

# 利用傅里叶变换全息图实现 彩色胶片存储\*

张静方 王民草

(北京工业学院光学工程系)

## 提 要

本文提出一种利用傅里叶变换全息图存储彩色胶片的方法。在参考光路和透明片后置入采栅,以红、绿、蓝三种波长记录+1级谱的点全息图。当三色光分别照明各自的全息图时,可再现两个真彩色图像。

关键词: 存储; 傅里叶变换全息图; 色串扰; 空间多通道。

## 一、引 言

彩色胶片的原始染料会随着时间的推移逐渐褪色,因而发展了用黑白胶片存储彩色胶片的若干技术。全息法主要有 C. S. Ih 的平面全息图空间滤波法<sup>[1]</sup>和 F. T. S. Yu 等发展的一步彩虹法<sup>[2]</sup>。这些方法均通过多色光的衍射而不是靠染料来保存彩色的,是极为可靠的。

彩色胶片存储的关键是解决颜色串扰(color cross talk)的问题,过去的几种方法均属于空间滤波法。当用三原色波长重叠产生平面全息图时,干板上记录了三套方向相同、空间频率不同的光栅。原参考光再现时,三种波长共产生九个+1级衍射波,其中三色光对自身波长形成光栅的三个+1级衍射光波是同方向的。在物的频谱面放置空间滤波器,仅让这三个衍射波通过,可在像面得到真彩色图像。图1是这种方法的典型光路<sup>[1]</sup>。记录时全息干板  $H$  可以置于傅氏变换透镜  $L$  之后以减小记录面积,但为了使六个无用的+1级衍射波不通过空间滤波器  $S$ ,  $H$  必须离开后焦点  $F$  一段距离。一步彩虹法实现真彩色再现的实质是再现时九个狭缝像中位置重叠的三个原色狭缝像同样起到了空间滤波器的作用。

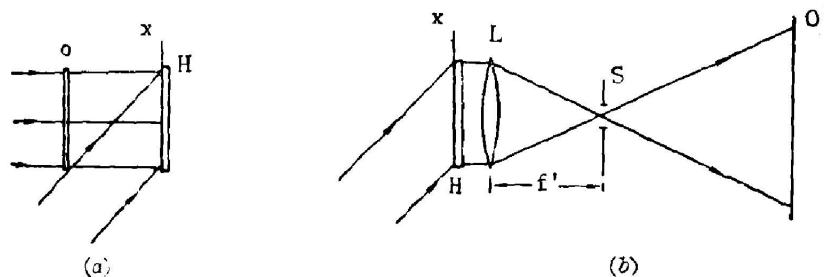


Fig. 1 Hologram recording and real color image reconstruction by spatial filtering

收稿日期: 1986年7月7日; 收到修改稿日期: 1987年5月29日

\* 本课题为国家自然科学基金资助的项目。

这里我们提出一种利用傅里叶变换全息图存储彩色胶片的方法。它的基本思想是记录时三个单色波长光波各自形成的全息图在空间分开,再现时三个波长分别只通过自身波长形成的光栅,整个过程不存在颜色串扰的问题。本方法既保持了傅叶里变换全息图存储密度大的特点,又由于记录的三个点全息图是空间分离的,从而避免了颜色串扰的问题。并且还可以由细的白光束经过光栅分光后再现全息图的彩色像。

## 二、原 理

记录光路如图 2(a) 所示。红、绿、蓝三色激光同时照明,参考光用未扩束的细光束,并在参考光路中引入一维相位光栅  $G_1$ 。透明片  $O$  后贴置与  $G_1$  同方向的一维相位光栅  $G_2$ , 当用三色平行光照明  $O$  和  $G_2$  时,光栅  $G_2$  在傅氏变换透镜  $L$  后焦面上的各级谱点均携带整个物频谱的信息。调整  $G_1$  到全息干板  $H$  的距离,使通过光栅  $G_1$  后的三色 +1 级参考光点和经光栅  $G_2$  在  $L$  后焦面上相同颜色的 +1 级物光谱点分别重合,然后同时曝光记录三个点全息图如图 2(b) 所示。

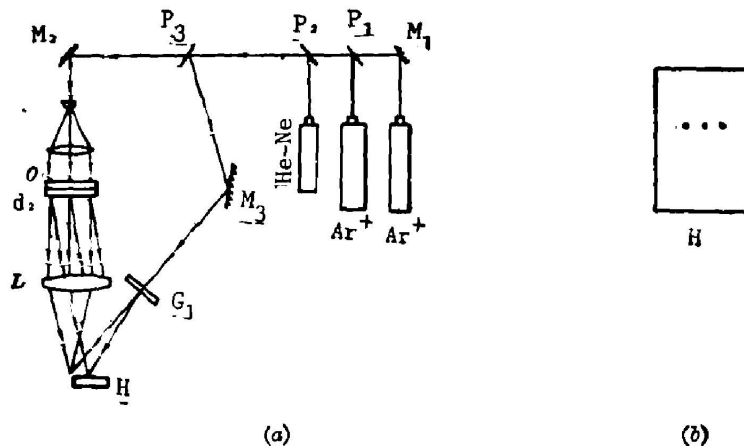


Fig. 2 Schematic of recording three Fourier transform holograms with red, green and blue laser beams

再现时将  $H$  置于原光路中,挡住物光,眼睛贴近点全息图,可分别看到红色、绿色、蓝色的虚像。若在  $H$  后两个实像的任一方向放置另一傅里叶变换透镜,可在后焦面上得到真彩色像。

由两次傅里叶变换,很容易得到再现像的位置和大小与记录、再现时波长的关系。设记录时的波长为  $\lambda_{i1}$ ,再现时的波长为  $\lambda_{i2}$  ( $i=1,2,3$ ),两个傅里叶变换透镜  $L_1$ 、 $L_2$  的焦距分别为  $f_1$  和  $f_2$ 。物平面、频谱面和像平面分别取坐标  $xy$ 、 $\xi\eta$  和  $x'y'$ 。正入射平面波照明时,透明片  $O$  的振幅透射系数为  $O_{i1}(x, y)$ 。由于本方法只记录相位光栅  $G_2$  的 +1 级谱点,故  $G_2$  的振幅透射系数可简化为:  $\exp\left(j2\pi \frac{\sin \alpha_{i1}}{\lambda_{i1}} x\right) = \exp\left(j2\pi \frac{x}{d}\right)$ 。其中  $d$  为  $G_2$  的光栅常数,  $\alpha_{i1}$  为正入射平面波经  $G_2$  后的 +1 级衍射角(图 3)。

记录时,谱面上对波长  $\lambda_{i1}$  的复振幅为:

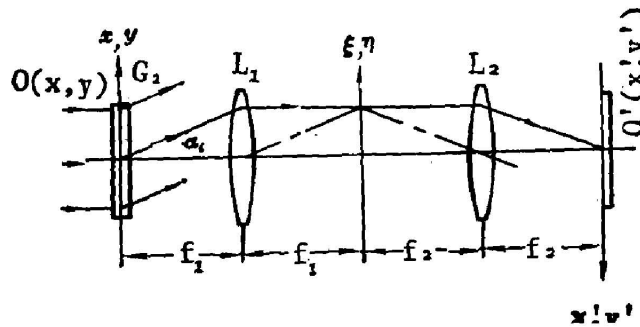


Fig. 3 Imaging process through Fourier transform at two times

$$O_i(\xi, \eta) = O_1 \int_{-\infty}^{\infty} O_{\text{oi}}(x, y) \exp\left(j2\pi \frac{\sin \alpha_{\text{oi}}}{\lambda_{\text{oi}}} x\right) \exp\left[-j \frac{2\pi}{\lambda_{\text{oi}} f_1} (\xi x + \eta y)\right] dx dy$$

$$= O_{\text{oi}}(\xi - f_1 \sin \alpha_{\text{oi}}, \eta) \quad (1)$$

其中  $O_{\text{oi}}(\xi, \eta)$  是  $O_{\text{oi}}(x, y)$  的傅氏变换。

再现时, 取像平面  $x'y'$  为反射坐标, 其上对波长  $\lambda_{\text{oi}}$  的复振幅为:

$$O_i(x', y') = O_2 \int_{-\infty}^{\infty} O_{\text{oi}}(\xi - f_1 \sin \alpha_{\text{oi}}, \eta) \exp\left[j \frac{2\pi}{\lambda_{\text{oi}} f_2} (x' \xi + y' \eta)\right] d\xi d\eta$$

$$= O_1 O_2 O_{\text{oi}}\left(\frac{\lambda_{\text{oi}} f_1}{\lambda_{\text{oi}} f_2} x', \frac{\lambda_{\text{oi}} f_1}{\lambda_{\text{oi}} f_2} y'\right) \exp\left(j2\pi \frac{\lambda_{\text{oi}} f_1}{\lambda_{\text{oi}} f_2} \frac{x'}{d}\right) \quad (2)$$

由于记录时红、绿、蓝三色光的点全息图是空间分离的, 再现时三个波长分别通过各自的点全息图, 也就是对每一个点全息图而言, 都有  $\lambda_{\text{oi}}/\lambda_{\text{oi}}=1$ 。因此三个点全息图在  $x'y'$  平面再现像的复振幅为:

$$O_i(x', y') = O_1 O_2 O_{\text{oi}}\left(\frac{f_1}{f_2} x', \frac{f_1}{f_2} y'\right) \exp\left(j2\pi \frac{f_1 x'}{f_2 d}\right) \quad (3)$$

再现像的光强为:

$$I_i(x', y') = \left| O_1 O_2 O_{\text{oi}}\left(\frac{f_1}{f_2} x', \frac{f_1}{f_2} y'\right) \right|^2 \quad (4)$$

这就保证了红、绿、蓝三个再现像的位置和放大率完全相同, 避免了颜色串扰即色模糊的问题。

### 三、实验与讨论

我们用南京电子管厂的  $\text{Ar}^+ - \text{Kr}^+$  激光器的红光 ( $\lambda = 647.1 \text{ nm}$ ) 和绿光 ( $\lambda = 546.1 \text{ nm}$ ) 做了彩色胶片的存储和再现的原理实验。其中光栅  $G_2$  的空间频率由傅氏变换透镜  $L_1$  的焦距、点全息图的直径及其相邻之间的距离所确定。选择的原则是一方面要使点全息图有足够的面积以便再现时得到高分辨率、高信噪比的图像。另一方面要保证三个点全息图恰好不互相重叠, 在避免颜色串扰的同时增加存储密度。采用相位光栅的优点是: 衍射效率高、对物光波的振幅没有调制和光栅本身在像平面不成像。傅里叶变换透镜  $L_1$ 、 $L_2$  则要求对红、绿、蓝三色光消色差。

实验中采用红敏的天津 I 型全息干板, 故对绿光适当增加了曝光量。为了使物光的各

个频谱成分均能与参考光的光强较好地匹配,采用了稀释显影的方法。

图 4(a)和(b)分别是红、绿激光再现像的黑白照片。原彩色胶片中三朵牡丹花是红色的,叶子是绿色的。图 5 是彩色再现像的黑白照片。直接观察再现像时,可看到红花绿叶。

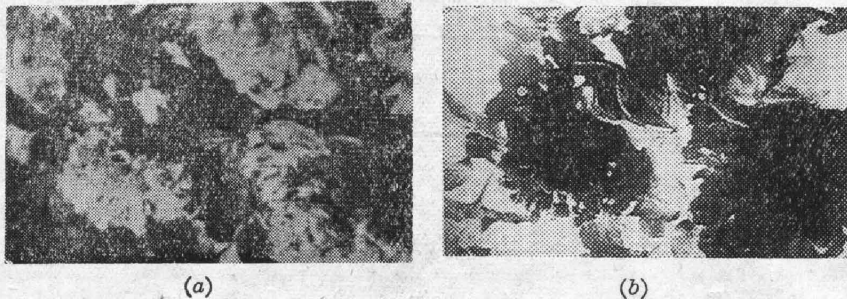


Fig. 4 Black and white photographs of images obtained by red (a) and blue (b) light respectively

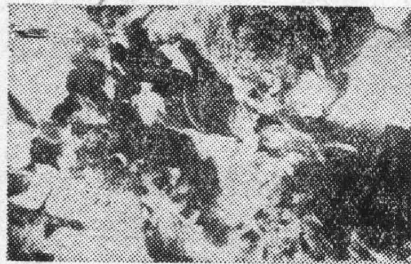


Fig. 5 Black and white photograph of image reconstructed by both red and blue light

对彩色胶片的存储,本方法对再现像的要求主要有两条:第一,每一个点全息图分别形成高质量的再现像。第二,彩色的真实再现。对于第一条,当采用合适的全息随机相移器、记录系统、全息底板和加工工艺时,可以用激光照明得到高分辨率、低噪声和高色调保真度的再现像。对于红光记录的黑白图像傅里叶变换全息图的再现像质量,我国已达到相当高的水平<sup>[3]</sup>。对于第二条,彩色恢复主要取决于三色光的光强、全息干板的光谱响应和三色点全息图的衍射效率。由于再现时,三色细光束分别通过相应的点全息图,因此可在各自的路径中插入所需的中性滤光片对再现像的色彩进行调整。由于现有的处理方法所得到的点全息图是红色的,不适合于绿、蓝色激光。因此找到对红、绿、蓝三色光记录的点全息图均合适的加工工艺正是我们下一步要做的工作。

#### 四、小 结

由 II 分析知,若用白光对透明片进行两次傅里叶变换成像,解决颜色串扰即色模糊的根本途径在于使不同时间频率的光在频谱面按各自的空间通道行进。反过来说,如果不同波长的光在频谱面上经过同一通道,则必然会发生颜色串扰,这正是为什么一般透射傅里叶变换全息图不能用白光再现的原因。

本方法通过三个波长形成的空间分离的傅里叶变换全息图实现了彩色胶片的存储。它具有存储密度大、记录时所需光能小、图像放大率可变、彩色易调的优点。但目前还需三色激光再现。

对于美文教授的有益讨论表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] C. S. Ih; *Appl. Opt.*, 1975, 14, No. 2 (Feb), 438~444.  
[2] F. T. S. Yu, A. M. Tai and H. Chen; *Opt. Engng.*, 1980, 19, No. 5 (Sept.-Oct.), 666~678.  
[3] 徐敏等;《北京工业大学学报》, 1983, 9, No. 1, 69~74。

## Archival storage of color films using Fourier transform holograms

ZHANG JINGFANG AND WANG MINZAO

(*Department of Engineering Optics, Beijing Institute of Technology*)

(Received 7 July 1986; revised 29 May 1987)

### Abstract

A method for storage of color films using Fourier transform holograms is presented. Three point-holograms are recorded with red, green and blue laser beams through two gratings, located in object beam and reference beam paths respectively. When the same color narrow beams illuminate their own holograms, two pure color images can be observed.

**Key words:** storage; Fourier transform hologram; colour cross-talk; spatial multiplexing.