

用多色菲涅耳全息滤波器作 彩色图像特征识别

母国光 王肇圻 陈冬青
(南开大学现代光学研究所)

提 要

本文在用多色匹配滤波器(MSF)作彩色图像相关检测和用菲涅耳全息滤波器(FHF)作无透镜强度相关的基础上,提出一种把两者结合起来的技术,即用多色菲涅耳全息滤波器实现彩色图像的相关检测。
关键词: 多波长菲涅耳全息滤波器。

一、引 言

由于多数可见物是彩色的,因而彩色图像的特征识别十分有意义。Shi^[1]首先报道了用体全息术制作匹配滤波器来实现彩色图像相关检测。其后 Case^[2]和 Ishū^[3]分别报道了用于彩色相关的透射型和反射型多色滤波器的制作。1983年 F. T. S. Yu^[4]又报道了一种在光学相关系统中使用衍射光栅和三个原色激光光源的改进方法。由于光栅的衍射,使得不同颜色的频谱得以分离,从而使他的系统具有高衍射效率和无彩色交迭等优点。然而,至今所报道的彩色相关术,都存在空间滤波器需精确定位和相关系统需激光光源的弱点。最近作者报道了用菲涅耳全息滤波器(FHF)作光学相关的技术^[5]。理论分析和实验演出证明,该技术可用白光光源以及滤波器无须严格定位。本文在上述工作的基础上,提出在菲涅耳全息滤波器系统中实现彩色图像相关检测的技术。它除有菲涅耳全息滤波器系统的滤波器复位要求低和可用白光光源外,由于三原色子全息图的分离,还可避免不同彩色间的交叉调制。

二、多色菲涅耳全息滤波器的制备

用于彩色图像特征识别的多色菲涅耳全息滤波器制备系统如图1所示。 P_1 为特征物所在平面,它被倾角为 $\alpha_r, \alpha_g, \alpha_b$ 的三原色平面波照明。 P_2 为全息记录平面,在 P_2 面上物光束和会聚于同一点的三原色参考光束发生干涉。 P_3 为参考光会聚点 B 所在平面。为简化分析,设 P_1, P_2 间, P_2, P_3 间的距离均为 d 。全息图是由对三原色的相继曝光记录而成。调节倾角 $\alpha_r, \alpha_g, \alpha_b$,可使各单色子全息图之间没有交迭。设彩色特征物为 $f_1(x, y)$,它可表示成

$$f_1(x, y) = f_{1r}(x, y) + f_{1g}(x, y) + f_{1b}(x, y)。 \quad (1)$$

首先考虑红光全息记录的情形。特征物在 P_2 面上产生的复光场可由菲涅耳衍射积分求得

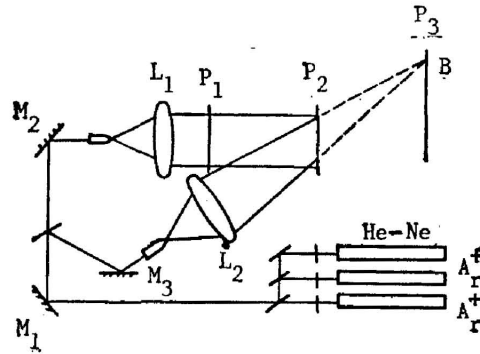


Fig. 1 The scheme of recording multi-wavelength Fresnel holographic filter (FHF)

$$O_r(u, v) = C_1 \iint_{-\infty}^{+\infty} f_{1r}(x, y) \exp(i k_r y \sin \alpha_r) \exp\left\{-\frac{i k_r}{2d} [(u-x)^2 + (v-y)^2]\right\} dx dy, \quad (2)$$

式中 C_1 为复常数。会聚参考光波可表示为

$$R_r(u, v) = C_2 \exp\left\{-\frac{i k_r}{2d} [(u-d \sin \theta)^2 + v^2]\right\}, \quad (3)$$

式中 C_2 为复常数, θ 为入射参考光的倾角。所制得的子全息图将有三项衍射, 其中对相关检测起作用的一项为

$$\begin{aligned} T_r(u, v) &= O_r^*(u, v) R_r(u, v) \\ &= C_r \exp\left\{-\frac{i k_r}{2d} [(u-d \sin \theta)^2 + v^2]\right\} \iint_{-\infty}^{+\infty} f_{1r}^*(x, y) \exp(-i k_r y \sin \alpha_r) \\ &\quad \cdot \exp\left\{-\frac{i k_r}{2d} [(u-x)^2 + (v-y)^2]\right\} dx dy, \end{aligned} \quad (4)$$

式中 C_r 为复常量。同理, 对于用绿光、蓝光制备的子全息图, 相应的复振幅透过率分别为

$$\begin{aligned} T_g(u, v) &= C_g \exp\left\{-\frac{i k_g}{2d} [(u-d \sin \theta)^2 + v^2]\right\} \iint_{-\infty}^{+\infty} f_{1g}^*(x, y) \exp(-i k_g y \sin \alpha_g) \\ &\quad \cdot \exp\left\{-\frac{i k_g}{2d} [(u-x)^2 + (v-y)^2]\right\} dx dy, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} T_b(u, v) &= C_b \exp\left\{-\frac{i k_b}{2d} [(u-d \sin \theta)^2 + v^2]\right\} \iint_{-\infty}^{+\infty} f_{1b}^*(x, y) \exp(-i k_b y \sin \alpha_b) \\ &\quad \cdot \exp\left\{-\frac{i k_b}{2d} [(u-x)^2 + (v-y)^2]\right\} dx dy, \end{aligned} \quad (6)$$

而多色菲涅耳全息滤波器就是上述三个子全息图的和

$$T(u, v) = T_r(u, v) + T_g(u, v) + T_b(u, v). \quad (7)$$

三、用多色菲涅耳全息滤波器作彩色相关

用多色菲涅耳全息滤波器作彩色相关的光学系统如图 2 所示。待识别信号 $f_2(x, y)$ 置于输入平面 P_1 上, 在它的前面放一横向运动的毛玻璃并用三原色激光照明。多色空间滤波

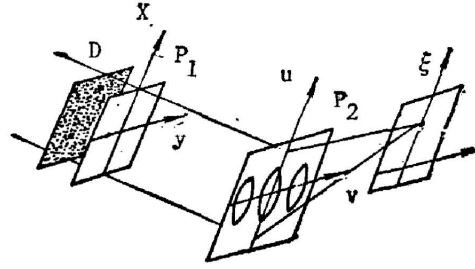


Fig. 2 The configuration of color-images correlation with multi-wavelength FHF

器置于 P_2 平面上, 在每一子全息图前分别加一相应的滤色片以避免彩色交叉调制。和红光子全息图相应的脉冲响应函数 $H_r(x, y; \xi, \eta)$ 可由菲涅耳衍射积分求得

$$\begin{aligned} H_r(x, y; \xi, \eta) &= C_r \iint_{-\infty}^{+\infty} \exp \left\{ -\frac{i k_r}{2d} [(u-x)^2 + (v-y)^2] \right\} T_r(u, v) \\ &\quad \cdot \exp \left\{ -\frac{i k_r}{2d} [(\xi-u)^2 + (\eta-v)^2] \right\} du dv \\ &= C_r \exp[i\phi(x, y; \xi, \eta)] f_{1r}^*(x+\xi-d\sin\theta, y+\eta). \end{aligned} \quad (8)$$

由于从运动毛玻璃出射的照明光是空间非相干光, 因而系统对于输入辐照度是线性的。辐照脉冲响应函数 H_{ri} 可表示为

$$H_{ri}(x, y; \xi, \eta) = |H_r(x, y; \xi, \eta)|^2 = |f_{1r}(x+\xi-d\sin\theta, y+\eta)|^2, \quad (9)$$

式中已略掉了常量因子。与绿光、蓝光子全息图相应的辐照脉冲响应函数可由类似的推导得出

$$H_{gi}(x, y; \xi, \eta) = |f_{1g}(x+\xi-d\sin\theta, y+\eta)|^2, \quad (10)$$

$$H_{bi}(x, y; \xi, \eta) = |f_{1b}(x+\xi-d\sin\theta, y+\eta)|^2. \quad (11)$$

综合(9)、(10)、(11)式, 可给出该光学系统的辐照脉冲响应函数

$$\begin{aligned} H_i(x, y; \xi, \eta) &= |f_{1r}(x+\xi-d\sin\theta, y+\eta)|^2 + |f_{1g}(x+\xi-d\sin\theta, y+\eta)|^2 \\ &\quad + |f_{1b}(x+\xi-d\sin\theta, y+\eta)|^2 \\ &= I_1(x+\xi-d\sin\theta, y+\eta). \end{aligned} \quad (12)$$

根据线性系统理论, 对于强度透过率为 $I_2(x, y) = |f_{2r}(x, y)|^2 + |f_{2g}(x, y)|^2 + |f_{2b}(x, y)|^2$ 的待识别彩色输入信号, 在 P_3 平面上的输出可表示为

$$I(\xi, \eta) = \iint_{-\infty}^{+\infty} I_2(x, y) I_1(x+\xi-d\sin\theta, y+\eta) dx dy. \quad (13)$$

此即为输入信号和特征信号的强度互相关函数。如果 $I_1 = I_2$, 可在 P_3 平面坐标为 $(d\sin\theta, 0)$ 的位置上得到自相关峰。值得注意的是, 这里的待识别信号和特征信号都是彩色信号。

四、讨 论

1. 用单一波长的激光记录多色菲涅耳全息滤波器的技术

由于一般国产全息干板仅对某一种波长的激光感光, 因而不能用来制作三原色子全息

图。有一个解决这个问题的办法,即波长变化相关术。可用波长为 6328 \AA 的 He-Ne 激光器作为光源,记录绿色或蓝色子全息图,而作相关运算时用绿或蓝光光源。首先把彩色透明片在分别加绿、蓝滤色片条件下翻制成适于作绿、蓝子全息图的黑白特征片。制备子全息图时,调整图 1 中三个平面间的距离 d ,使之满足波长变化相关的要求。假定在记录绿色子全息图时平面间的距离为 d' ,所用激光波长为 6328 \AA ;做相关运算时用波长为 5145 \AA 的激光。此时系统的脉冲响应函数应改写为

$$H_g(x, y; \xi, \eta) = \iiint_{-\infty}^{+\infty} \exp \left\{ -\frac{i k_r}{2d'} [(u-d' \sin \theta')^2 + v^2] \right\} f_{1g}^*(x', y') \exp(-i k_r y' \sin \alpha_g) \\ \cdot \exp \left\{ \frac{-i k_r}{2d'} [(u-x')^2 + (v-y')^2] \right\} \exp \left\{ \frac{i k_g}{2d} [(u-x)^2 + (v-y)^2] \right\} \\ \cdot \exp \left\{ \frac{i k_g}{2d} [(\xi-u)^2 + (\eta-v)^2] \right\} dx' dy' du dv. \quad (14)$$

为实现尺度变化相关并保证相关峰位置在 P_3 面坐标为 $(d \sin \theta, 0)$ 处,应满足条件

$$d' = (\lambda_g d / \lambda_r), \quad d' \sin \theta' = d \sin \theta. \quad (15)$$

此时绿色子全息图的辐照脉冲响应函数可以证明为

$$H_{g1}(x, y; \xi, \eta) = |f_{1g}(x+\xi-p \sin \theta, y+\eta)|^2. \quad (16)$$

(16) 式和 (10) 式完全一致的结果。

2. 用白光扩展光源作彩色相关

用多色菲涅耳全息滤波器作光学相关是基于空间非相干光和时间相干光的光学处理,因而用空间扩展光源代替激光光源不仅是可行的,并且可省掉驱动毛玻璃的扫描机构。由于白光光源轻便小型的特点和多光谱特性,使之特别适合于彩色图像的光学相关。这里的主要问题是制备三原色的窄带滤色片,做光学相关时把它们放置在三个子全息图的前面作彩色滤波。由于任何滤色片都有一个光谱带宽范围 $\Delta\lambda$,这将引起相关峰的色散。色散长度 Δl 为^[6]

$$\Delta l = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} d \sin \theta. \quad (17)$$

对于 $\Delta l = 0.2 \text{ mm}$, $d \sin \theta = 40 \text{ mm}$, $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ 红色子全息图的情况,对光谱带宽的要求为 $\Delta\lambda = 31 \text{ \AA}$ 。这样的窄带滤色片是容易制得的。

五、实验演示和结论

多色滤波器的制备是以红、绿两张原色透明片为特征物,用 He-Ne 激光器和 Ar 激光器作为光源,用柯达-649F 全息干板为记录介质在图 1 的光路中经两次曝光制得。选择不同的 α_r, α_g ,使两个子全息图记录在干板的不同区域。二特征物如图 3(a) 和图 3(b) 所示。待识别的输入信号如图 4 所示。按第三节所描述的作彩色相关的步骤,得到如图 5 所示的相关输出。图 5 中红色和绿色的亮点分别表示输入信号和多色特征信号的自相关。由于子全息图记录在干板的不同区域,因而这种相关术无彩色交叉调制问题。

我们已给出了用多色菲涅耳全息滤波器作彩色图像特征识别的理论推算和实验演示。它的引人注目之处是,可用单一波长的激光制备多色滤波器;可用白光光源做光学相关;特

Fig. 3 The color characteristic objects.

(a) the red object; (b) the green object.

Fig. 4 The input object to be detected in optical correlator.

Fig. 5 The results of color-images correlation with multiwavelength FHF.

[图 3~5, 请见本期彩色插页]

[Fig. 3~Fig. 5, Please see colour plate]

征识别系统无透镜; 空间滤波器的定位要求低。此外, 多色菲涅耳全息滤波器还可用于基于假彩色编码的多通道相关检测术中, 关于这方面的工作将另文报道。

参 考 文 献

- [1] H. K. Shi; *Opt. Lett.*, 1978, **3**, No. 1 (Jan), 85~87.
- [2] S. K. Case; *Appl. Opt.*, 1979, **18**, No. 12 (Jun), 1890~1894.
- [3] Y. Ishii *et al.*; *Opt. Lett.*, 1982, **7**, No. 5 (May), 230~232.
- [4] F. T. S. Yu *et al.*; *Appl. Phys.*, 1983, **B32**, No. 1 (Sep), 1~6.
- [5] Mu Guoguang *et al.*; *Optik*, 1987, **75**, No. 3 (Feb), 97~100.

Color pattern recognition with multi-wavelength FHF

MU GUOGUNG, WANG ZHAOQI, CHEN DONGQING
(Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin)

(Received 15 July 1987; revised 11 November 1987)

Abstract

Various kinds of color-image correlation detection with polychromatic matched spatical filter (MSF) have been investigated. A new type of lensless intensity correlation with Fresnel holographic filter (FHF) has been presented. A combined technique is proposed in this paper by which the color pattern recognition can be achieved with multi-wavelength FHF.

Key words: multi-wavelength Fresnel holographic filter.