

文章编号 : 0258-7025(2001)06-0559-03

假彩色编码分数傅里叶变换彩虹全息图^{*}

曾阳素^{1,2} 谢世伟¹ 张怡霄¹ 高福华¹ 郭永康¹

(¹ 四川大学物理系 成都 610064; ² 邵阳师专物理系 邵阳 422000)

提要 提出了假彩色编码分数傅里叶变换彩虹全息图,并对其再现像的位置、大小、编码色的设计进行了讨论。基于再现像的位置、大小与记录系统分数阶有关,其编码颜色既与狭缝位置又与记录系统和再现系统的分数阶有关的特性,可建立一种新的防伪全息术。

关键词 分数傅里叶变换全息图,假彩色编码全息图,防伪

中图分类号 TB 877 文献标识码 A

Pseudo Color Coding Fractional Fourier Transform Rainbow Hologram

ZENG Yang-su^{1,2} XIE Shi-wei¹ ZHANG Yi-xiao¹

GAO Fu-hua¹ GUO Yong-kang¹

(¹ Department of Physics, Sichuan University, Chengdu 610064
² Department of Physics, Shaoyang Teacher's College, Shaoyang 422000)

Abstract A pseudo color coding fractional Fourier transform rainbow hologram is presented in this paper. Based on its characteristics that the coding color relates not only to the position of slit, but also to the fractional order of recording and reconstruction system, a new anti-counterfeiting holography is established.

Key words fractional Fourier transform hologram (FRTH), pseudo color coding hologram, anti-counterfeiting

1 引言

近年来,由于模压全息产业的迅猛发展,假彩色编码彩虹全息图已获得相当广泛的应用。有很多方法可以实现假彩色编码^[1]。文献^[2,3]指出,利用光波经分数傅里叶变换(FRT)后在分数域上的场分布与分数阶有关的性质,可记录一种既包含物体信息又包含有系统参量信息的分数傅里叶变换全息图(FRTH)。在此基础上,本文进一步提出一种假彩色编码分数傅里叶变换彩虹全息图,并对其再现像的位置、大小、狭缝像的位置、间距、编码色与狭缝关系进行了讨论。这种全息图和普通的假彩色编码彩虹全息图不同,即其编码颜色既与狭缝有关,又与再现系统分数傅里叶变换阶数有关。它需要在特定的分数傅里叶变换系统中才能再现所记录的经编码的物体信息。利用假彩色编码分数傅里叶变换全息图再

现方式的特殊性和它的编码颜色与再现系统的分数阶有关的特性,可建立一种新的防伪全息术。

2 假彩色编码分数傅里叶变换全息图

分数傅里叶变换全息图是在分数傅里叶变换域上用全息方法记录下的物光波的分数傅里叶变换分布。对于 Lohmann I 型光学装置^[4],变换的输入及输出平面对称地分布在单透镜两侧。设物函数位于 $O(x_0, y_0, z_0)$ 处,参考光波 R 为方向角 θ 的平行光,根据 Lohmann 的定义和近轴条件,全息图平面 $H(x, y, \rho)$ 上的光场分布为

$$\alpha(x, y) = A_0 \exp\left(j\pi \frac{x_0^2 + y_0^2}{\lambda f \sin \phi \tan \phi} + j\pi \frac{x^2 + y^2 - 2x_0x - 2y_0y}{\lambda f \sin^2 \phi} \right) \quad (1)$$

$$R(x, y) = A_R \exp(-jkx \sin \theta) \quad (2)$$

其中 $\phi = P\pi/2$, P 为分数傅里叶变换的分数阶; f 为透镜的焦距。且透镜的焦距 f 与输入面到透镜的距离 z 应满足如下条件^[5]

* 国家自然科学基金(编号: 69907003)和四川大学青年基金资助项目。

$$\begin{cases} f = f_1/\sin(P\pi/2) \\ z = f_1\tan(P\pi/4) \end{cases} \quad (3)$$

$f_1 = f\sin\phi$ 称为标准焦距。

摄制假彩色编码分数傅里叶变换彩虹全息图的记录和再现光路如图 1(a)(b) 所示。

记录过程中,在变换透镜 L_1 和输出面 x_1 之间加入双狭缝或多缝 S ,将全息干版置于 L_1 的输出面。用平行参考光入射,在全息干版上将同时记录下物

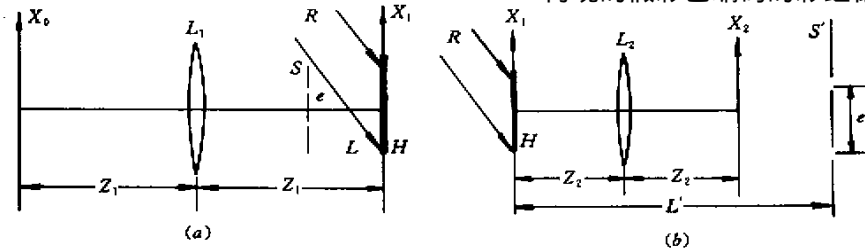


图 1 分数傅里叶变换彩虹全息图的记录和再现

Fig.1 Recording and reconstruction of FRTRH

3 假彩色编码 FRTH 再现像的位置、大小及编码色的设计

当用平行光照明再现时,即由原参考光照明全息图,将再现出物光波的 P_1 阶分数傅里叶变换光场,再经一距离为 d 的菲涅耳衍射,可得到物体的再现像。

计算可得再现像的中心坐标为

$$\begin{cases} x = \frac{x_0}{\cos\phi_1} - f\sin\phi_1\tan\phi_1\sin\theta \\ y = \frac{y_0}{\cos\phi_1} \\ z = \pm f\sin\phi_1\tan\phi_1 \end{cases} \quad (4)$$

即两再现像(原始像与共轭像)对称地分布于全息图两侧。

再现像的放大率为

横向放大率: $\beta = \frac{1}{\cos\phi_1}$

纵向放大率: $\alpha = \pm \left[1 - \tan^2\left(\frac{\phi_1}{2}\right) \right]^{-1} \quad (5)$

由(4)与(5)式可以看出,再现像的位置、大小均与 FRT 的阶数密切相关,因而可以通过改变记录系统的分数阶来灵活地控制再现像的空间尺度大小,这是普通的菲涅耳全息图难以实现的。

根据多狭缝假彩色编码原理^[6,7],编码颜色由

体的分数傅里叶变换和狭缝的全息图(图 1(a)),再现过程中,若由沿原参考光方向的白光照明全息图(图 1(b)),直接观察再现光波,由于色模糊,将无法观察到所记录的图像信息。若让再现光波再经一与记录时分数傅里叶变换阶 P_1 相匹配的 P_2 阶的另一分数傅里叶变换系统后,在再现系统的输出面 x_2 上获得原物体的光场分布。而在距全息图 L' 处形成狭缝 S 的实像 S' ,观察者在狭缝实像后可观察到物体再现的假彩色编码的彩虹像。

狭缝到全息图的距离和狭缝之间的距离决定,同理可以写出分数傅里叶变换彩虹全息图的多狭缝假彩色编码公式为

$$e = \frac{\Delta\lambda}{\Delta\lambda + \lambda} L \cdot \tan\theta \quad (6)$$

其中, θ 为物参光夹角, e 为记录时两狭缝的间距, L 为狭缝到全息图的距离, $\Delta\lambda$ 为物体不同部分的波长差, λ 为波长。设 e' 为两狭缝实像的间距, L' 为狭缝实像到全息图的距离,则由透镜成像公式及式(3)可得

$$L' = \frac{Lf + (1 - \cos\phi_1) [f^2(1 - \cos\phi_2) + Lf]}{L - f\cos\phi_1} \quad (7)$$

$$e' = \frac{f}{L - f\cos\phi_1} \cdot e \quad (8)$$

其中 $\phi_1 = P_1\pi/2$, $\phi_2 = P_2\pi/2$, P_1, P_2 为分数阶。 e', L' 不仅与记录时狭缝的位置及它们之间的距离有关,而且都与再现系统的分数傅里叶变换阶数密切相关。鉴于用白光再现时,眼睛在狭缝像重叠的区域上观察,可看到再现像的不同部分具有不同颜色。因此在拍摄 FRTH 时,通常可以事先设计再现像各部分的颜色,确定相应的狭缝位置,然后再根据式(6)~(8)计算出拍摄光路中狭缝应取的相对位置和记录系统的分数阶。由此可知,对于确定的记录系统,只有在特定的分数傅里叶变换再现系统中,才能再现出所设计的编码颜色。

4 实 验

图 2 所记录的物体为一把钥匙。记录所用参数为:透镜焦距 $f = 200 \text{ mm}$, 光波长 $\lambda = 632.8 \text{ nm}$, 缝宽 $b = 2 \text{ mm}$, 缝距 $e = 10 \text{ mm}$, 双缝到全息图的距离 $L = 160 \text{ mm}$ 。图 2(a) 是直接由原参考光白光再现的结果, 无法直接读出所记录的信息。图 2(b) 中, 记录和再现系统的分数阶为: $P_1 = 1.5$, $P_2 = 0.5$, 再现结果

是: 钥匙左绿右红, 图中不同的灰度代表不同的颜色。图 2(c) 中, $P_1 = 1.25$, $P_2 = 0.75$, 再现结果是: 钥匙左橙右绿, 图中不同的灰度代表不同的颜色。从图 2(b), (c) 可以看出, 对同一物体若用不同分数阶的变换系统记录, 在其相匹配的变换系统中再现时, 输出面上所再现的编码颜色的分布是不一样的。

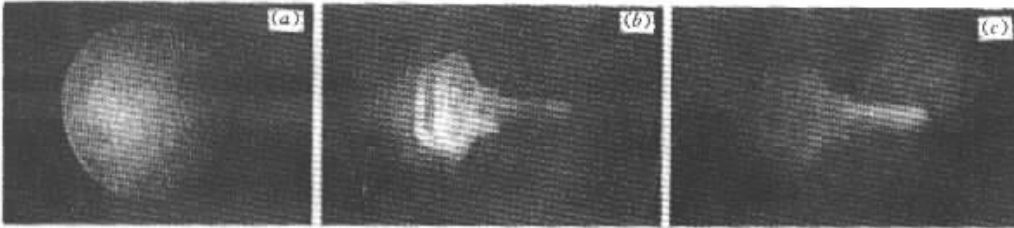


图 2 分数傅里叶变换彩虹全息图的再现结果

Fig.2 Reconstruction results of FRTRH

根据分数傅里叶变换编码彩虹全息图的这一特性, 可将它用于防伪。由于这种全息图不仅用狭缝的参数, 而且用再现系统的分数阶对全息图进行了编码, 因此, 可根据是否能在特定分数傅里叶变换系统中再现所记录的经颜色编码的图像信息, 判定全息图的真伪。只要对记录全息图的系统参数加以保密, 则很难制作相同的编码全息图, 从而无法在特定的再现系统中观察到设计的编码颜色。分数傅里叶变换彩虹全息图不仅记录了系统的信息作为防伪的自由度, 而且又增加了狭缝的参量作为新的防伪自由度。因此这种编码彩虹全息图具有更高的防伪力度, 同时还可将它和一般的彩虹全息图合成的二重全息图做成模压全息图, 可广泛用于货币、证件、商标的制作中。

参 考 文 献

1 Yu Meiwen. Optical Holography and Its Applications. Beijing:

Publishing House of Beijing Institute of Technology, 1996. 458 ~ 467 (in Chinese)

- 2 Guo Yongkang, Huang Qizhong, Du Jinlei. Fractional Fourier transform hologram and its application in anti-counterfeiting. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1999, **19**(6): 821 ~ 825 (in Chinese)
- 3 Huang Qizhong. Study on New Methods of Holographic Anti-counterfeiting and Waveguided Holography. Doctoral Thesis. 1999.5. 69 ~ 73 (in Chinese)
- 4 A. W. Lohmann. Image rotation, wigner rotation, and the fractional Fourier transform. *J. Opt. Soc. Am. A*, 1993, **10**(10) 2181 ~ 2186
- 5 R. G. Dorsch, A. W. Lohmann. Fractional Fourier transform used for a lens design problem. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(20): 4111 ~ 4112
- 6 Li Yunzhong, Dong Xiaoyi. Experiments of Modern Optics. Tianjin: Publishing House of Nankai University, 1991. 221 ~ 222 (in Chinese)
- 7 Zhang Jingfang. The color design and recording method of embossing holograms. *Opt. Technol.* (光学技术), 1994, **2**(2) 22 ~ 29 (in Chinese)