

用非相干光进行图像微分

羊国光 左 健 吴 若*
(中国科学技术大学研究生院)

提 要

为了压抑相干噪声,本文采用单色非相干光源进行图像微分。微分滤波器是利用光栅结构的微分函数制作其傅里叶变换全息滤波器来实现的。实验结果表明,利用非相干光进行图像微分大大提高了输出图像的信噪比。

一、引 言

图像微分是光学信息处理中常用的一种运算。它是提取图像轮廓、边缘增强以及进行图像识别的一种手段。进行图像微分通常采用相干光学处理系统。如 A. W. Lohmann^[1]等提出用计算机产生的滤波器进行微分。S. H. Lee^[2]曾提出用复合正弦光栅作微分器进行图像微分,此方法较为简便。以及冯郁芬^[3]采用非线性记录的全息复合光栅进行光学微分。然而,相干光处理系统的一个最大问题是,不可避免地存在着由于光学系统的缺陷(如光学元件上的尘埃、气泡、擦痕及指印等)引起的相干噪声,用相干光作图像微分时也不例外。即使用了高反差翻印技术仍存在残留的相干噪声。特别当这种缺陷正好出现在图像轮廓的边缘上时,这种噪声的影响更为严重。

我们提出了一种用非相干光进行图像微分的新方法。这个方法类似于羊国光^[4]等用于图像消模糊的方法。由于使用了非相干光源,使系统引入了冗余度,因此有效地压制了系统的相干噪声,提高了微分图像的信噪比。

二、原 理

函数 $f(x, y)$ 的一阶偏导数可用差分方程表示

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left(\frac{1}{\varepsilon} \right) \{ f(x + \varepsilon, y) - f(x, y) \}. \quad (1)$$

如果系统的脉冲响应为

$$h(x, y) = \delta(x + \varepsilon, y) - \delta(x, y), \quad (2)$$

其中 $\delta(x, y)$ 为 δ 函数,则利用 δ 函数的筛选性质,可将(1)式改写为

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left(\frac{1}{\varepsilon} \right) [f(x, y) \otimes h(x, y)], \quad (3)$$

其中 \otimes 为卷积运算。因此,由(3)式容易看出,只要处理系统具有(2)式的脉冲响应,则图像

收稿日期: 1984年6月26日

* 中国科学技术大学 1979 届毕业生。

$f(x, y)$ 经这个系统处理后, 就可以得到该图像的微分输出, (3) 式的微分过程可用一直观图示表之(图 1)。

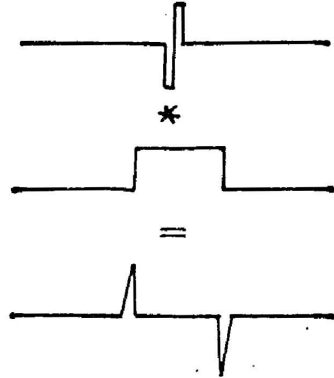


图 1 微分过程图示

Fig. 1 The differentiation process

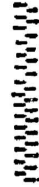


图 2 具微分脉冲函数 h 的膜片

Fig. 2 Mask bearing differentiation impulse function h

S. H. Lee 是用复合光栅法实现 (2) 式的脉冲响应。本文采用图 2 的光栅结构的膜片实现这种脉冲响应。由于该膜片由两组相邻的光栅组成, 而相邻光栅相互位移半个周期。故将此膜片重新成像时, 在两个第一级衍射级上, 可得到两个相邻脉冲之间的位相差为 π 。这正是 (2) 式所要求的脉冲响应。

为了实现 (3) 式的卷积运算以达到微分的目的, 我们先利用图 2 的微分膜片制作相应的全息滤波器 (Vander Ligt 滤波器), 即作微分脉冲响应函数的傅里叶变换全息图。该全息滤波器的振幅透过率为

$$U_1(x_1, y_1) \propto r_0^2 + \frac{1}{\lambda^2 f^2} |H(x_1, y_1)|^2 + \frac{r_0}{\lambda f} H(x_1, y_1) \exp(i2\pi\alpha x_1) + \frac{r_0}{\lambda f} H^*(x_1, y_1) \exp(-i2\pi\alpha y_1), \quad (4)$$

其中参考波为 $r_0 \exp(-i2\pi\alpha y_1)$, f 为变换透镜的焦距, $H(x_1, y_1)$ 为 (2) 式的傅里叶变换。

将 (4) 式的全息滤波器放在 $4f$ 光学处理系统的滤波平面上, 则在输出平面上的复振幅分布为^[5]

$$U_2(x_2, y_2) \propto r_0^2 f(x_2, y_2) + \frac{1}{\lambda^2 f^2} [h(x_2, y_2) \otimes h^*(-x_2, y_2) \otimes f(x_2, y_2)] + \frac{r_0}{\lambda f} [h(x_2, y_2) \otimes f(x_2, y_2) \otimes \delta(x_2, y_2 + \alpha \lambda f)] + \frac{r_0}{\lambda f} [h^*(-x_2, -y_2) \otimes f(x_2, y_2) \otimes \delta(x_2, y_2 - \alpha \lambda f)]. \quad (5)$$

显然, (5) 式的第三项为我们所需要的卷积运算。因此, 在 $(-\alpha \lambda f, 0)$ 处可以得到微分图像的输出。显然, 微分图像的轮廓线宽度为图 2 的微分掩膜光栅结构的横向宽度的一倍。

由于一阶偏导数是一维数学运算。因此, 实际上只在微分方向上要求有空间相干性, 否则这个系统不能进行振幅运算。然而, 在与之垂直的方向上没有任何空间相干性的要求。因此, 这个系统可以用单色非相干线光源。我们知道, 对扩展非相干光源, 其上每一小单元发的光通过光学系统相当于一个独立的信息通道。光学系统用扩展光源照明就引入了一定数

目的冗余通道。在这种情况下,输出是不同通道的非相干迭加,而不同通道上的输出信号是完全相关的,而不同通道上的噪声却是不相关的。结果,信号在输出平面上得到相加,而噪声却趋于平均掉。因此,用非相干光源照明,将使系统获得冗余度,从而达到压制相干噪声的目的^[6]。

三、实验方法与结果

图2的微分膜片是利用半导体制板工艺,在虹膜上刻划然后缩小而成。由于要采用线光源,故要求滤波器在 y 方向上伸展,以便进行不同通道的卷积运算。我们采用图3的光路来制作全息滤波器。

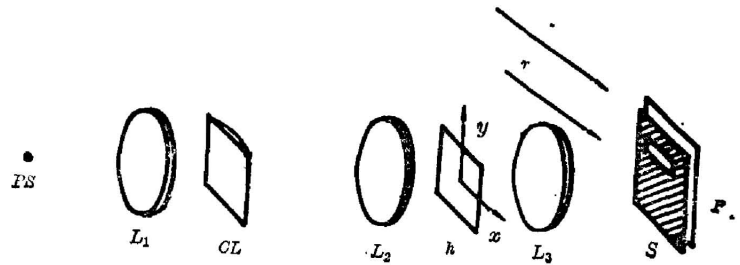


图3 制作全息滤波器的光学系统

Fig. 3 Filter-making system

其中用一柱面镜 CL 形成一相干线光源,使 $h(x, y)$ 的傅里叶变换在透镜 L_3 的后焦面上沿 y 方向伸展开。在其一级衍射像上,迭加上一参考波 r ,记录下全息滤波器。

用单色非相干线光源的微分运算光路示于图4。

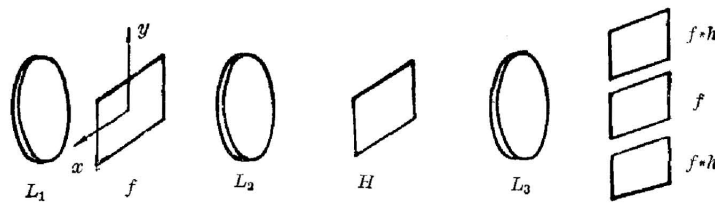


图4 作图像微分的空间滤波系统

Fig. 4 Spatial filtering system for differentiation

图中 LS 为非相干线光源,图像 f 经过透镜 L_2 傅里叶变换后,在 L_2 的后焦面上与微分滤波器 H 相乘。再经透镜 L_3 的变换,在输出平面上形成直流,交叉关联及卷积项。在卷积项处得到图像的微分输出。

为了得到单色非相干线光源,可在准直激光束后放置一柱面镜,形成相干线光源。同时为了使线光源上每一元素互不相干,在柱面镜的焦平面上放一旋转毛玻璃,在旋转毛玻璃的后面放一沿 y 方向的狭缝(约 $100\mu\text{m}$),以保证在 x 方向上有足够的空间相干性。这示于图5。

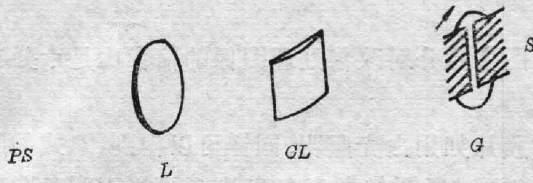


图 5 用激光束产生非相干线光源

Fig. 5 Creation of an incoherent line source from a laser beam

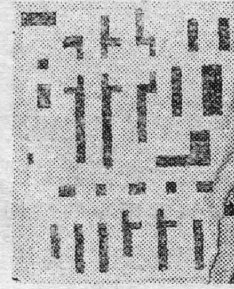


图 6 输入图像

Fig. 6 Input image

本文采用半导体集成电路的膜板作为输入图像(图 6)。图 7(a)为用相干光进行图像微分的结果,图 7(b)为用非相干光的结果。比较这两个结果可见,相干光处理的图像存在着明显的相干噪声,而在非相干光的情况下,几乎完全消除了噪声。以上是取图形的 y 轴与线光源平行情况下得到的图像微分。当图形的 y 轴与线光源方向成一角度时,可以勾划出图像的整个轮廓,如图 8(a)与图 8(b)所示。图 8(a)为相干光处理的结果,图 8(b)为非相干光处理的结果。



图 7(a) 用相干光的微分图像

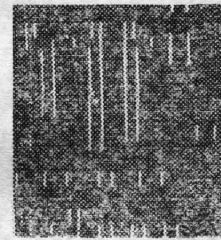
Fig. 7(a) Differentiation image with coherent light source (y axis of image is parallel to the line source)

图 7(b) 用非相干线光源的微分图像

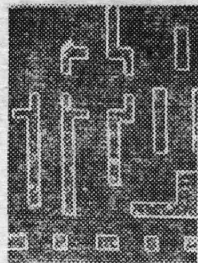
Fig. 7(b) Differentiation image with incoherent line source (y axis of image is parallel to the line source)

图 8(a) 用相干光的微分图像

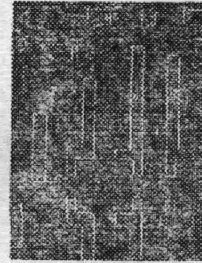
Fig. 8(a) Differentiation image with coherent light source (y axis is not parallel to the line source)

图 8(b) 用非相干线光源的微分图像

Fig. 8(b) Differentiation image with incoherent line source (y axis is not parallel to the line source)

四、讨 论

本文的实验结果表明,用非相干光进行图像微分对改善处理图像的信噪比是十分有效的。并且这是一种简单易行的方法。

由于我们采用光栅结构状的膜片,这种膜片如用白光照明,同样可以得到(2)式的脉冲响应函数。因此,这个方法原则上可以用白光源进行图像微分。特别是可用于彩色图像的微分运算。当然,这时卷积运算的实现应采用扫描法。

龚谦同志提供了膜片,母国光教授对本工作曾给予支持,在此表示深切感谢。

参 考 文 献

- [1] A. W. Lohmann, D. P. Paris; *Appl. Opt.*, 1968, **7**, No. 4 (Apr), 651.
- [2] S. H. Lee; *Opt. Eng.*, 1974, **13**, No. 2, 196.
- [3] 冯郁芬;《中国激光》, 1984, **11**, No. 3 (Mar), 131.
- [4] G. G. Yang, E. N. Leith; *Opt. Commun.*, 1981, **36**, No. 2 (Jan), 101.
- [5] J. W. Goodman;《傅里叶光学导论》, (科学出版社, 1976), p. 198.
- [6] S. L. Zhuang;《Coherence Requirement, Transfer Function and Noise Performance of Partially Coherent Processing System》, (Ph. D. Thesis), Penn. State University, 1983, Univ. Microfilm, Ann Arbor, Mich. U. S. A.

Image differentiation with spatial incoherent light

YANG GUOGUANG ZUO JIAN AND WU RUO

(Graduate School, University of Science and Technology of China, Beijing)

(Received 26 June 1984)

Abstract

In order to suppress the coherent artifact noise, a method of image differentiation by means of monochromatic incoherent line source is described. Differentiation filter is realized by making F. T. holographic filter from diffracting grating type differentiation mask. Experimental results show that noise reduction resulting from the line source is considerable.