

# 利用相干光反馈系统实现模糊图像的复原

冯璧华 缪 源 曹伶华 吴维瑛 张丕林

(南京大学物理系, 南京 210008)

**提要** 叙述了利用相干光反馈系统成功地实现了模糊图像的复原。其实验结果显示了相干光反馈方法在图像恢复方面的光明前景。

**关键词** 相干光反馈, 模糊图像

## 1 引 言

1975 年以后 S. H. Lee 等人对光反馈开始进行研究, 把相干光学反馈系统(CFS)应用于光学信息处理中。我们设计了一套共焦法布里-珀罗干涉仪成功地作为相干光反馈系统, 并用此系统实现了模糊图像的复原, 其实验结果显示了相干光反馈方法在图像恢复方面的光明前景。

## 2 基本原理

用我们自行研制的一套共焦法布里-珀罗干涉仪作为相干光学反馈系统, 如图 1 所示, 反馈系统的两块球凹面镜的口径  $\phi = 95 \text{ mm}$ , 曲率半径  $R = 1120 \text{ mm}$ , 相干光源用 40 mW 的 He-Ne 激光。 $M_1, M_2$  为两块球凹面镜, 曲率半径相等为  $R$ , 将  $M_1$  和  $M_2$  相向共轴放置, 间距为  $R + e$  ( $e \ll R$ ), 因此  $M_1 M_2$  的对称平面  $P$  同时为  $M_1$  和  $M_2$  的前后焦平面。设  $M_1$  和  $M_2$  的反射系数为  $r$ , 透射系数为  $t$ , 且  $r^2 + t^2 \approx 1$ , 滤波函数为  $\tilde{f}$  和  $\tilde{g}$  的滤波器放置在频谱面 ( $P$  平面) 的焦点  $D, H$  处<sup>[1]</sup>。其玻璃载体的透射率为  $t_c$ , 被扩束的 He-Ne 平行光如图 1 所示照射在  $a_i(x, y)$  上, 以  $\theta$  角度进入 CFS, 从  $A$  进入系统, 在  $C$  和  $E$  处经两次反射到达  $G$  处。 $M_2$  将光分为两束, 一部分透射输出, 另一部分反射后回到  $A$  处经  $M_1$  反射与输入光迭加成为反馈光重新进入反馈系统。可推算出 CFS 的光学传递函数  $\tilde{h}(u, v)$  为<sup>[2]</sup>:

$$\tilde{h}(u, v) = \frac{\xi \tilde{f}(u, v)}{1 - t_c \tilde{f}(u, v) \tilde{g}(u, v) e^{i\beta}}$$

$\tilde{a}_0(u, v)$  是  $a_0(x, y)$  的傅氏变换,  $\tilde{a}_i(u, v)$  是  $a_i(x, y)$  的傅氏变换,  $\beta$  为反馈光的位相延迟, 工作时使 CFS 处于谐振状态  $\xi = t^2 r^2 t_c, t_c = t_c^2 r^4$ 。

模糊图像的复原光路图如图 2 所示。

物函数是一透明干板, 设其振幅透射率为  $a(x, y)$ , 物函数经  $LS_1$  进行一次傅氏变换, 在频

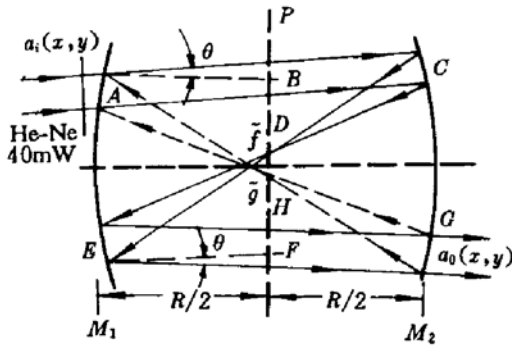


Fig. 1 The coherent optical feedback system with spatial Filters  $\tilde{f}$  and  $\tilde{g}$

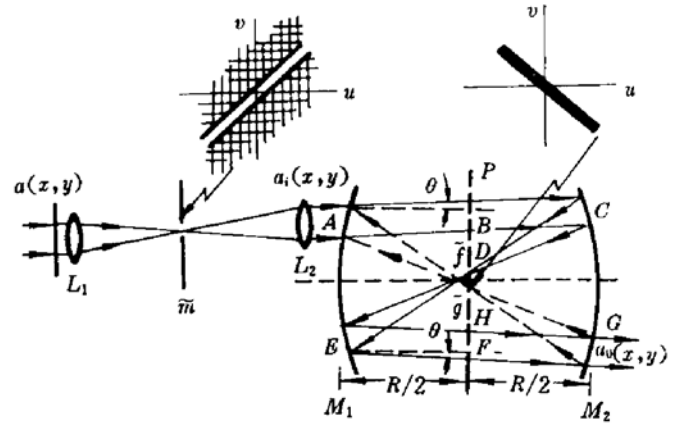


Fig. 2 A laboratory system for image restoration using coherent optical feedback

谱面处插入一滤波器  $\tilde{m}(u, v)$ , 经透镜  $L_2$  再次进行傅氏变换在 CFS 的入射窗口得到一模糊图像, 其波函数为

$$a_i(x, y) = \mathcal{F}^{-1}\{\mathcal{F}[a(x, y)] \cdot \tilde{m}(u, v)\} = \mathcal{F}^{-1}[\tilde{a}(u, v) \cdot \tilde{m}(u, v)]$$

上式两边同时进行傅氏变换

$$\tilde{a}_i(u, v) = \tilde{a}(u, v) \cdot \tilde{m}(u, v)$$

于是

$$\tilde{a}_0(u, v) = \frac{\xi \tilde{f} \tilde{a}_i(u, v)}{1 - t_c \tilde{f} \tilde{g} e^{i\beta}}$$

$M_1 M_2$  的反射率很高, 并使系统的  $\beta = 0$ , 我们选择滤波器, 使得

$$\tilde{f}(u, v) = 1, \quad \tilde{g}(u, v) = 1 - \tilde{m}(u, v)$$

于是

$$a_0(x, y) \propto a(x, y)$$

由此可知, 只要选择合适的滤波器〔即产生模糊图像的滤波器  $\tilde{m}(u, v)$  的负像  $\tilde{g}(u, v) = 1 - \tilde{m}(u, v)$ 〕便可实现模糊图像的复原, 恢复图像的本来面目<sup>[3]</sup>。

### 3 实验和结果

建立如图 2 的光路, 40 mW 的 He-Ne 激光经扩束准直后照射在物函数上, 透镜  $L_1, L_2$  以及反射镜的焦距均为 560 mm。物函数如图 3(a) 所示, 图 3(b) 为其频谱。实验中我们选择一倾斜  $45^\circ$  的狭缝作为滤波器  $\tilde{m}(u, v)$ , 如图 2 所示。当狭缝  $\tilde{m}(u, v)$  插入  $L_1$  的频谱面时与狭缝垂直方向的高频分量被滤掉, 得到具有方向性模糊的图像如图 3(c) 所示, 此图像为 CFS 的输入光波, 根据上述原理, 滤波函数应取  $\tilde{f}(u, v) = 1$ , 滤波函数  $\tilde{g}(u, v)$  应是产生模糊图像的滤波器  $\tilde{m}(u, v)$  的负像, 所以  $\tilde{g}(u, v)$  如图 2 所示。滤波函数为  $\tilde{f}$  的滤波器放置在 D 处, 滤波函数为  $\tilde{g}$  的滤波器放置在 H 处。这样在 CFS 的出射窗 G 处便得到恢复后的图像如图 3(d) 所示。

### 4 结 论

本文提供了相干光反馈系统在光信息处理中的一个重要应用, 就是能够实现模糊图像的

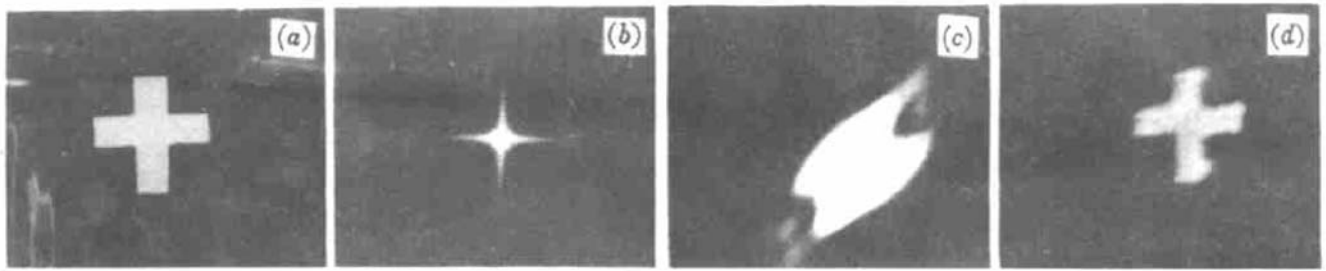


Fig. 3 (a ~ d) Illustrate the image restoration

(a) the original image; (b) the spatial frequency spectrum of the original image; (c) the degraded image; (d) the restored image

复原。例如：在行驶的汽车中拍摄的窗外风景照片，竞技场上运动员的相片，飞机上拍摄的航空照片等由于相机与被摄体之间的相对移动会产生模糊。在相对运动的方向上高频成分被削弱，我们可以通过这种方法使其图像得到改善。

1) 一般情况下可以选择合适的滤波器使  $\bar{f}(u, v) = 1$ ,  $\bar{g}(u, v) = 1 - \bar{m}(u, v)$  来实现模糊图像的复原, 优点在于只需选择一个滤波函数  $\bar{g}$ 。实际上  $\bar{f}$  和  $\bar{g}$  可以多种选择, 只要满足  $\bar{g}(u, v) = 1/[\bar{f}(u, v)] - k\bar{m}(u, v)$ , 常取  $k = 1$ , 并使  $\bar{f}$  及  $\bar{g}$  处于乳胶特性的线性区间内。可用计算机先分别作出  $\bar{f}$  及  $\bar{g}$  的灰阶图。

2) 可以证明相干光反馈系统传递函数的动态范围总是大于无反馈系统(4F 无反馈处理系统)的动态范围。二者之比近似等于  $1/(1 - t_c)^{-4}$ , 式中  $t_c < 1$ , 本文测得  $t_c = 0.93$ 。

3) 如果已知造成模糊像的原因, 比如运动、调焦不正确等,  $\bar{m}$  是能够知道的, 否则的话图像恢复还需要先验知才能确定  $\bar{m}^{-5}$ 。

### 参 考 文 献

- 1 E. Handler, U. Roder. Flexible Bandpass Filtering Using a Coherent Optical Feedback Technique. *Appl. Opt.*, 1979, 18(16): 2787~2791
- 2 R. P. Akins, R. A. Athale, S. H. Lee. Feedback in Analog and Digital Optical Image Processing: A Review. *Opt. Eng.*, 1980, 19(3): 347~358
- 3 J. Cederguist, S. H. Lee. The Use of Feedback in Optical Information Processing. *Appl. Phys.*, 1979, 18(3): 311~319
- 4 S. H. Lee. Optical Analog Solutions of Partial Differential and Integral Equations. *Opt. Eng.*, 1985, 24(1): 41~47
- 5 [美]A. 罗申菲尔特, A. C. 卡克著, 余英林等译. 数字图像处理. 北京: 人民邮电出版社, 第一版, 1982. 214~222

## The Use of a Coherent Optical Feedback System in Realizing Restoration of Degraded Image

Feng Bihua Miao Yuan Cao Linghua Wu Weiyong Zhang Peiling

(Department of Physics, Nanjing University, Nanjing, 210008)

**Abstract** This paper describes the successful use of a coherent optical feedback system in realizing restoration of a degraded image. The experimental result shows the future prospects of the coherent optical feedback technique in image restoration.

**Key words** coherent optical feedback, degraded image