

用干涉滤波技术实现图像相减

郑刚 顾去吾 孙逸平
(上海机械学院光仪教研室, 200093)

摘要: 本文提出了一种用干涉及滤波技术实现图像相减的简单方法。将两相减图像放在透镜的前面, 在平行光照射下, 在透镜的后焦面上得到两图像的傅氏谱的干涉, 通过适当的滤波, 可滤去图像的共同部分, 从而在输出得到它们的相减。

关键词: 干涉, 图像相减

Image subtraction based on interference and filtering

Zheng Gang, Gu Quwu, Sun Yiping
(Shanghai Institute of Mechanical Engineering)

Abstract: This paper presents a new method of complex amplitude subtraction. The lens forms the Fourier transform spectra of two transparencies, Young's interference fringes formed by the identical image of the two transparencies are filtered with slit. The differential image of the two transparencies is obtained on the output plane.

Key words: image subtraction; interference

一、引言

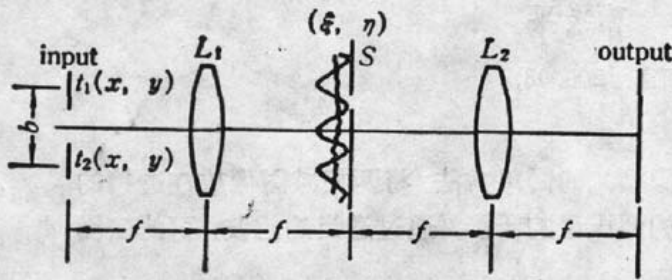
图像相减的目的是发现景物照片间的差别, 它在军事、医学及工业上有许多重要应用。实现图像相减的方法有许多, 例如光栅编码方法^[1]、全息滤波方法^[2, 3]等。前者要求对图像进行编码处理, 所用步骤多, 花费时间长。而后者则要求两光波之间有 $\lambda/2$ 的光程差, 故需要对光程作精细调整, 而且相应的相减滤波器制作麻烦。本文提出了利用干涉及滤波技术实现图像相减的一种新方法, 它具有原理简单、调整方便、装置容易实现等特点。

二、基本原理

将两相减图像并排放置在透镜 L_1 的前焦面上, 两者的中心距离为 b , 如图1所示。在单色平行光垂直照射下, 在透镜的后焦面上得到两图像的远场衍射叠加, 两图像相同部分的频谱的叠加是杨氏直线条纹^[4], 不同部分的频谱的叠加是无规分布的。在频谱面上放置一狭缝 S , 其中心位于杨氏条纹的暗纹处, 则通过狭缝的光仅是两图像不同部分的谱, 也即狭缝滤波器滤掉了两相减图像相同部分的谱而透过不同部分的谱。于是在透镜 L_2 的后焦面上得到两图像相减

的像。

一般来说,一张透明片可以表示为直接透射部分和散射部分之和,设两相减图像 A, B 的振幅透过率分别用 $a_1+t_1(x, y), a_2+t_2(x, y)$ 表示,其中 a_1, a_2 表示两图像的直透部分。在单位振幅的平行光垂直照射下,图像相减系统的输入为



$$g(x, y) = [a_1+t_1(x-\frac{b}{2}, y)] + [a_2+t_2(x+\frac{b}{2}, y)] = a_1+a_2+t_1(x, y)*\delta(x-\frac{b}{2}, y) + t_2(x, y)*\delta(x+\frac{b}{2}, y), \quad (1)$$

Fig. 1 The principle of image subtraction

令 $a_1+t_1(x, y) - a_2-t_2(x, y) = \Delta t(x, y)$, 代入上式得

$$g(x, y) = a_1+a_2 + (a_2-a_1)*\delta(x-\frac{b}{2}, y) + t_2(x, y)*\delta(x-\frac{b}{2}, y) + \Delta t(x, y)*\delta(x-\frac{b}{2}, y) + t_2(x, y)*\delta(x+\frac{b}{2}, y) = C + t_2(x, y)*[\delta(x-\frac{b}{2}, y) + \delta(x+\frac{b}{2}, y)] + \Delta t(x, y)*\delta(x-\frac{b}{2}, y), \quad (2)$$

其中 $C=2a_2$ 。于是在频谱面上的振幅分布为

$$G(\xi, \eta) = C\delta(\xi, \eta) + T_2(\xi, \eta)[\exp(-j\pi\xi b) + \exp(j\pi\xi b)] + \Delta T(\xi, \eta)\exp(-j\pi\xi b) = C\delta(\xi, \eta) + 2T_2(\xi, \eta)\cos(\pi\xi b) + \Delta T(\xi, \eta)\exp(-j\pi\xi b). \quad (3)$$

(3)式中 $G(\xi, \eta), T_2(\xi, \eta), \Delta T(\xi, \eta)$ 分别为 $g(x, y), t_2(x, y), \Delta t(x, y)$ 的傅氏变换谱。(3)式中的第一项为频谱面上的中心亮点,第二项是图像 B 的频谱,为余弦分布,第三项是图像 A, B 的不同部分的频谱,散布在中心亮斑的周围较大的面积内,因此通过狭缝 S 的滤波,在输出面(透镜 L_2 的后焦面上)得到两图像相减以后的像。

三、实验结果

由(3)式可知,杨氏条纹的宽度与 b 成反比,为了得到较粗的条纹以便于滤波,应减小两透明片的间距 b 。为此我们用图 2 所示的 Mach-Zehnder 干涉仪作为图像相减系统,通过调节透明片的横向位移,可以方便地控制条纹宽度。在一定的滤波狭缝宽度下,在系统的输出面能得到清晰的相减像。图 3 是实验照片,图 3(a)是字母 SHUAN,图 3(b)是字母 HUAN(实际

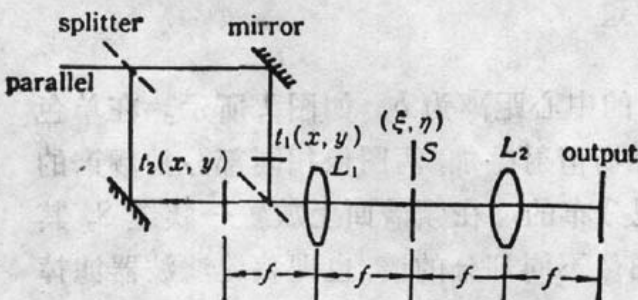


Fig. 2 The experimental system of image subtraction



Fig. 3 The experimental results of image subtraction

相减时,用它们的负片),得到的相减结果是字母 S(图 3(o))。

四、讨论与结论

本文所提方法是基于两图像的频谱干涉和狭缝滤波,因此两图像的间距和滤波狭缝宽度及两者之间的相对转动、尺寸大小、位于透镜前的距离不同等会影响干涉条纹和滤波效果,故对它们的调整应有一定的要求,下面分几点作一简单讨论。

1. 两图像之间的间距及滤波狭缝宽度的选取

设两图像之间的间距为 b ,则透镜后杨氏条纹的宽度为 $e = \frac{\lambda f}{b}$ 。因为狭缝是一个带通滤波器,严格来说,通过狭缝滤波器的仅是图像差异信息频谱 $\Delta T(\xi, \eta)$ 的一部分,狭缝太小会影响输出相减像的分辨率及亮度,太大又会增加输出像的噪声。因此应适当选取狭缝的宽度,一般可取 $\frac{e}{4}$ 。

2. 两相减图像之间有转动时的影响

设 $T_2(\xi, \eta)$ 相对于 $T_1(\xi, \eta)$ 旋转了一个小角度 α , 根据坐标旋转公式及根据二维函数的一阶 Taylor 公式展开,旋转后的谱可以写为

$$T'_2(\xi, \eta) = T_2(\xi, \eta) + \alpha\eta \frac{\partial T_2}{\partial \xi} - \alpha\xi \frac{\partial T_2}{\partial \eta} \quad (4)$$

上式中第一项是转动之前的谱,为有用项;第二、第三项为噪声项,与转角 α 及坐标 (ξ, η) 有关,随着远离中心,杨氏条纹的清晰度下降,从而影响滤波效果。

3. 两相减图像之间尺寸有微小差别时的影响

实际相减运算时,两相减图像的尺寸不可能完全一致,设 $t_2(x, y)$ 放大了 A 倍变为 $t'_2(x, y)$, 并设 $A = 1 + h$, 其中 h 是个小量,则 $t'_2(x, y) = t_2\left(\frac{x}{A}, \frac{y}{A}\right)$, 根据傅氏变换相似性定理及 Taylor 公式展开得

$$T'_2(\xi, \eta) = A^2 \left[T_2(\xi, \eta) + h\xi \frac{\partial T_2}{\partial \xi} + h\eta \frac{\partial T_2}{\partial \eta} \right] \quad (5)$$

同样第一项为原始谱,第二、第三项为噪声项,与放大系数 h 及坐标 (ξ, η) 有关,得到类似于第 1 点的结论。

4. 两透明片距离透镜位置不同对干涉条纹的影响

我们仅考虑在这种情况下两透明片相同部分产生的条纹形状,设图像 A, B 距离透镜分别为 d_1, d_2 , 并设相同部分的振幅透过率为 $t(x, y)$, 则在频谱面上的合振幅为

$$T_s(\xi, \eta) = \frac{E}{j\lambda f} \exp \left[j \frac{k}{2f} \left(1 - \frac{d_1}{f} \right) (\xi^2 + \eta^2) \right] T(\xi', \eta') \exp(-j\pi\xi'b) \\ + \frac{E}{j\lambda f} \exp \left[j \frac{k}{2f} \left(1 - \frac{d_2}{f} \right) (\xi^2 + \eta^2) \right] T(\xi', \eta') \exp(j\pi\xi'b),$$

其中

$$T(\xi', \eta') = \iint_{-\infty}^{+\infty} t(x, y) \exp[-j2\pi(x\xi' + y\eta')] dx dy,$$

$$\xi' = \frac{\xi}{\lambda f}, \quad \eta' = \frac{\eta}{\lambda f}.$$

强度分布为

$$\begin{aligned} I_s(\xi, \eta) &= C + 2 \left| \frac{E}{\lambda f} T(\xi', \eta') \right|^2 \cos \left[\frac{k}{2f} \left(1 - \frac{d_1}{f} \right) (\xi^2 + \eta^2) - \pi \xi' b \right. \\ &\quad \left. - \frac{k}{2f} \left(1 - \frac{d_2}{f} \right) (\xi^2 + \eta^2) - \pi \xi' b \right] \\ &= C + 2 \left| \frac{E}{\lambda f} T(\xi', \eta') \right|^2 \cos \left[\frac{k(d_2 - d_1)}{2f^2} (\xi^2 + \eta^2) - 2\pi \xi' b \right], \end{aligned} \quad (6)$$

因此等位相线方程为

$$\frac{k(d_2 - d_1)}{2f^2} (\xi^2 + \eta^2) - 2\pi \frac{\xi}{\lambda f} b = 2m\pi,$$

经过简化运算, 最后得到

$$\left(\xi - \frac{bf}{d_2 - d_1} \right)^2 + \eta^2 = \frac{2m\lambda f^2}{d_2 - d_1} + \frac{b^2 f^2}{(d_2 - d_1)^2}. \quad (7)$$

这是一个中心位于 $\left(\frac{bf}{d_2 - d_1}, 0 \right)$ 点的标准圆方程, 相应地杨氏条纹由直线变成了曲线, 给狭缝滤波带来困难。

从以上分析可知, 为了得到好的相减结果, 应尽量使两透明片准确对准。这在我们所示的系统中是容易做到的。本文所提方法与文献 [5] 提出的用散斑照相技术实现图像相减的方法有相似之处, 但文献 [5] 需要二次照相, 并且在第二次曝光前, 不允许目视调整输入图像, 因此需要一套精密的机械结构来保证输入图像的位置, 这是十分麻烦的。本方法不需要二次照相, 从而解决了文献 [5] 存在的在两透明片调节对准方面的困难。本方法中, 一旦干涉仪调节好, 就能快速得到相减像, 此外输出相减像的亮度也比散斑法高。因此具有更高的实用价值。

参 考 文 献

- 1 S. H. Lee, *Optical Information Processing*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, 1981, 45~50
- 2 清华大学, 信息光学基础, 机械工业出版社, 1985, 282~292
- 3 许浩瀚, 光学学报, **9** (6), 533~536 (1989)
- 4 H. Weinberger *et al.*, *Appl. Opt.*, **10** (11), 2482 (1971)
- 5 M. Francon, *Laser Speckle and Applications in Optics*, Academic Press, New York, 1979, 75~83