

光学运算

智朝晖^{*}, 王玫[†]

北京航空航天大学大学 物理学院, 北京 100191

【摘要】 光学信息处理技术是指用光学方法实现对输入信息某种运算或变换, 以达到对信息进行提取、编码、存储、增强、识别和恢复等目睹。最基本的操作是用光学方法对图像信息进行处理, 并用频谱的语言来描述信息。本文利用 4f 系统来进行光学图像加减和图像微分处理实验, 得到了图像的加减和微分图像。

【关键词】 光学信息处理, 4f 系统, 图像加减和微分, 傅里叶变换

1 引言

图像加减和微分是相干光学处理中的一种基本的光学-数学运算, 是图像识别的一种主要手段。通过相减可以求出两张相近照片的差异, 从中提取差异信息。例如: 通过在不同时期拍摄的两张照片相减, 在医学上可用来发现病灶的变化; 在军事上可以发现地面军事设施的增减; 在农业上可以预测农作物的长势; 在工业上可以检查集成电路掩膜的疵病, 等等。还可用于地球资源探测、气象变化以及城市发展研究等各个领域。图像微分可以增强图像边缘较中间明亮, 可以实现边缘增强, 勾画轮廓识别模糊图片, (例如透过云层的卫星图片或雾中摄影图片), 实现图像相减和图像微分的方法很多, 本实验利用 4f 系统的正弦光栅作为空间滤波器实现图像相减和微分。^[1]

2 原理

本实验的光路系统是一个典型的相干光学处理系统 (4f 系统), 将待处理的图像置于输入面 P_1 的原点位置, 正弦光栅的空间频率为 f_0 , 将其置于 4f 系统的滤波平面 P_2 上, 如图1所示,

光栅的复振幅透过率为:

$$\begin{aligned} H(f_x, f_y) &= \frac{1}{2} [1 + \cos(2\pi f_0 x_2 + \phi_0)] \\ &= \frac{1}{2} + \frac{1}{4} e^{i2\pi f_0 x_2 + \phi_0} + \frac{1}{4} e^{-i2\pi f_0 x_2 + \phi_0} \end{aligned}$$

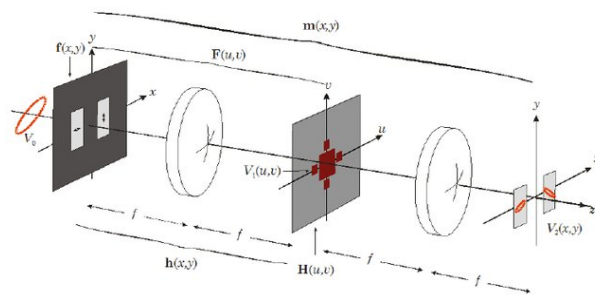


图 1 傅里叶光学 4f 系统

式中 $f_x = x_2/\lambda f$, $f_y = y_2/\lambda f$, f 为傅里叶变换透镜的焦距; ϕ_0 表示光栅条纹的初位相, 它决定了光栅相对于坐标原点的位置。将图像 A 和图像 B 置于输入平面 P_1 上, 且沿 x_1 方向相对于坐标原点对称放置, 图像中心与光轴的距离均为 b 。选择光栅的频率为 f_0 , 使得 $b = \lambda f f_0$, 以保证在滤波后两图像中 A 的 +1 级像和 B 的 -1 级像能恰好在光轴处重合。于是, 输入场分布可写成:

$$f(x_1, y_1) = f_A(x_1 - b, y_1) + f_B(x_1 + b, y_1) \quad (1)$$

在其频谱面 P_2 上的频谱为:

$$F(f_x, f_y) = F_A(f_x, f_y) e^{-i2\pi f_x b} + F_B(f_x, f_y) e^{i2\pi f_x b} \quad (2)$$

其中 $b = \lambda f f_0 x_2 = \lambda f f_x$, 因此 $f_x b = f_0 x_2$ 。上式可以写成:

$$F(f_x, f_y) = F_A(f_x, f_y) e^{-i2\pi f_0 x_2} + F_B(f_x, f_y) e^{i2\pi f_0 x_2} \quad (3)$$

实验时间: 2022-11-03

报告时间: 2022-11-03

[†] 指导教师

*学号: 20377365

*E-mail: 20377365@buaa.edu.cn

经过光栅滤波后的频谱为:

$$F(f_x, f_y) H(f_x, f_y) = \frac{1}{4} [F_A(f_x, f_y) e^{i\phi} + F_B(f_x, f_y) e^{-i\phi}] + \frac{1}{2} [F_A(f_x, f_y) e^{-i2\pi f_0 x_2} + F_B(f_x, f_y) e^{i2\pi f_0 x_2}] + \frac{1}{4} [F_A(f_x, f_y) e^{-i(4\pi f_0 x_2 + \phi)} + F_B(f_x, f_y) e^{i(4\pi f_0 x_2 + \phi)}]$$

通过透镜 L_2 进行傅立叶逆变换, 在输出平面 P_3 上的光场为:

$$g(x_3, y_3) = \frac{1}{4} e^{i\phi} [f_A(x_3, y_3) + f_B(x_3, y_3) e^{-i2\phi}] + \frac{1}{2} [f_A(x_3 - b, y_3) + f_A(x_3 + b, y_3)] + \frac{1}{4} [f_B(x_3 - 2b, y_3) e^{-i\phi} + f_B(x_3 + 2b, y_3) e^{i\phi}]$$

即可实现加减。

经适当调整位置即可在输出面 P_3 上得到微分图形。设输入图像为 $t(x, y)$, 其傅里叶变换频谱为 $T(f_x, f_y)$, 则由傅里叶变换定理有:

$$F\left[\frac{\partial t(x, y)}{\partial x}\right] = i2\pi f_x T(f_x, f_y) \quad (4)$$

式中 $f_x = x_2/\lambda f$, $f_y = y_2/\lambda f$ 如果频谱面上的滤波函数为:

$$H(f_x, f_y) = i2\pi f_x = i2\pi (x_2/\lambda f) \quad (5)$$

复合光栅采用全息的方法来制作。复合光栅包含了两种空间频率, 令其初始位置时的透过率函数为:

$$H\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}\right) = t_0 + t_1 \cos(2\pi f_0 x_2) + t_2 \cos(2\pi f'_0 x_2)$$

$$T(f_x, f_y) H(f_x, f_y) = T\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}\right) t_0 + \frac{t_1}{2} T\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}\right) (e^{i2\pi f_0 x_2} + e^{-i2\pi f_0 x_2}) + \frac{t_2}{2} T\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}\right) (e^{i2\pi f'_0 x_2} + e^{-i2\pi f'_0 x_2})$$

显然物频谱会受到两个一维余弦光栅的调制。当其受第一次记录的光栅调制后, 在输出面 P_3 上可得到 3 个衍射像, 其中零级衍射像位于 $x_3 O y_3$ 平面的原点, 正、负一级衍射像则沿 x_3 轴对称分布

于 y_3 轴两侧, 距原点的距离为 $\Gamma_3 = \pm \lambda f f_0$ (f 为透镜焦距)。同样, 受第二次记录的光栅调制后, 在输出面上将得到另一组衍射像, 其中零级衍射像仍位于坐标原点与前一个零级像重合, 正、负一级衍射像也沿 y_3 轴对称分布于原点两侧, 但与原点的距离为 $x'_3 = \pm \lambda f f'_0$ 。由于 $\Delta f_0 = f'_0 - f_0$ 很小, 故 x_3 与 x'_3 的差 $\Delta x_3 = \pm \lambda f \Delta f_0$ 也很小, 从而使两个对应的 ± 1 级衍射像几乎重叠, 沿 x_3 方向只错开很小的距离 Δx_3 。由于 Δx_3 比起图形本身的尺寸要小很多, 当复合光栅平林一[固]适当的距离 Δl 时, 由此引起两个同级衍射像的相移量为:

$$\Delta\phi_1 = 2\pi f_0 \Delta l, \Delta\phi_2 = 2\pi f'_0 \Delta l \quad (6)$$

从而导致两个同级衍射像有一个附加的相位差

$$\Delta\phi = \Delta\phi_2 - \Delta\phi_1 = 2\pi \Delta f_0 \Delta l \quad (7)$$

当这时两个同级衍射像正好相差 π 相位, 相干叠加时两者重叠部分相消, 只剩下错开的图像边缘部分, 从而实现了边缘增强。

3 实验

本实验实验步骤如下:

1. 布置好半导体激光器、扩束镜、准直镜以及 4f 系统, 同时测量 f 数值, 将透镜放置在焦距位置。
2. 先进行微分处理实验, 不断细调透镜以及准直镜位置, 获得质量较好的微分图像。方便后续进行加减图像的实验。
3. 将复合光栅拆卸掉换上一维光栅进行图像加减实验。

4 实验结果与分析

实验结果如下, 下图分别是相加后的图像2, 微分后的边缘增强的图像3, 相减后的图像4。

5 思考题

- 可能是因为两个像的光强不均匀, 造成相减是无法刚好相消。或者是入射光未调成水平。
- 由 $\Delta = \frac{1}{4f_0} = \frac{\lambda f}{4b}$, 可估计横向位移量级, 移动量将增大。



图 2 相加后的图像

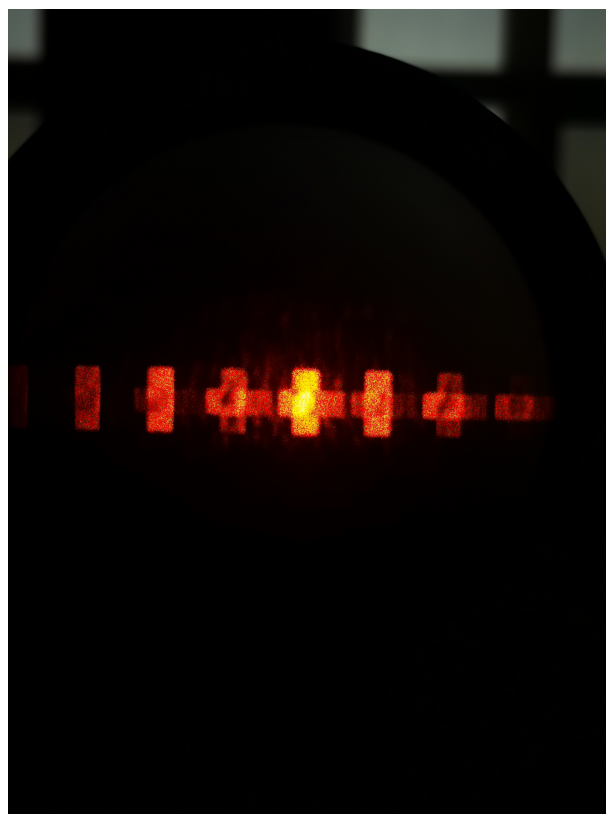


图 4 相减后的图像

- 原理一样, 区别在于所用的光栅一个为一维光栅一个为复合光栅。

6 结 论

本文利用 $4f$ 系统来进行光学图像加减和图像微分处理实验, 得到了图像的加减和微分图像, 同时对光栅的性质和激光器的相关性质有了更为深刻的认识。

参考文献

- [1] 钱建强, 张高龙. 近代物理实验[M]. 近代物理实验, 2016.

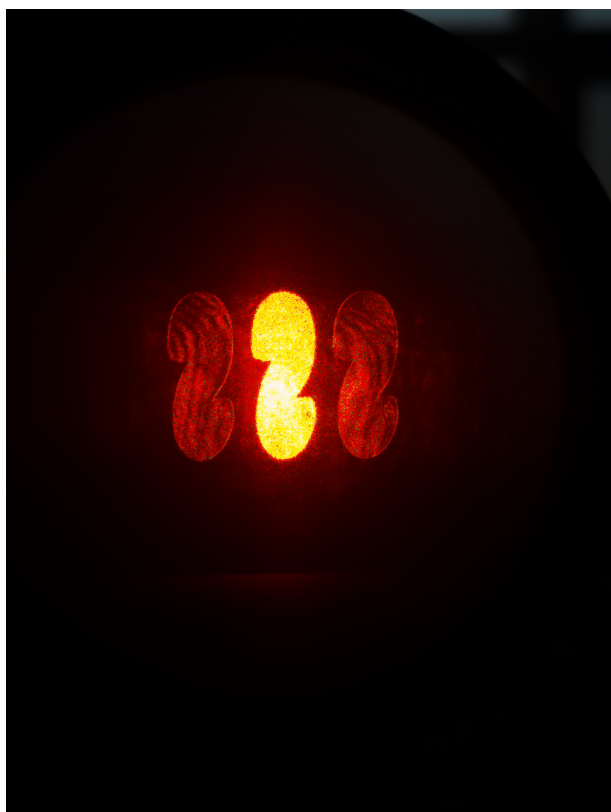


图 3 微分后的边缘增强的图像