

一种利用光栅编码实现实时光学图像相减的新方法*

康 辉 姚裕贵

(南开大学物理系, 天津 300071)

郭转运 张延炘

(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

提要 介绍一种利用光栅编码实现实时光学图像相减的新方法。仅使用一块一维透反光栅就可完成对待相减的两幅图像进行编码, 再通过傅里叶滤波进行解码, 即可实时完成光学图像的复振幅相减。文中给出了原理分析及其实验结果, 最后作了简要的讨论。

关键词 实时光学图像相减, 编码, 空间滤波, 透反光栅

1 引 言

数据相减是数学上的一种基本运算。图像相减是通过作减法运算将两幅图像之间的差异检测出来, 这种技术在许多领域中均有重要应用。例如, 通过遥感图像对城市发展、公路规划、陆地开发使用、地球资源利用等多项研究, 气象学、工业上的自动监视或产品检验, 军事上的目标侦察和识别, 通信中的带宽压缩, 机器人视觉等等。由于光学运算具有快速、并行, 且互连密度高、交扰小等优点, 所以利用光学方法实现图像相减一直是人们感兴趣的研究课题。近一、二十年, 已经发展了实现光学图像相减的许多可行方法^[1~11], 其中包括两种利用光栅的方法。第一种方法^[2,3]是利用光栅和 Mach-Zehnder 干涉仪。先将两块一维光栅各与两物透明片重叠, 分别放入干涉仪的两臂中, 然后经过合束器并合, 并被具有傅里叶变换和成像双重功能的透镜 L 成像在系统的输出平面上。通过精密调整其中一块光栅, 使其相对另一块光栅准确错动半个条纹间距, 同时在透镜 L 的后焦平面上进行空间滤波, 只让光栅的 ± 1 级衍射光通过, 于是在输出平面上就得到两物片的差异图像。显而易见, 这种方法结构复杂, 操作困难。它必须利用精密调整机构才能使两块光栅准确对位。随着物函数频率增大, 光栅条纹变密, 对调整精度和防震条件的要求都相应提高, 以致变得难以实现。同时因物片与光栅紧密接触, 这不仅使调整和切换极不方便, 且易使它们受损坏。

第二种方法^[4]是利用 $4f$ 图像处理系统, 将光栅作为空间滤波器使用。在系统的输入物平面上, 并行对称放置两个待相减的物片。在频谱平面上放置一维光栅, 光栅矢量必须与两物并行排列方向相同, 且光栅条纹间距必须与两物片中心间距相匹配。通过沿光栅矢量方向精密平

* 本工作得到国家自然科学基金支持。

收稿日期: 1993 年 12 月 16 日; 收到修改稿日期: 1994 年 2 月 28 日

移光栅,或者在物平面上两物透明片之一处嵌入 π 相位板,即可在系统的输出平面上得到相减的图像。这种方法虽然也需要精密平移光栅,但操作相对比较简单。其不足之处是相减的两物片尺寸受到限制,不能充分利用光学系统的二维空间带宽积。

本文描述一种利用透反光栅实现图像相减的新方法。在这种方法中,由于是利用同一块光栅的透射函数和反射函数分别对待相减的两物片进行编码,而透射光栅和反射光栅是自动移动半个条纹周期的,所以与上述方法相比较,它继承了上述方法的优点,克服了上述方法的缺点。首先,它不需要精密调整机构调整两块光栅的空间对准,并且物片也不与光栅接触。这不仅简化了装置,使操作灵活方便,而且也避免了物片和光栅易受损伤。同时,两物片因不在同一输入平面上,所以不仅克服了物片尺寸受限的缺点,系统的信息容量得到充分利用,而且光栅条纹间距不再受两物片中心间距的约束,只由被处理图像的最高空间频率决定。

2 原 理

图 1 中,由六个透镜 L (其焦距为 f) 组成三个共焦成像系统,其中系统 I 和 II 分别将待相减的物透明片 P_1 和 P_2 成像在共同像面 P 上,这是系统 III 的输入平面。在平面 P 上放置一块一维透反光栅 G ,则在 F 平面上得到物谱与光栅频谱的卷积分布,在平面 P' 上得到它们的输出像。

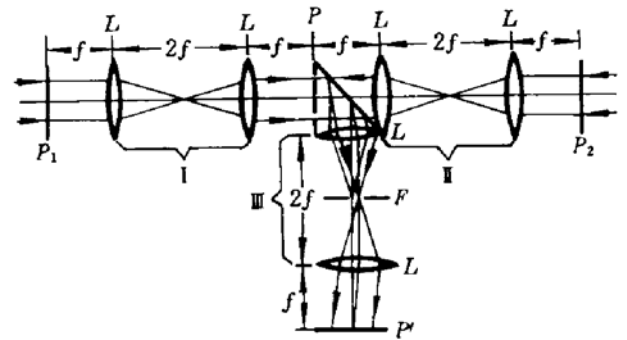


Fig. 1 Scheme of real-time optical image subtraction

设待相减的物透明片 P_1 和 P_2 在 P 平面上的

复振幅分布分别为 $f_1(x, y)$ 和 $f_2(x, y)$, 光栅 G 的复振幅透过率和反射率分别为

$$g_1(x) = \frac{1}{2}(1 + \cos 2\pi u_0 x) \quad (1)$$

和

$$g_2(x) = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\pi u_0 x) \quad (2)$$

则系统 III 的输入应等于 P_1 像的透射函数和 P_2 像的反射函数之和:

$$a(x, y) = f_1(x, y)g_1(x) + f_2(x, y)g_2(x) \quad (3)$$

在系统 III 的频谱平面上的复振幅分布为

$$A(u, v) = F_1(u, v) * G_1(u) + F_2(u, v) * G_2(u) \quad (4)$$

其中, $*$ 号表示卷积运算, $F_1(u, v) = \mathcal{F}\{f_1(x, y)\}$, $F_2(u, v) = \mathcal{F}\{f_2(x, y)\}$, 而

$$G_1(u) = \mathcal{F}\{g_1(x)\} = \frac{1}{2}\delta(u) + \frac{1}{4}\delta(u - u_0) + \frac{1}{4}\delta(u + u_0) \quad (5)$$

$$G_2(u) = \mathcal{F}\{g_2(x)\} = \frac{1}{2}\delta(u) - \frac{1}{4}\delta(u - u_0) - \frac{1}{4}\delta(u + u_0) \quad (6)$$

设 F 平面的坐标为 η, ζ , 则空间频率取值应为

$$u = \eta/(\lambda f) \quad v = \zeta/(\lambda f) \quad (7)$$

若在频谱平面上放置一个空间滤波器, 其滤波函数为

$$H(u, v) = \text{rect}\left(\frac{u - u_0}{2u_m}, \frac{v}{2v_m}\right) = \begin{cases} 1 & \text{在孔内} \\ 0 & \text{在孔外} \end{cases} \quad (8)$$

其中, u_m, v_m 分别为物函数在 x, y 方向的最大空间频率分量。于是, 透过滤波器的频谱为

$$A'(u, v) = \frac{1}{4}[F_1(u - u_0, v) - F_2(u - u_0, v)] \quad (9)$$

经过透镜的逆傅里叶变换, 在系统 III 的输出平面 P' 上的复振幅分布为

$$a'(x, y) = \frac{1}{4}[O_1(x, y) - O_2(x, y)]\exp(j2\pi u_0 x) \quad (10)$$

其中, $O_1(x, y)$ 和 $O_2(x, y)$ 是 $f_1(x, y)$ 和 $f_2(x, y)$ 的几何像, 而相应的强度分布为

$$I'(x, y) = \frac{1}{16} |O_1(x, y) - O_2(x, y)|^2 \quad (11)$$

即得两个物函数的复振幅相减结果。

3 实验及其结果

3.1 实验装置的描述

实际采用的实验装置如图 2 所示。其中, 光源采用低功率 He-Ne 激光器; SP_1 是可调分束器, SP_2 是半透半反镜, L_0 是鱼眼扩束镜, L_1, L_2 是成像透镜, 焦距均为 240 mm, M 是平面反射镜, G 是透反光栅, 每毫米 50 条刻线。He-Ne 激光细光束由 SP_1 分成两束, 经 L_0 变成发散球面波, 分别照明透明片 P_1 和 P_2 。透镜 L_1 将 P_1 成像在 G 上, 被透射光栅调制后, 再由 L_2 将其成像在系统输出平面 P' 上, 并在 S_1, S_2 的共轭面 S 处形成透射光栅和物函数 P_1 的夫朗和费衍射的卷积谱; 同样, P_2 由 L_2 成像于 G , 经 G 反射的调制像再次通过 L_2 成像于 P' 平面上。在 S 平面上形成反射光栅和物函数 P_2 的夫朗和费衍射的卷积谱。由于透反成像光路同轴且参数相同, 所以 S 平面上的透、反射谱重叠在一起; 又由于透、反光栅互补, 所以其 +1 (或 -1) 衍射级自动引起 π 相位差。于是经过滤波, 只让光栅 +1 (或 -1) 衍射级通过, 便在输出平面 P' 上得到两个物透明片的差别图像。

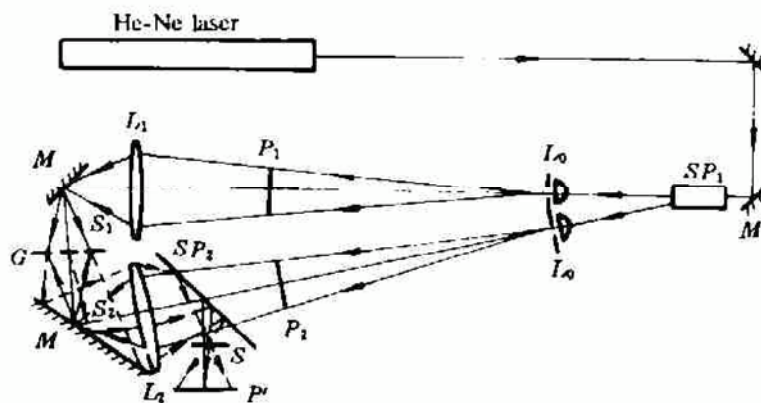


Fig. 2 Experimental setup for real-time image subtraction.

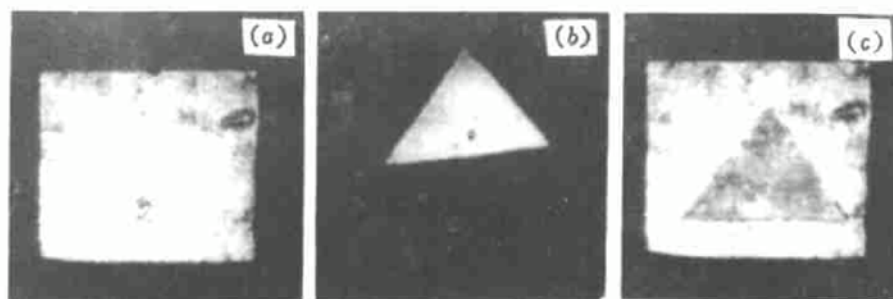


Fig. 3 Experimental result

3.2 实验结果

将图 3(a) 所示的物透明片放在 P_1 处, 图 3(b) 所示的物透明片放在 P_2 处, 则在输出平面 P' 处得到它们的差异图像, 示于图 3(c)。可清楚地看出两物片的振幅相同处, 相减结果为零, 对应为黑; 两者的振幅不同处, 相减结果则对应于不同的白色。图 3(b) 的三角形中有一黑点, 正好

与图 3(a) 中一黑斑相对应。在图 3(c) 中可见到, 黑点处仍为黑色, 而黑斑则变为白色。这正与光波场的振幅相减相符合。

在作相减运算时, 还应注意下列问题: 1) 由于该方法属于复振幅相减, 当采用透明片作为输入物时, 胶片乳胶膜层的厚度起伏(表现为位相)将对相减结果有影响, 所以最好使用液门器件予以消除; 2) 因相干相减易带来相干噪音, 所以除了照明光路应使用针孔滤波器外, 所用光学元件也应尽量减少, 且元件表面要清洁; 3) 为了使输出的差异图像对比度高, 应调整可变分束器的分束比, 以使透、反成像光束的输出强度相平衡。同时应使两成像光路光程相等, 光束偏振方向一致; 4) 当用空间光调制器(比如液晶电视)替代胶片作为输入元件时, 便可实现在线相减操作。

参 考 文 献

- 1 S. H. Lee, S. K. Yao, A. G. Milnes. Optical Image Synthesis (Complex Amplitude Addition and Subtraction) in Real Time by a Diffraction-Grating Interferometric Method. *J. Opt. Soc. Am.*, 1970, **60**: 1037
- 2 P. F. Mueller, U. S. Patent. No. 3, 664 248. 1972
- 3 K. Patorski *et al.*, *Nouv. Rev. Opt.*, 1975, **6**: 25
- 4 K. Bromeley, M. A. Monahan, J. F. Bryant *et al.*. Holographic Subtraction. *Appl. Opt.*, 1971, **10**: 174
- 5 John F. Ebersole. Optical Image Subtraction. *Opt. Eng.*, 1975, **14**(5): 436
- 6 G. Rodriguez. Grating coding for image subtraction with uneven bar widths. *Opt. Lett.*, 1983, **8**(8): 455
- 7 Arthur. E. Chiou, Pochi Yeh. Parallel Image Subtraction Using a Phase-conjugate Michelson Interferometer. *Opt. Lett.*, 1986, **11**(5): 306
- 8 荣海生, 康 辉. 利用光栅衍射级间干涉编码实现光学图像相减. *仪器仪表学报*, 1987, **8**(4): 370
- 9 荣海生, 康 辉. 多次曝光散斑干涉实现光学图像相减. *中国激光*, 1988, **15**(3): 149
- 10 康 辉, 杨英民. 利用三色光栅实现彩色图像相减. *光学学报*, 1988, **8**(9): 832
- 11 P. Yeh, Tallis Y. Chang, Paul H. Beekwith. Real-time Optical Image Subtraction Using Dynamic Holographic Interference in Photorefractive Media. *Opt. Lett.*, 1988, **13**(7): 586

A New Method of Real-time Optical Image Subtraction by Grating Encoding

Kang Hui Yao Yugui

(Department of Physics, Nankai University, Tianjin 300071)

Guo Zhuanyun Zhang Yanxin

(Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071)

Abstract This paper introduces a new method of real-time optical image subtraction realized by grating encoding. In this method, two images are encoded by a one dimensional transmission-reflection grating, while decoding is completed by Fourier filtering. Thus, amplitude subtraction of the two images will be real-time resulted in the output plane of the optical system. The principle analysis for the method and experimental result are given. Finally, a brief discussion is made.

Key words real-time optical image subtraction, encoding and decoding, spatial filtering, transmission-reflection grating