

# 用非相干全息技术减弱彩虹全息图的散斑

羊国光 左 健 张静娟  
(中国科学技术大学研究生院)

## 提 要

本文发展了一种用空间非相干光记录漫射物体的彩虹全息图,并用白光再现的技术。实验结果表明,这种方法大大抑制了全息像的噪声,改善了全息像质。因此,这是一种减弱散斑的简单而有效的方法。

## 一、引 言

由于在记录与再现全息图时采用相干光源,因此不可避免地存在着相干效应引起的散斑噪声。散斑效应降低了全息像的质量,同时限制了全息系统的分辨率。自70年来发展的彩虹全息术<sup>[1,2]</sup>是全息显示的一大进展。由于彩虹全息图可以用白光源再现,故在原则上彩虹全息像的散斑现象应较不明显。但是在记录彩虹全息图时必须在光路中插入狭缝,因此这使记录的散斑尺寸变大,从而使散斑噪声变得严重。并且,在各种全息干涉应用中,一般是在不同平面上形成物体的像与干涉条纹。为了获得必要的景深,必须采用较小的照相孔径,这又会引起不希望出现的大散斑。因此,全息像的散斑噪声是现代全息术的主要问题之一。

我们曾用空间非相干光记录全息图的方法<sup>[3]</sup>,相当有效地压制了全息图的相干噪声。也用此作全息显微像的记录<sup>[4]</sup>,改善了显微像质,同时不损失像的分辨率。但以上工作都是记录二维透射物体。本文把该方法推广到漫射物体的彩虹全息图的记录上。而彩虹全息图可以用白光再现。因此,可以预计这将会减弱彩虹全息像的散斑噪声。对全息像质的这种改善将有助于提高全息干涉计量对干涉条纹的检测能力。所以,这是很有意义的。

## 二、原 理

我们知道,散斑是由于照明光场的高度相干性造成的。因此,散斑的减弱技术也必然与光场相干性的降低相联系。下面讨论用空间非相干光照明漫射物体所引起的散斑图变化。

已经证明<sup>[5]</sup>,散斑图样的强度概率密度函数为

$$p_I(I) = \frac{1}{I_0} \exp\left(-\frac{I}{I_0}\right), \quad (1)$$

其中  $I_0$  为散斑图平均强度。而用一扩展非相干光源照明一个漫射物体引起的光场空间分布,相当于扩展光源上不同点源照明漫射物体所引起的不同散斑图样的强度叠加。Goodman<sup>[5]</sup>已证明了平均强度相同的  $N$  个散斑图的强度叠加之和的概率密度函数为

收稿日期: 1984年4月3日; 收到修改稿日期: 1984年5月21日

$$p_I(I) = \frac{I^{N-1}}{(N-1)! I_0^N} \exp\left(-\frac{I}{I_0}\right), \quad (2)$$

其中  $I_0$  为一个散斑图的平均强度。图 1 为一至五个散斑图按强度叠加的概率分布图。由图可见, 当  $N=2$  时, 两个具有相同统计特性的独立散斑图的叠加, 其最可几率发生在  $0.5I_0$  处。平均值与最可几值之间的差别是  $0.5I_0$ 。故整个像的散斑强度涨落为  $0.5I_0$ 。而随着  $N$  的增加, 光强度的涨落减小。当  $N=5$  时, 涨落值降至  $0.2I_0$ 。因此, 多个散斑图的非相干叠加将降低整个散斑图的对比度。换句话说, 空间相干性的降低不影响散斑图样的稳定性, 但减弱了散斑的衬比。图 2 给出按图 3 光路在平面  $P$  记录的散斑图。图 2(a) 是用相干光源照明的图样, 图 2(b) 是用空间部分相干光源照明的图样。可见, 用空间非相干光源照明可以抑制散斑。

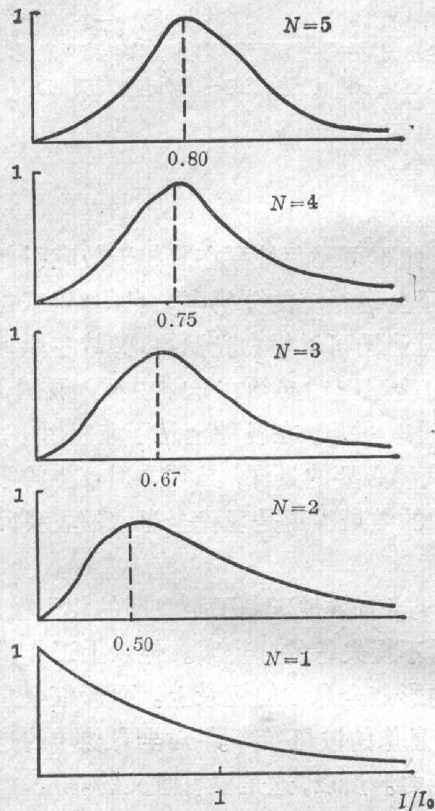
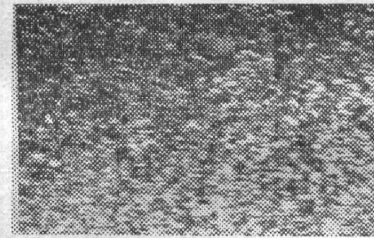


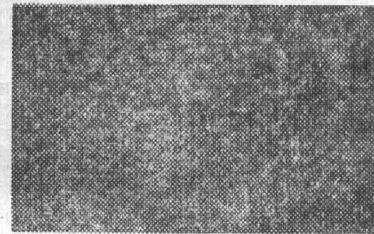
图 1  $N$  个散斑图按强度叠加的概率分布图

Fig. 1 Probability density function for intensity of the sum of several speckle patterns  $N$ , the number of speckle patterns

干光源照明的图样, 图 2(b) 是用空间部分相干光源照明的图样。可见, 用空间非相干光源照明可以抑制散斑。



(a) coherent illumination



(b) spatial incoherent illumination

图 2 在图 3 的平面  $P$  记录的散斑图

Fig. 2 Speckle pattern recorded at plane  $P$  of Fig. 3

然而, 问题是如何用空间非相干光源记录全息图。正如我们已分析过<sup>[4]</sup>, 当用扩展光源时, 随着光源尺寸由小变大, 在两束光相交区域, 干涉条纹逐渐由非定域变为定域条纹。当光源为适当大小时, 条纹仍可保持足够好的对比度。在定域面上放置全息底片, 就可以记录下非相干全息图。

### 三、实验方法与结果

我们采用一步彩虹全息的记录方式。如图 3 所示, 取膺像 (pseudoscopic) 记录光路。

He-Ne 激光束经显微镜物镜扩束后,在焦点后面放入一旋转毛玻璃,将相干光调制为空间非相干光。空间非相干的程度取决于毛玻璃上光斑的尺寸,即扩展光源的大小。光束再经准直透镜  $L_2$  后分成两束。参考束为发散球面波。在物光束中于成像透镜  $L_4$  前放一小于 1 mm 的狭缝。物体经狭缝与透镜成像。在距物体像约 1 cm 处放置记录底片。

当转动毛玻璃位于扩束物镜  $L_1$  焦点上时,条纹为非定域的。这时观察的散斑图与没有毛玻璃时基本相同。而当从左向右移动毛玻璃时,光源尺寸增大,条纹变为定域化,散斑图的对比如随之降低。

实验中存在两个主要问题。首先,如光源尺寸较大,将得不到对比度足够的条纹,使全息图难以记录。而如光源太小,虽然条纹对比度较好,但达不到减弱散斑的目的。因此,存在某种折中。本实验中  $L_2$  焦长为 135 mm,光源尺寸大约为 1 mm 时,可以达到兼顾二者的目的。其次,如参考束为任意曲率的发散球面波,可以发现定域面往往是倾斜角度很大的平面。这时难以记录与再现全息像。为了避免这个问题,我们取发散球面波的焦点与物体像到记录平面的距离大体相等。这就是说,两个曲率相近的球面波干涉,即使在使用扩展光源时,定域面也不会过分倾斜。

我们取贰分硬币作为试验物。图 4 为实验结果。作为对比,图 4(a) 为在相同光路下用相干光源记录,用白光源(显微镜灯)再现的彩虹全息像照片。图 4(b) 为用空间非相干光记录并用白光源再现的彩虹全息像照片。由此可见,相干光记录的彩虹全息像的散斑噪声十分明显,在某些区域几乎把信号淹没了。这主要是由于我们为了突出散斑效应,采用了小于 1 mm 的狭缝而引起的。我们注意到,由狭缝衍射造成的散斑在横方向上扩展。而在相同条件下,非相干光记录的彩虹全息图的噪声却大大减弱,再现的图像十分清晰。不过,图中仍可见到残留的散斑。显然,完全消除全息像的散斑是不可能的。因为这只有用完全非相

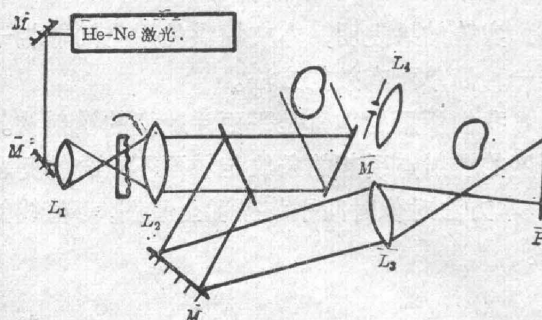
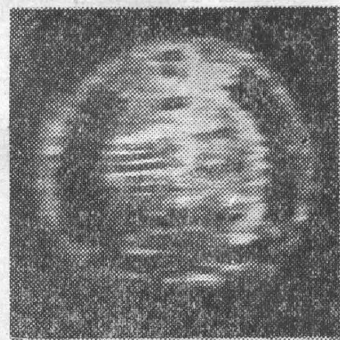
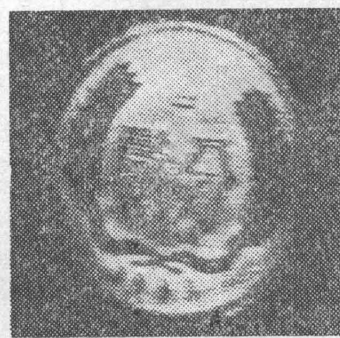


图 3 利用空间非相干光源的彩虹全息记录系统

Fig. 3 Rainbow hologram recording system using spatial incoherent light source



(a) reconstructed photograph of rainbow hologram recorded with coherent source



(b) reconstructed photograph of rainbow hologram recorded with spatial incoherent source

图 4 实验结果

Fig. 4 Experimental results

干光照明,这时也就无法记录全息图了。

## 四、讨 论

实验结果表明,本文提供的用空间非相干光记录彩虹全息图的技术对于减弱散斑噪声是一种简单而有效的方法。

我们所用的物体是平面浮雕型的漫射物。当记录深度较大的物体时,估计会遇到不同深度的漫射点引起的条纹定域面不重合的问题。这个问题有待于进一步研究解决。尽管如此,本方法对像时间平均振动全息图,等值线的产生以及双曝光法等全息干涉术可望得到应用。

## 参 考 文 献

- [1] S. A. Benton; *J. O. S. A.*, 1969, **59**, No. 11 (Nov), 1545.
- [2] H. Chen and F. T. S. Yu; *Opt. Lett.*, 1978, **2**, No. 2 (Feb), 85.
- [3] E. N. Leith and G. G. Yang; *Appl. Opt.*, 1981, **20**, No. 22 (Nov), 3819.
- [4] 羊国光,张静娟,左健;《光学学报》,1984, **4**, No. 5 (May), 419.
- [5] J. W. Goodman; *Opt. Commun.*, 1975, **13**, No. 3 (Mar), 244.

## Speckle reduction of rainbow hologram by incoherent holographic technique

YANG GUOGUANG ZUO JIAN AND ZHANG JINJUAN

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

(Received 3 April 1984; revised 21 May 1984)

## Abstract

An incoherent rainbow holography technique has been developed. We recorded rainbow hologram of a diffuse object with spatial incoherent light and reconstructed it with white light. The experimental results show that this method substantially suppresses the noise of hologram and improves the holographic image quality. Therefore, this is a simple and effective technique for speckle reduction.