

一种新型全息编码相关滤波器

王许明 王肇圻 母国光

(南开大学现代光学研究所)

摘要: 提出一种全息编码相关滤波器,它起到光强相关器的作用,具有光强相关器的一般优点。采用的无透镜系统结构简单,并降低了对滤波器复位精度的要求。

A novel holographic encoding filter for correlation

Wang Xuming, Wang Zhaoqi, Mu Guoguang

(Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin)

Abstract: A novel filter for correlation is presented which behaves as intensity correlator along with other elements and has the common advantages of intensity correlators. This lensless intensity correlation system is simple and easy to operate and decreases the requirement of resetting precision for the filter.

一、引言

二维函数的相关运算在图像的特征识别方面具有重要的作用。应用匹配滤波的 optical 相关器要求匹配空间滤波器 (MSF) 严格恢复到记录时的位置,垂直光轴的面内位移允许值只有微米量级,沿轴方向也不超过 100 μm ^[1]。这些限制给实际操作带来不便,特别不利于光电混杂实时处理系统的应用。

Lohmann^[2]对 4-f 光学处理器中的处理过程进行改进,实现了对图像光强透过率的线性处理,从而降低对滤波器位置校准精度等方面的要求。本文提出利用无透镜系统完成二维图像的光强相关运算。这样的系统

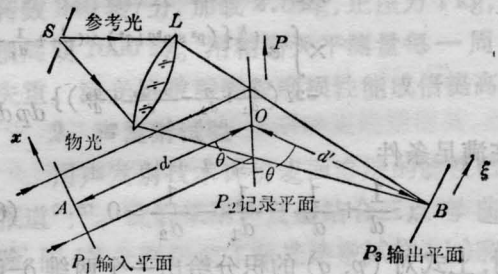


图1 制备滤波器的光路

只包含一个全息滤波器和输入、输出平面,简化了相关处理系统。全息滤波器在原记录面内的平移完全不影响相关结果,离面移动可允许数毫米,同时具有一般光强相关器^[2,3]的其它优点。

收稿日期:1986年1月9日;修改稿收到日期:1986年9月30日。

二、原 理

相关滤波器的光路如图 1 所示。设 P_1 、 P_2 、 P_3 面上的坐标分别为 (x, y) 、 (p, q) 、 (ξ, η) ，其坐标原点分别在 A 、 O 、 B 。则在菲涅耳衍射近似下，参考光在 P_2 面上的分布可表示为

$$R(p, q) = K_1 e^{-ik \left\{ d' + p \cos \theta + \frac{1}{2d'} [(p \sin \theta)^2 + q^2] \right\}} \quad (1)$$

k 为所用单色光波的波矢， d' 为 OB 间距。同样 P_2 面上的物波衍射场为

$$O(p, q) = K_2 \int W(x, y) f(x, y) e^{ik \left\{ d + p \cos \theta + \frac{1}{2d} [(x - p \sin \theta)^2 + (y - q)^2] \right\}} dx dy \quad (2)$$

式中 $f(x, y)$ 为特征物(参照物片)的振幅透过率， $W(x, y) = W_0 e^{i\omega(x, y)}$ 为照明光的光场分布，其强度均匀而有任意位相分布， d 为 AO 间距。

$$E(\xi, \eta) = K_5 \int D(x_1, y_1) f'(x_1, y_1) dx_1 dy_1 \times \int W^*(x, y) f^*(x, y) dx dy \times e^{i \frac{k}{2} \left\{ \frac{(x_1 + y_1)^2}{d_1} + \frac{(\xi^2 + \eta^2)}{d_2} - [(x - p_0 \sin \theta)^2 + (y - q_0)^2] / d \right\}} \times \int e^{i \frac{k}{2} \left\{ (p^2 \sin^2 \theta + q^2) \times \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} - \frac{1}{d} - \frac{1}{d'} \right) - 2 p \sin \theta \left(\frac{x_1 + \xi}{d_1} + \frac{\xi}{d_2} - \frac{x - p_0 \sin \theta}{d} + \frac{p_0 \sin \theta}{d'} \right) - 2 q \left(\frac{y_1 + \eta}{d_1} + \frac{\eta}{d_2} - \frac{y - q_0}{d} + \frac{q_0}{d'} \right) \right\}} dp dq \quad (5)$$

在满足条件

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} - \frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} = 0 \quad (6)$$

时，上式对 (p, q) 的积分给出一个二维 δ -函数；再对 (x, y) 积分，并且不失一般性取 $d = d'$ ，最后得

$$E(\xi, \eta) = K_6 \int D(x_1, y_1) f'(x_1, y_1) \times f^* \left[\frac{d}{d_1} x_1 + \frac{d}{d_2} \xi + 2p_0 \sin \theta, \frac{d}{d_1} y_1 + \frac{d}{d_2} \eta + 2q_0 \right] e^{i\varphi(x_1, y_1, \xi, \eta)} dx_1 dy_1 \quad (7)$$

P_2 面上记录了特征物的菲涅耳全息图，其振幅透过率中被利用的那一项为

$$R(p, q) O^*(p, q) = K_3 e^{-ik \left\{ p \cos \theta + \frac{1}{2d'} [(p \sin \theta)^2 + q^2] \right\}} \times \int W^*(x, y) f^*(x, y) e^{-ik \left\{ p \cos \theta + \frac{1}{2d} [(x - p \sin \theta)^2 + (y - q)^2] \right\}} dx dy \quad (3)$$

做相关检测时，把物片 $f'(x_1, y_1)$ 放在输入平面上，并在它前面加密接触漫散屏 $D(x_1, y_1)$ 。假设滤波器在 P_2 面上不严格复位到记录位置，由 d 变为 d_1 ，及面内位移 $(-p_0, -q_0)$ 。于是，物波在 P_2 面上的衍射场滤波后可表示为

$$O(p, q) = K_4 R(p + p_0, q + q_0) O^*(p + p_0, q + q_0) \times \int D(x_1, y_1) f'(x_1, y_1) e^{ik \left\{ p \cos \theta + \frac{1}{2d_1} [(x_1 - p \sin \theta)^2 + (y_1 - q)^2] \right\}} dx_1 dy_1 \quad (4)$$

处在 (d_2, θ) 方位的 P_3 输出面上的光场分布为

式中 $\varphi(x_1, y_1, \xi, \eta)$ 表示其它位相因子。为了消除位相因子带来的麻烦，令漫散屏沿 x_1 方向运动，即物片的照明光场为

$$D(x_1, y_1) = D_0 e^{i\varphi(x_1 - vt, y_1)} \quad (8)$$

计及其统计性质可得

$$\langle e^{i\varphi(x_1 - vt, y_1) - i\varphi(x_1' - vt, y_1')} \rangle = K_7 \delta(x_1 - x_1', y_1 - y_1') \quad (9)$$

式中符号“ $\langle \rangle$ ”表示时间平均，则输出面上的光强分布为

$$I(\xi, \eta) = K_8 \int T'(x_1, y_1) T \left(\frac{d}{d_1} x_1 + \frac{d}{d_2} \xi + 2p_0 \sin \theta, \frac{d}{d_1} y_1 + \frac{d}{d_2} \eta + 2q_0 \right) dx_1 dy_1$$

$$+ \frac{d}{d_2} (\eta + 2q_0) dx_1 dy_1 \quad (10)$$

这里 $T''(x, y) = |f'(x, y)|^2$, $T(x, y) = |f(x, y)|^2$ 分别表示输入物片与特征物片的光强透过率。在滤波器完全复位时, 即 $d_1 = d_2 = d$, $p_0 = q_0 = 0$ 时, 得

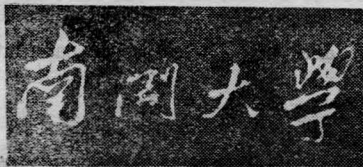
$$I(\xi, \eta) = K_s \cdot \int T''(x, y) T(x + \xi, y + \eta) dx dy \quad (11)$$

即为输入片与特征片光强透过率的互相关。

三、实验和结果

实验光路如图 1 示, 用 50~70 mW 的 He-Ne 激光作单色光源, 物光束与参考光束的夹角约为 30° , d 实取 50 cm。

特征物片与输入物片均为 $3.5 \times 24 \text{ mm}^2$ 透明片, 输入物片分别是汉字“南开大学”和英文字母“ApO”(如图 2 示), 特征物片取自其中的“开”字和“p”字母。相关结果示于图 3。实验中, 滤波器用全息 I 型干板记录, 经普通全息处理制得, 全息滤波器随意放回 P_2 面上光照均匀的范围。字母“p”制得的滤波器基本放回原位, 但没做精细调整。汉字相关实验中滤波器到原记录位置有超过一厘



(a)

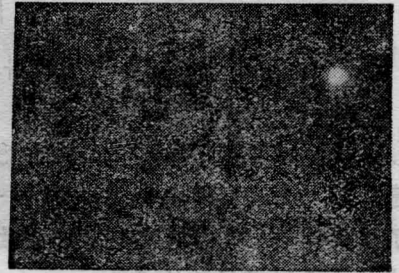


(b)

图 2 两个被检测的物片



(a)



(b)

图 3 相关结果

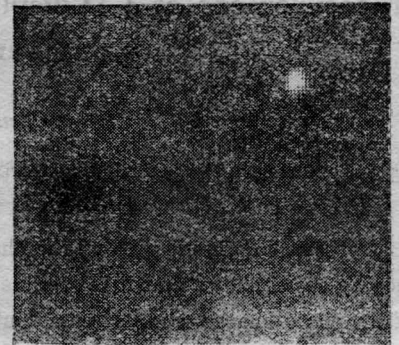


图 4 英文字母“ApO”与“p”相关的计算机模拟结果

米的面内偏差。结果表明面内位移确实不影响相关结果。另外全息滤波器的 $|d_1 - d|$ 亦有 2.5 mm 左右的允许值, 说明该方法对实验操作精度要求并不高。

对实验中的英文字母相关, 我们实际用计算机模拟出了其相关图(图 4 所示)。实验结果与之相符。

参 考 文 献

- [1] A. Vander Lugt; *Appl. Opt.*, 1967, **6**, 1221.
- [2] A. W. Lohmann; *Appl. Opt.*, 1968, **7**, 561.
- [3] O. I. Potaturkin et al.; *J. Optics*, 1980, **11**, 805.