x}{d}\right)\right]\right\} = \sum i^n \iint J_n[\phi_1(x, y)] \exp\left[-i \frac{2\pi}{\lambda f}(x\zeta + y\eta)\right] dx dy * \delta\left(\zeta - \frac{2n\lambda f}{d}\right). \quad (19)$$

将(17)式决定的频谱滤波,在兼顾光源大小和频谱范围的基础上,用一小孔让+1级频谱通过,+1级频谱为

$$u_{F+1} = i \sqrt{a(\lambda)} \left\{ \text{rect}\left(\frac{\zeta}{A}\right) \text{rect}\left(\frac{\eta}{B}\right) \exp[i\varphi(\zeta, \eta, \lambda)] \right\} * \delta\left[\zeta - \frac{2(\lambda - \lambda_0)f}{d}, \eta\right] * F[\exp(i\phi_0)] * \iint J_1[\phi_1(x, y)] \exp\left[-i \frac{2\pi}{\lambda f}(x\zeta + y\eta)\right] dx dy. \quad (20)$$

由(20)式, A 越小,不同波长编码透明片的频谱重叠越小,故采用狭缝光源。另外 d 越小,不同波长+1级频谱分得越开。编码透明片含有的条纹大约为 100 l/mm,在频谱面上,不同波长的+1级频谱位置分得开,有利于滤波时对光波波长的选取。经过焦距同为 f 的透镜 L2 傅里叶变换,由(20)式,像面上的复振幅为

$$u_i = i \sqrt{a(\lambda)} \exp(i\phi_0) J_1(\phi_1) \exp\left(i \frac{4\pi x'}{d}\right) \iint s(\zeta, \eta) \exp\left[-i \frac{2\pi}{\lambda f}(x'\zeta + y'\eta)\right] d\zeta d\eta. \quad (21)$$

ϕ_0 仅对像面上复振幅的相位有影响,与像面上复振幅绝对值的大小无关。将 $\iint s(\zeta, \eta) \exp\left[i \frac{2\pi}{\lambda f}(x'\zeta + y'\eta)\right] d\zeta d\eta$ 与(13)式对比,当与它的复共轭相乘求强度时,像面上每一点值基本相同,忽略常数近似认为 1。由(21)式像的强度为

$$I'_i = a(\lambda) J_1^2[\phi_1(x', y')]. \quad (22)$$

由(22)式可知,像面上一点强度是 ϕ_1 的贝塞尔函数的平方,像的强度既决定于图像的微分值 ΔP ,但不成线性关系,又决定于波长。另外像的强度还与白光光源的光谱以及滤波方式有关。改变滤波孔的大小和位置,能够改变参与信息处理的光谱,起到改变微分图颜色的作用。适当位置和大小可以使图像颜色更丰富。设滤波后功率谱为 $A(\lambda)$,像的强度应是各种波长的光强之和。利用(22)式像强度为

$$I'' = \int A(\lambda) J_1^2[\phi_1(x', y')] d\lambda. \quad (23)$$

可见处理后的图像不但能增强边缘部分的强度,还能将图像强度的差别用颜色表示出来。更加便于于图像的观察和分析。

3 实验结果

图 2(a)是同时实现微分图假彩色的待处理头像。将待处理图像微分编码。编码过程中,采用的相位光栅为 50 l/mm,光栅常数较小,不同波长+1级频谱分得开。在像面上通过改变移动量中 m 的大小,能够改变微分量。当微分量增大,图像分辨率减小,但编码图片调制度变大,进而影响处理后结果图的强度和色彩变化。因而要根据待处理图像的灰度变化情况及对细节的要求适当选取。然后将编码图漂白。再将漂白片放入 4F 系统中滤波,这时 4F

系统的光源为 25 W 的白炽灯,适当调整光源后狭缝位置和大小,能够消除滤波时不同级次的重叠,频谱面上适当放置滤波孔,可在像面上得到假彩色微分图,所得图像的强度决定于待处理图像微分值 ΔP 和滤波后功率谱,微分值 ΔP 越大,假彩色微分图的强度越大。同时不同微分值 ΔP 又能用颜色反映出来,所得彩色图像不输于通常的假彩色图,使得待处理图像强度差别更利于判读。这正是实际观察和分析图像所需要的。图 2(b)是滤波后假彩色微分像,用普通的 CCD 摄像头拍摄的结果,可见边缘一方面亮度增强,另一方面与图像主体有不同的颜色,增加了图像强度差别的信息量。图 2(c)是调整滤波孔的大小和位置的结果,相当于改变了系统的功率谱 $A(\lambda)$ 。两幅图像有不同的色彩变化,用 CCD 记录时颜色有部分失真,与 CCD 的质量有关。研究发现漂白后的相位片还有体全息效应,对颜色有些影响。



图 2 图像处理结果。(a)物图;(b)结果图 1;(c)结果图 2
Fig. 2 Image processing results. (a) object picture;
(b) result picture 1; (c) result picture 2

4 结 论

本文提出一种新的光学处理方法分析待处理图像,结合了光学微分和图像假彩色的优点,并且实用简单。

参 考 文 献

- 1 Yang Qingguo, Liu Liren, Lang Haitao. Range estimation by optical differentiation[J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(9): 1186~1190
阳庆国,刘立人,朗海涛. 图像深度估计的光学微分方法[J]. *光学学报*, 2005, **25**(9): 1186~1190
- 2 M. A. U. Khan, R. B. Khan, S. Bilal *et al.*. Enhancement of angiogram images using pseudo color processing[J]. *Inform. Technol. J.*, 2008, **7**(1): 210~214
- 3 Steven K. Case. Fourier processing in the object plane[J]. *Opt. Lett.*, 1979, **4**(9): 286~288
- 4 Su Junhong, Ge Aiming. Enhanced optical image edge with laser speckle out-of-focus method [J]. *Optical Instruments*, 2001, **25**(9): 10~13
苏俊宏,葛爱明. 实现光学图像边缘增强的激光散斑离焦法[J]. *光学仪器*, 2001, **25**(9): 10~13
- 5 Xuhaohan. Image differentiation by grating encoding[J]. *Physics Experimentation*, 2008, **28**(10): 26~27
许浩瀚. 光栅编码图像微分[J]. *物理实验*, 2008, **28**(10): 26~27
- 6 Chen Guanying, Li Shuzhong. Analysis of image forming mechanism for a novel stereo pseudo color microscope[J]. *Acta Physica Sinica*, 1999, **48**(1): 23~30
陈冠英,历树忠. 一种新的体视假彩色显微镜成像机理分析[J]. *物理学报*, 1999, **48**(1): 23~30
- 7 Wang yutai, Yang Xianghai, Liu Feing *et al.*. Spectrum analysis and implementation of spatial pseudo color encoding[J]. *Acta Instrumenta*, 2004, **25**(4): 101~102
王玉泰,杨星海,刘峰等. 空间假彩色编码的频谱分析及实现[J]. *仪器仪表学报*, 2004, **25**(4): 101~102
- 8 Wang Le, Fang Zhiling, Fen Dekui *et al.*. Study on multispectral photography with θ multichannel modulator [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(7): 897~900
王乐,方志良,冯德魁等. 采用多波段 θ 调制器作多光谱照像技术的研究[J]. *光学学报*, 2005, **25**(7): 897~900
- 9 Zeng Yangsu, Zhang Yixiao, Gao Fuhua *et al.*. Pseudo color coding fractional fourier transform rainbow hologram[J]. *Chinese J. Laser.*, 2001, **28**(6): 559~561
曾阳素,张怡霄,高福华等. 假彩色编码分数傅里叶变换彩虹全息图[J]. *中国激光*, 2001, **28**(6): 559~561
- 10 Su Xianyu, Li Jitao. *Information Optics* [M]. Beijing: Science Press, 2003
苏显渝,李继陶编著. *信息光学* [M]. 北京: 科学出版社, 2003