

# 通过雾成像的全息技术的进一步研究

李在春 张以谟

(天津大学精密仪器工程系)

## 提 要

本文对运用通过雾成像的全息技术和光栅干涉技术作了一个简单的综述,旨在提高全息图衍射效率和相应,再现像信噪比的全息-滤波综合技术。讨论了物光波和参考光波都通过雾的情形及反射物体通过雾成像的全息技术,给出了相应的实验结果。

## 一、引 言

可见光波通过雾或混浊介质传播是一个长期存在并且涉及面很广的问题。在全息术出现以前,可以说这个问题没有什么方法可以获得令人满意地解决。

E. Spitz<sup>[1]</sup>和K. A. Stetson<sup>[2]</sup>在1967年, A. W. Lohmann<sup>[3]</sup>在1973年,先后对通过雾成像的全息技术进行了探讨和理论分析,提出了通过雾成像的全息术原理——多普勒频移理论, H. Schmalfuss等人在1976年和1978年<sup>[4,5]</sup>,分别采用离轴和同轴全息技术,辅之以电视接收系统,实现了通过雾成像的实时化(以TV速度,即30 f/sec)。至此,至少在实验室条件下,通过雾成像的全息技术是相当成功的。

在1977年, E. Leith和B. J. Chang首次提出<sup>[6]</sup>利用光栅干涉仪(双光栅或三光栅)实现通过雾或混浊介质成像。之后, B. J. Chang等<sup>[7]</sup>又对此进行了详细分析和实验。到1981年, A. M. Tai等<sup>[8]</sup>研究了以相干光通过雾成像的光栅干涉方法,并对非透明物体通过雾成像的情形进行了实验,获得了满意的实验结果。接着, A. M. Tai等<sup>[9]</sup>又提出了利用三光栅干涉仪和非相干光照明实现通过雾成像的理论。至此,也可以说光栅干涉技术用于通过雾成像也是非常成功的,而且该方法结构比较简单,对稳定性要求不象全息法那样高,还可以用非相干光源。但是,其灵敏度和信噪比却不如全息方法高<sup>[6,9]</sup>。

## 二、全息-滤波综合技术

应该指出,上节引述的方法有一个共同的缺点,即全息图\*上同时迭加着由散射光造成的很强的背景或黑底。从下面的讨论可以看出,这个黑底不但严重影响全息图的衍射效率,而且也会使全息再现像的信噪比(SNR)下降。

设未受到散射的物光波和平面参考光波(令后者不通过雾直接投射到全息记录平面上)的复振幅分别为 $U_0(x, y)$ 和 $U_R(x, y)$ ; 散射光波在曝光时间内的平均光强为 $S$ ,并假定记

收稿日期: 1985年11月13日; 收到修改稿期: 1986年1月23日

\* 光栅干涉法所接收的是一个干涉场,它所记录的实际上也是全息图。

录是线性的,则全息图的透过率为

$$\begin{aligned} T &\propto |U_0|^2 + |U_R|^2 + S + U_0 U_R^* + U_0^* U_R \\ &\approx |U_0|^2 + |U_R|^2 + S + 2|U_0 U_R| \cos(\varphi_0 - \varphi_R), \end{aligned} \quad (1)$$

式中,  $\varphi_0$ ,  $\varphi_R$  分别为物光波和参考光波的相位函数。由式(1)容易求得调制深度

$$m(x, y) = \frac{2|U_0 U_R|}{|U_0|^2 + |U_R|^2 + S}, \quad (2)$$

从上式可以明显看出, 散射光强  $S$  愈大, 调制深度  $m$  就愈小。由于全息图的衍射效率  $\eta$  和全息再现像的信噪比 SNR 均与  $m^2$  成正比, 故大量的散射光势必影响上节引述的方法的效果。

显然, 如能设法限制散射光, 就一定能相应地提高  $\eta$  和 SNR。而雾所具有的统计特性恰恰为此提供了可能性。

对于一般的雾或混浊介质, 由于其雾粒不停地进行着无规则的布朗运动, 故被雾散射的光波的空间频谱将具有各种空间频谱成分, 它们将分布于整个傅里叶频谱面上, 在通常的曝光时间内, 将被平均为均匀的(频谱)强度。而在平行光波照明下的物光波频谱则集中分布于频谱面中心附近。这样, 只要进行适当的滤波即可以减小附加在全息图上的背景或黑底。利用 Parseval 定理, 容易证明这一点。而且, 在一定的范围内, 只需进行适当的低通滤波即可使通过雾的图像质量得到一定程度的改善。我们的实验证明了这个结论。但是随着雾浓度的增大, 单纯的低通滤波方法的效果将随之减小。

由于适当的低通滤波能够限制散射光, 因此对通过雾的物光波先进行低通滤波, 再进行全息记录(即利用全息-滤波综合技术), 预计将能够获得优于单纯全息技术的再现像。

图 1 为基于上述思想设计的实验装置图。图中,  $M_1 \sim M_3$  为反射镜,  $BS$  为变比分光镜,  $CL_1$  和  $CL_2$  为准直装置,  $A$  为衰减板,  $O$  为输入物体,  $FOG$  为雾或混浊介质(此处为奶粉溶液或冰醋酸与硫代硫酸钠的混合液);  $IL$  为成像兼傅里叶变换透镜。为便于成像和滤波, 实验中选用的是焦距为 50 mm 的摄像机物镜;  $f^0$  为针孔滤波器(针孔直径为 1 mm)。记录介质  $H$  采用天津(I)型全息干板。

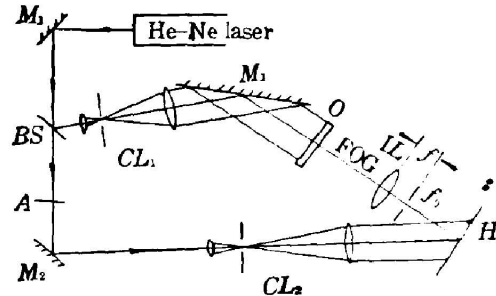


Fig. 1 Experimental setup for imaging through fog by using holographic filtering techniques

图 2 给出了输入为鉴别率板时, 通过雾的普通摄影方法与单纯的全息方法及全息-滤波方法相比较的实验结果照片。显然, 两种全息方法均远远优于普通摄影方法。又通过比较

图 2(c) 和 2(d), 可以看到后者较前者在 SNR 等方面有显著提高。而且, 从全息再现过程中可以发现, 由全息-滤波综合方法获得的全息图之衍射效率  $\eta$ (全息-滤波) 较  $\eta$ (单纯全息) 也有很大程度的提高, 这具有表现为前者的全息再现像要亮得多。

图 3 给出了全息-滤波综合技术的其他一些实验结果。其中图 3(a) 的鉴别率板通过冰醋酸与硫代硫酸钠的混合液的实验结果。值得一提的是, 由于“雾”很浓, 用了足足 30 min 才记录下这张全息图。但从该图中可以看到, 再现像还是相当清晰的。图 3(b)~(c) 的输入物体分别为具有连续灰度阶的人像和具有七个分立灰度阶的电视测试卡。实验结果

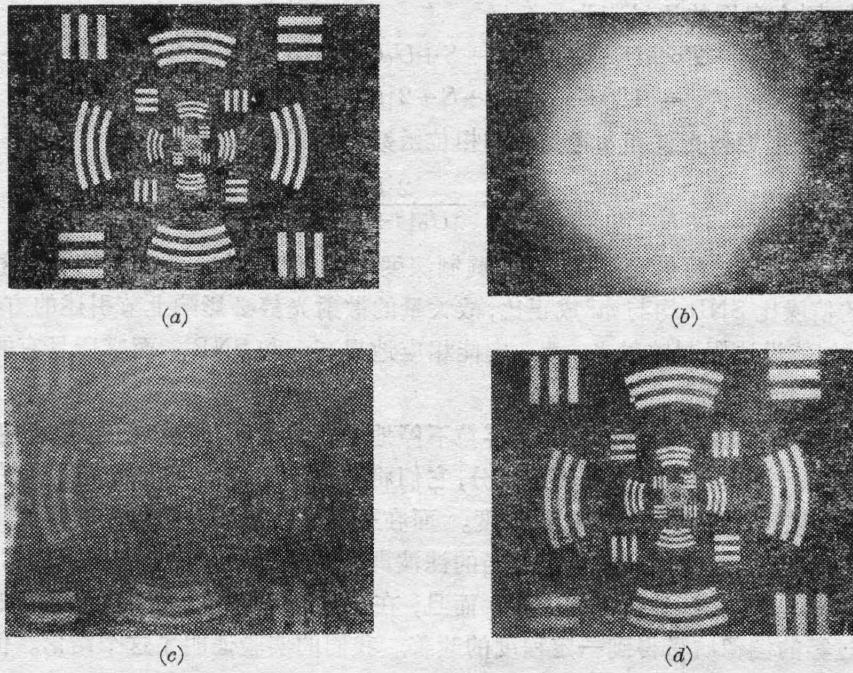


Fig. 2 Comparison between experimental results of the two holographic methods

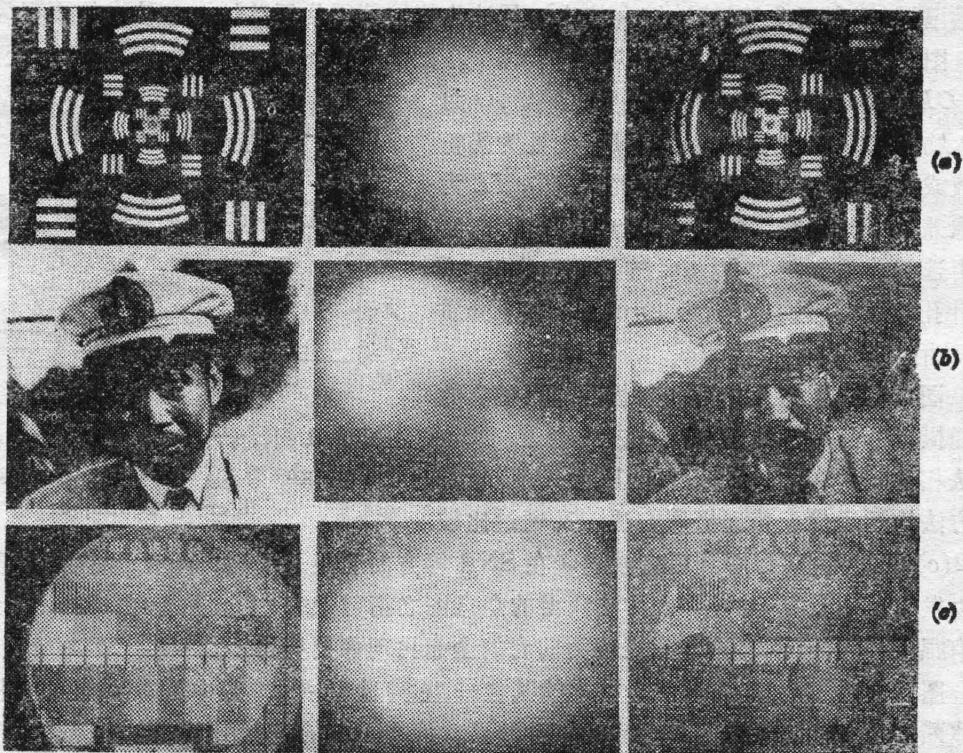


Fig. 3 Other experimental results obtained by holographic filtering techniques



表明,无论是只有两个灰度阶(透明和不透明),还是具有连续或分立灰度阶的物体,再现像都是令人满意的[图 3(b)的再现像中间有一黑线,是不小心将全息图夹裂所致]。上述三个输入物体依次分别采用直径为 0.8 mm, 1.5 mm 和 1.5 mm 的针孔滤波器滤波。

其中图 3b 和 3c 都是以奶粉溶液作为“雾”。

### 三、参考光也通过雾(一个实际问题)

前述讨论和实验,以及文献[1~5],都假定参考光波没有受到雾的干扰而直接入射至全息记录平面,同时,照明光也可以直接照明输入物体,这显然是不切实际的。

如果运用前述全息-滤波综合技术,即可解决这一问题。因为对于通过雾的参考光波同样可以进行低通滤波。而且由于参考光波一般为平面光波,所以基本不存在高频损失的问题,滤波更为方便。

图 4 即为物光波和参考光波都通过雾的实验光路装置图。由于所用 He-Ne 激光器输出功率有限,我们在物光路和参考光路中用了不同浓度的雾。物光路的雾较浓,而且照明光可以不受干扰地照明输入物体。雾由奶粉溶液模拟。针

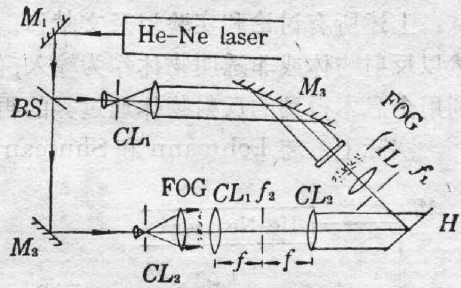


Fig. 4 Experimental setup for imaging through fog when both the object wave and reference wave are disturbed by fog

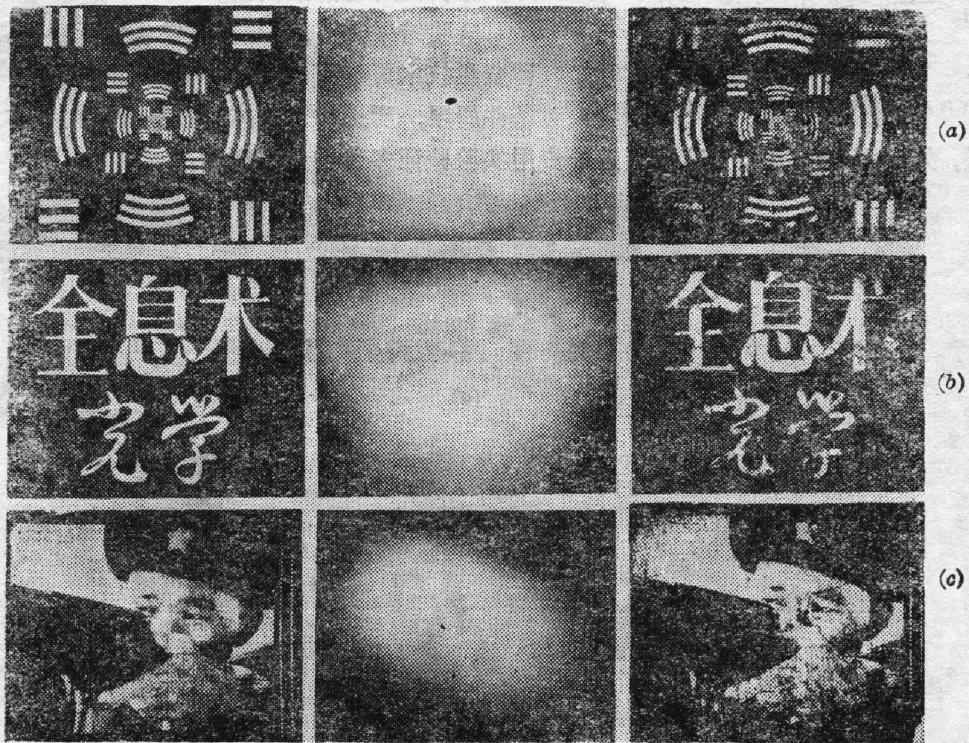


Fig. 5 Experimental results of imaging through fog when both the object wave and reference wave are disturbed by fog

孔滤波器( $f_1$ )的直径为1mm。成像物镜(IL)的焦距为50mm。

实验结果由图5给出。其中输入物体依次为(a)鉴别率板,(b)汉字及(c)人像。实验结果表明,尽管参考光也受到了雾的干扰,但全息再现像依然是令人满意的,即使对具有连续灰度阶的人像的再现像亦是如此。

这种方法之重要性在于,通过雾的全息术可望向实用的方向前进一步。

#### 四、反射物体通过雾成像

上述所有讨论和实验以及文献[1, 3~5]所涉及的输入物体都是透明物体。文献[2]虽然以反射物体或非透明物体作为输入,但没有给出实验结果照片,而且至今为止尚未见到利用全息术得到的反射物体通过雾的再现像。

实际上,将Lohmann和Shuman的多谱勒频移理论<sup>[8]</sup>中的输入透明片的复振幅透过

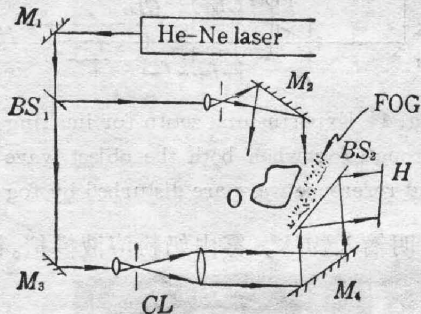


Fig. 6 Experimental setup for imaging a reflective object through fog

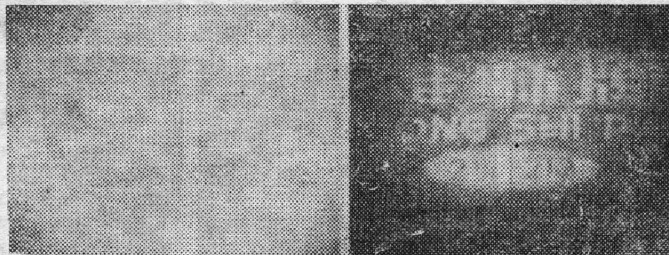
率换为反射物体的复振幅反射率,则该理论仍然成立。这样,全息术也可以用于反射物体通过雾成像。据此,并考虑到所用He-Ne激光器功率有限,我们选择了一个平均反射率较高的反射物体——印有商标的塑料平面作为输入,如图7(a)所示,进行了通过雾的实验。图6和图7分别为实验光路和结果照片。雾仍由奶粉溶液模拟。

实验结果表明,全息再现像远优于普通摄影像,即全息技术可以用于反射物体通过雾成像。但由于条件所限,所选输入物体恐不具备反射物体的普遍

性质,故对于反射物体,仍有待于进一步用实验验证多普勒频移理论。



(a)



(b)

(c)

Fig. 7 Experimental results of imaging a reflective object through fog

另外,在输入为反射物体的情形时,也存在大量无用散射光影响全息图衍射效率和再现像信噪比的问题。由于反射物体的傅里叶频的分布一般没有规律,或没有确定的分布中心,并且有可能分布在<sup>整个频谱面上</sup>,所以全息-滤波方法就不适用了,但并不排除一些特例。如何限制这种情况下的散射光,还有待于进一步的探讨和研究。

## 五、结 束 语

从上述讨论可以看出,对于透明物体,全息-滤波综合技术明显优于普通的全息技术,而且利用该方法还可以解决参考光也通过雾的较为实际的问题。由于它的特定条件,决定了它只适用于数据、图像传输型应用。我们还注意到,在全息再现像的信噪比和全息图的衍射效率有较大程度改善的同时,再现像的高频分量也有一定的损失。所以,进行滤波时应兼顾这两个方面。如果将该方法用于 H. Schmalfuss 等<sup>[4,5]</sup>的实时全息系统及 A. M. Tai 等<sup>[8]</sup>的光栅干涉系统,预期将能够改善(实时)再现像的质量。至于反射物体输入的情况,还有待于考虑如何消除散射光影响的问题。

## 参 考 文 献

- [1] E. Spitz; *C.R. Acad. Sc. Paris*, 1967, **264B**, No. 21 (May), 1449.
- [2] K. A. Stetson; *J. O. S. A.*, 1967, **57**, No. 8 (Aug), 1660.
- [3] A. W. Lohmann, C. A. Shuman; *Opt. Commun.*, 1973, **7**, No. 2 (Feb), 93.
- [4] H. Schmalfuss; *Opt. Commun.*, 1976, **17**, No. 3 (Jun), 245.
- [5] A. W. Lohmann, H. Schmalfuss; *Opt. Commun.*, 1978, **26**, No. 3 (Sep), 318.
- [6] E. Leith, B. J. Chang; *Opt. Commun.*, 1977, **23**, No. 2 (Nov), 217.
- [7] B. J. Chang, *et al.*; *Opt. Lett.*, 1979, **4**, No. 4 (Apr), 118.
- [8] A. M. Tai, *et al.*; *Appl. Opt.*, 1981, **20**, No. 14 (Jul), 2484.
- [9] A. M. Tai, C. C. Aleksoff; *Opt. Lett.*, 1981, **6**, No. 7 (Jul), 308.

## Further studies of holographic techniques for imaging through fog

LI ZAICHUN AND ZHANG YIMO

(Department of Precision Instruments Engineering, Tianjin University)

(Received 13 November 1985; revised 23 January 1986)

## Abstract

The holographic and grating interferometric techniques for imaging through fog are reviewed. The holographic filtering technique for imaging through fog presented here can increase diffraction efficiencies of holograms and SNR of corresponding holographic replicas. We have also considered the situation when the object wave and reference wave both penetrate fog and the situation when the input object is reflective. Corresponding experimental results are presented.