

激光散斑多重全息图

王应宗 许蓓蕾 刘淑敏 陈发堂 李树华

(陕西师范大学物理系 西安 710062)

提要 将激光散斑技术和全息技术相结合,提出了一种通过两步记录制作多重全息图的方法,详细地描述了实验方法,讨论了记录和再现过程的原理并进行了实验验证。

关键词 激光散斑,多重全息图,傅里叶变换

1 引言

多重全息图由于在数据存储、干涉度量、光学互联及相关、光学神经网络等领域有着广泛的应用前景而受到重视^[1]。目前所提出的各种记录方法,就其对记录介质的使用方式而言可分为空间多重和角度多重^[2,3]。空间多重是将多个光学图像信息分别存储在记录介质的空间相邻而互不重叠的区域。其典型的例子是傅里叶全息图阵列。这种空间多重全息图在使用上的不便在于再现时或者需要直接移动全息图或者需要用激光束扫描全息图。角度多重是在记录不同的光学图像信息时改变参考光的方向,对于厚的体积全息图可达到很高的存储密度。其不便在于目前尚没有商品化的记录介质,同时不同角度光信息的串扰仍是有待解决的问题。从长远的应用前景来看,无论是空间多重还是角度多重记录方法,都存在批量制作的技术困难。

本文提出一种通过两步记录实现的多重全息图。其特点是在第一步记录时对输入图像进行散斑调制,再现时按多通道方式^[4]提取所需光信息。再现时,记录介质和激光束不需作任何移动。在第一步记录完成后,第二步记录可重复进行,因而可进行批量制作。

2 激光散斑多重全息图的记录

激光散斑全息图的记录分两个步骤。第一步的光路设计如图1所示,它基本上是一个典型的傅里叶全息图记录光路。待记录透明片 O 和记录干版 H_1 分别置于傅里叶透镜 FL 的前后焦平面上。所不同的是,在待记录透明片前放置一块毛玻璃 G ,同时在干版前放置一个可移动光阑 P 。由于激光散斑对物的调制,物的傅里叶频谱被扩展到整个干版上。而光阑的作用使一个物的信息只记录在干版上一个特定的区域。当输入下一个透明片时,光阑将移动到与第一次曝光相邻而互不重叠的地方。这样依次更换透明片同时移动光阑,我们就得到一个空间多重的散斑全息图 H_1 。原则上,由它就可按需要再现出任一存储的图像。但每制作这样一个全息图,就要重复进行更换物和移动光阑分别曝光,批量生产是困难的。此外,由于散斑的孔径效应,直

接由这种全息图抽取的所需图像的像质比较低劣。为克服上述缺点,需进行第二步记录。

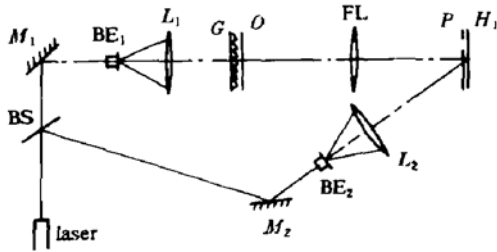


图 1 第一步记录光路

BS:分束镜; M_1, M_2 : 反射镜; BE_1, BE_2 : 扩束镜; G : 毛玻璃;
 O : 待记录透明片; FL: 傅里叶透镜; L_1, L_2 : 凸透镜; P : 光阑;
 H_1 : 全息记录干版 1

Fig. 1 Optical scheme for the first step recording

BS: beam splitter; M_1, M_2 : mirrors 1, 2; BE_1, BE_2 : beam expanders; G : ground glass; O : object; FL: Fourier transform lens; L_1, L_2 : lenses 1, 2; P : pupil; H_1 : holography plate 1

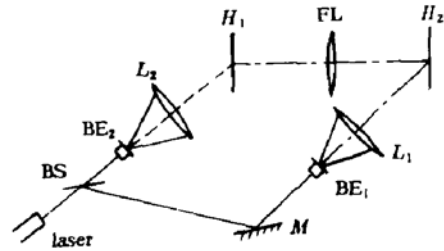


图 2 第二步记录光路

BS:分束镜; BE_1, BE_2 : 扩束镜; L_1, L_2 : 凸透镜; H_1 : 第一步记录所得多重全息图 H_1 ; FL: 傅里叶透镜; M : 反射镜; H_2 : 全息记录干版 2

Fig. 2 Optical scheme for the second step recording

BS: beam splitter; BE_1, BE_2 : beam expanders; L_1, L_2 : lenses 1, 2; H_1 : hologram 1 obtained in the first step; FL: Fourier transform lens; M : mirror; H_2 : holography plate 2

第二步记录的光路如图 2 所示。它与第一步记录的光路基本相同。区别是把第一次记录所得的空间多重全息图取代毛玻璃和透明片而作为输入的物信息。且要求照明物光束的方向与第一步记录时参考光的方向相同。按照光路 2, 只要制作好第一张全息图 H_1 , 就可方便地复制任意多个散斑多重全息图 H_2 。

为了便于理解这种两步法制作的散斑多重全息图的再现, 需要对记录过程作一扼要的数学描述。用 $S(x, y)$ 表示散斑的调制作用, 第一步记录时第 i 个输入图像的振幅透射率为 $O_i(x, y)$, 则在透镜 FL 的后焦平面上与第 i 个物相联系的频谱分布可表示为

$$\tilde{O}_i(f_x, f_y) \otimes \tilde{S}(f_x, f_y) \tag{1}$$

其中

$$f_x = x' / (\lambda_1 f_1) \tag{2}$$

$$f_y = y' / (\lambda_1 f_1) \tag{3}$$

x', y' 为 H_1 平面的空间坐标, λ_1 为第一次记录时采用的激光波长, f_1 为傅里叶透镜的焦距, \otimes 表示卷积运算, 而

$$\tilde{O}_i(f_x, f_y) = \mathcal{F}\{O_i(x, y)\} \tag{4}$$

$$\tilde{S}(f_x, f_y) = \mathcal{F}\{S(x, y)\} \tag{5}$$

用 $P(f_x, f_y)$ 表示 H_1 前光阑的孔径函数, 其定义为

$$P(f_x, f_y) = \begin{cases} 1 & \text{透光孔内} \\ 0 & \text{其它区域} \end{cases} \tag{6}$$

于是第 i 个输入对 H_1 的有效振幅贡献为

$$[\tilde{O}_i(f_x, f_y) \otimes \tilde{S}(f_x, f_y)] \cdot [P(f_x, f_y) \otimes \delta(f_x - f_{ox}, f_y - f_{oy})] \tag{7}$$

其中 f_{ox} 和 f_{oy} 表示光阑孔径坐标原点相对于傅里叶平面坐标原点的位置。事实上孔径既可平动也可转动, 为简单起见, (7) 式只表达平动情况。

设输入图像为 n 个, 注意到它们的信息被定域在傅里叶平面上互不重叠的区域, 总振幅贡

献可表示为

$$\sum_{i=1}^k [\bar{O}_i(f_x, f_y) \otimes \tilde{S}(f_x, f_y)] \cdot [P(f_x, f_y) \otimes \delta(f_x - f_{ox}, f_y - f_{oy})] \tag{8}$$

在第二步记录时, (8) 式表达的信息将从 H_1 再现出来。如忽略无关紧要的比例因子, (8) 式即可作为第二步记录时的输入, 于是它对光路 2 中 H_2 上的振幅贡献可表示为(8) 式的逆傅里叶变换, 即

$$\sum_{i=1}^k O_i(X, Y) S(X, Y) \otimes \tilde{P}(X, Y) \exp\{i2\pi(f_{ox}X + f_{oy}Y)\} \tag{9}$$

其中

$$X = - [\lambda_2 f_2 / (\lambda_1 f_1)] x' \tag{10}$$

$$Y = - [\lambda_2 f_2 / (\lambda_1 f_1)] y' \tag{11}$$

而 λ_2, f_2 分别表示第二步记录时采用的激光波长和傅里叶透镜焦距。在实验中为了简单, 选用的激光波长和透镜焦距不变, 则有

$$X = - x' \tag{12}$$

$$Y = - y' \tag{13}$$

从(9) 式可以看出, H_2 实际上是多个图像叠加的像平面全息图。有实质性区别的是每幅图像信息都进行了附加的位相编码, 并对其频谱带宽进行了定域。因而能够利用多通道系统, 通过对频域的操作有选择地把它再现出来。

3 散斑多重全息图的再现和实验结果

第二步制作的散斑多重全息图 H_2 可用图 3 所示的 $4f$ 系统再现。 H_2 作为系统的输入, 采用斜照明, 使(9) 式表达的再现波沿系统主光轴方向传播。在傅里叶平面上放置一个第一步记录时所用的光阑, 作为滤波器, 其位置与第 k 次曝光时光阑位置相同。由第二步的讨论可知, 透过光阑的有效振幅可表示为

$$P(f_x - f_{ox}, f_y - f_{oy}) \cdot \sum_{i=1}^k \{ [\bar{O}_i(f_x, f_y) \otimes \tilde{S}(f_x, f_y)] \cdot [P(f_x, f_y) \otimes \delta(f_x - f_{ox}, f_y - f_{oy})] \} \tag{14}$$

由孔径函数的定义可知, 当第 k 个存储信息全部通过光阑时, 其它信息被完全屏蔽。于是在输出平面上就仅存在第 k 个存储图片的再现像。

在我们的实验里, 用本文的方法将 8 个图像存储在同一张干版上。光阑设计为扇形, 可绕固定轴转动。图 4 展示了第二步制作的散斑多重全息图在 $4f$ 系统傅里叶平面上定域化的频谱分布。图 5 为再现时通过转动傅里叶平面处的光阑到一定位置时分别输出的图像(此处为节省版面只给出其中两幅)。

实验证明了所提出的方法原理的正确性。除了前面述及的优点之外, 本方法还克服了在使用薄记录介质时, 角度多重全息图存储数目因多次曝光而受到记录介质动态范围的限制。然而需要指出的是, 本方法存储数目的增大是以降低每幅再现像的强度为代价的。因而在采用时需把再现时照明激光的功率、每幅输出图像的强度要求和存储数目作综合考虑。

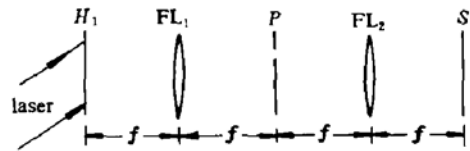


图 3 再现光学系统

H_2 : 第二步记录所得多重全息图 H_2 ; P : 光瞳; FL_1, FL_2 : 傅里叶透镜; S : 观察屏; f : 傅里叶透镜焦距

Fig. 3 Optical system for the reconstruction

H_2 : hologram 2 obtained in the second step; P : pupil; FL_1, FL_2 : Fourier transform lenses 1, 2; S : screen; f : focus

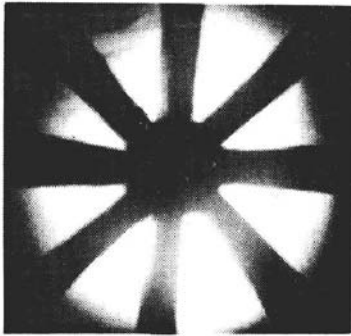


图 4 傅里叶平面上的频谱分布
Fig. 4 Spectrum in the Fourier plane

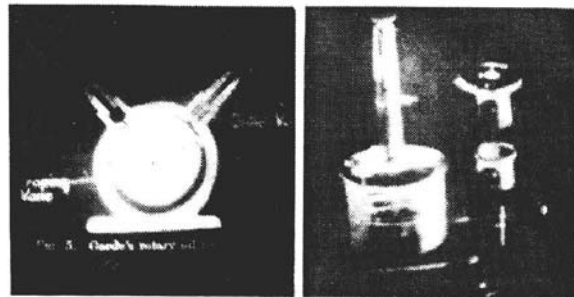


图 5 实验所得散斑多重全息图的两幅再现像
Fig. 5 Reconstruction images from the multiplex speckle hologram obtained in our experiment

参 考 文 献

- 1 H. J. Caulfield. Handbook of optical holography. New York : Academic press, Inc. , 1979, 191~197
- 2 S. Tao, D. R. Selviah, J. E. Midwinter. Spatioangular multiplexed storage of 750 holograms in an Fe : LiNbO₃ crystal. *Opt. Lett.* , 1993, 18(11) : 912
- 3 F. H. Mok, M. C. Tackitt, H. M. Stall. Storage of 500 high-resolution holograms in a LiNbO₃ crystal. *Opt. Lett.* , 1991, 16(8) : 605
- 4 王应宗. 散斑在光学信息处理中的应用. *应用光学*, 1984, 1 : 25

Laser Speckle Multiplex Hologram

Wang Yingzong Xu Beilei Liu Shuming Cheng Fatang Li Shuhua

(Department of Physics, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062)

Abstract A method for multiplex hologram made by two steps is presented based on the combination of the laser speckle technique and holography. The experimental method is described in detail and the principle for record and reconstruction is discussed. To prove the principle of the method, a successful experiment has been done.

Key words laser speckle, multiplex hologram, Fourier transformation