

全息滤波光学图像相减

许浩瀚

(苏州铁道师范学院物理系)

黄洪欣

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

基于傅里叶光学二次滤波技术,本文提出了一种新的光学图像相减方法,即全息滤波光学图像相减法,该方法需用图像的逆转和匹配两种滤波器和一个 $8f$ 光学系统,实验表明,作为一种新的图像相减方法,避免了以往实时法对光程的精细控制,因而降低了对辅助设备和环境的要求。

关键词: 全息匹配滤波器; 逆转匹配滤波器; 光学图像相减。

一、引 言

用图像相减技术判别两幅图像的差异,在地球资源研究,自动跟踪,图像传输,产品检验等领域中有着广泛的应用^[1],已经发展了许多实现图像相减的技术^[2,3]。这些方法可分为实时、非实时两大类。非实时法的方学系统要求低,处理面积大,但由于经过图像的编码过程,费时较长,不够灵活。实时法主要是基于波动光学的衍射、干涉,使两束光波之间有 $\lambda/2$ 的光程差,所得干涉图即为相减的结果,为了达到10%的精度,光程误差必须小于 $\lambda/20$ ^[4],因而对系统要求较为苛刻。

为了在实时法中对误差范围有所改进,本文建立了全息滤波图像相减法。

二、原 理

全息滤波具有振幅、相位同时滤波的功能,当滤波函数恰好是物函数的傅里叶频谱的共轭时,在输出像面上可得到相关亮点,据此,建立如图1所示的 $8f$ 相干光学系统。

设两相减图像 A 和 B 的振幅透过率为 g_A 和 g_B ,制作两片滤波器

$$H_1(\xi, \eta) = C_1/G_A(\xi, \eta), \quad (1)$$

$$H_2(\xi, \eta) = C_2/G_A(\xi, \eta)。 \quad (2)$$

其中, $G_A(\xi, \eta)$ 是图像 A 的傅里叶频谱, C_1 、 C_2 是制作滤波器时引入的常数因子。 H_1 与 G_A 成反比,故称逆转滤波器。 H_2 的制作方法通常制作匹配滤波器的方法相同,故称匹配滤波器。

物面上输入 g_B 图像,令 $g_B = g_A + \Delta g$,用平行光照射后,在 (ξ_1, η_1) 平面上的复振幅为:

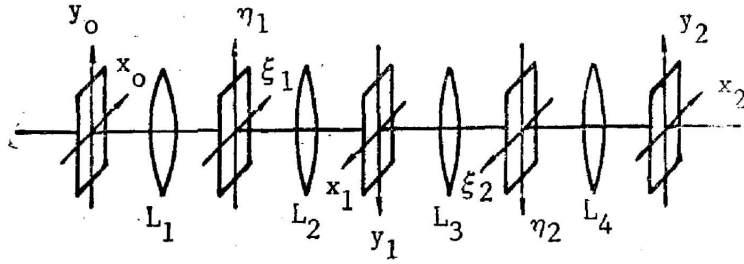


Fig. 1 The configuration for explaining the principle

$$u_1(\xi_1, \eta_1) = F\{g_B\} \cdot H_1(\xi_1, \eta_1) = O_1 + [O_1 \Delta G(\xi_1, \eta_1) / G_A(\xi_1, \eta_1)]. \quad (3)$$

即经 H_1 滤波, 两图像相同部分成为近似平行光, 差异部分成为复杂光波。在第一像面上复振幅分布为:

$$u_2(x_1, y_1) = F\{u_1(\xi_1, \eta_1)\} = O_1 \delta(x_1, y_1) + O_1 g'(x_1, y_1). \quad (4)$$

其中, $g'(x_1, y_1)$ 表示模糊光斑, 它是与 ΔG , G_A 及系统传输有关的, 它分布于整个第一像面内, 而图像的不同部分, 这时表现为一个 δ 函数, 用一小黑屏挡去这个亮点, 让其余的光通过。小黑屏面积与亮点大小相当, 对(4)式中第二项影响不大, 得第二频谱面内的复振幅为:

$$u_3(\xi_2, \eta_2) = O_1 \cdot H_2(\xi_2, \eta_2) \Delta G(\xi_2, \eta_2) / G_A(\xi_2, \eta_2) = O_1 O_2 \Delta G(\xi_2, \eta_2). \quad (5)$$

经 L_4 变换, 在观察面上得到:

$$u_4(x_2, y_2) = O_1 O_2 \Delta g_2(x_2, y_2). \quad (6)$$

这恰好是图像相减的结果。

三、讨 论

1. 对输入函数定位误差的不敏感性

设待检测图像 g_B 的定位误差 $\Delta x e_x + \Delta y e_y + \Delta z e_z$, 原物面上的函数表达式为:

$$g'_B = g_B \otimes \delta(x - \Delta x, y - \Delta y) \otimes \exp[j\pi(x^2 + y^2) / \lambda \Delta z]. \quad (7)$$

上式中, 最后一个卷积是离焦图的非涅尔近似, 经过透镜 L_4 变换, 第一频谱面内的复振幅分布为:

$$u'_B(\xi, \eta) = O_1 [1 + (\Delta G / G_A)] \exp[j2\pi(x \Delta \xi + \Delta y \eta) / \lambda f] \exp[j\pi \Delta z (\xi^2 + \eta^2) / \lambda f^2]. \quad (8)$$

上式可见, 图像在 x, y, z 方向定位误差对滤波没有影响。根据几何近似, Δz 很小时, 第一频谱面内的乘积形式不变, 同样不影响滤波。采用与原理部分类似推导, 在第二像面内得到

$$u'_2(x_2, y_2) = O_1 O_2 \Delta g(x_2, y_2) \otimes \delta(x_2 - \Delta x, y_2 - \Delta y) \otimes \exp\{j\pi(x_2^2 + y_2^2) / \lambda \Delta z\}. \quad (9)$$

可见, 当图像 g_B 存在定位误差时, 相当于观察面也有定位误差, 可通过移动观察面, 得到准确的相减图。但此法仍无法解决转角误差问题。

2. 相减的结果不受整体曝光量的影响

在以往的图像相减法中, 输入片的整体曝光量往往影响结果的准确性, 实际拍摄场景 g_A , 受拍摄曝光量的影响, 干板的透过率为 $O_A g_A$, 不难证明, 场景 g_A, g_B 准确的相减结果为 $(O_A - O_B) g_A + O_B \Delta g$ 。

在全息滤波图像相减法中,用 $C_A G_A$ 制作滤波器时,适当控制曝光量,仍能得出最佳的 C_1, C_2 常数。可以证明, $C_A G_A$ 和 $C_B G_B$ 相减的结果为: $C_1 C_2 C_A C_B \Delta g(x, y)$ 。 C_A, C_B 的变化范围仍受记录片的动态范围限制,但只要线性记录,整体曝光量的变化是允许的。

四、实 验

图 2(a)是仅有四个点的星点模拟图,以它作为物函数,制作二片滤波器 H_1, H_2 。制作 H_1 时^[5],先在频谱面内拍摄一片振幅吸收片,控制 $\gamma=1$,模片的复振幅透过率为 $\tau(\xi, \eta) = C/G_A(\xi, \eta)$,将其准确复位,在它后面紧贴一块全息干板,其乳胶面与模片的乳胶面相接触。物光、参考光穿过模片互相干涉,并被全息干板记录。处理干板后,即得逆转滤波器, $H_1(\xi, \eta) = C^* G_A^*/G_A \cdot G_A^*$ 。制作 H_2 时,将模片取下,增强参考光,在频谱面内即拍得 H_2 , $H_2 = C_2 G_A(\xi, \eta)$,在 $G_A(\xi, \eta)$ 变化范围比较大时, H_2 的高频部分衍射效率比较小,这是全息干板的固有物点。

图 2(b)五个点表示天空突然增加一颗星后的照片。经 H_1 滤波,在第一像面内,出现一个模糊斑,中间有一亮点,见图 2(c),用一小屏挡去亮点,再经 H_2 滤波后,在第二像面上得到相减的结果。由图 2(d)可见,其它星点都被抑制,十分醒目。

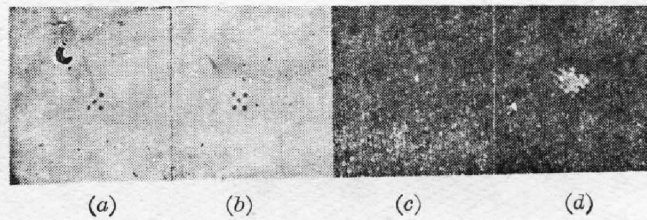


Fig. 2 The results of experiment

五、结 论

如前所述,本文的全息滤波图像相减法,作为一种新颖的方法,避免了以往干涉法作实时图像相减的一些弱点,如对光程的精细控制,及由此带来的对辅助设备和环境的要求。此法还能克服整体曝光量对结果的影响。用这种方法仍需要一定条件和时间,制作二片滤波器,但一旦系统制成后,一幅图像可与一系列类似图像作减法,因而比较适用于已知标准图像,检测未知图像的变化。例如,集成电路的检测工作。

参 考 文 献

- [1] S. T. Wu and F. T. S. Yu; *Appl. Opt.*, 1981, **20**, No. 23 (Dec), 4082~4088.
- [2] John F. Eberoolle; *Opt. Eng.*, 1975, **14**, No. 5 (Sep), 436~447.
- [3] 李庆熊;《光学学报》,1982, **2**, No. 6 (Nov), 501~508.
- [4] C. P. Grover; *J. O. S. A. A.*, 1984, **1**, No. 2 (Feb), 145~148.
- [5] Ya-Guang Jiang and You-Ren Xu; *Appl. Opt.*, 1983, **22**, No. 6 (Mar), 784~786.

Optical image subtraction with holographic filtering

XU HAOHAN

(The Physics Department of Su Zhou Railway Normal College)

HUANG HONGXIN

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 5 April 1988; revised 3 November 1988)

Abstract

On the basis of two-time filtering technique in Fourier optics, a new method for performing optical image subtraction is proposed. A matched holographic filter, a inverse holographic filter of a image and a $8f$ coherent optical information processing system are used in this scheme. Experiments show that this method is simple and feasible.

Key words: holographic matched filter; inverse matched filter; optical image subtraction.