

用傅里叶频谱的偏振滤波作白光 图像处理系统中的立体投影

母 国 光*

(南开大学物理系)

蒋建国 刘华光

(Department of Electrical Engineering, University of Alabama)

提 要

本文提供了一个用白光图像处理系统作立体投影的新方法,它包括将两张立体透明图像编码在一张感光片上和和白光图像处理系统的傅里叶频谱平面上采用偏振滤波的新技术。与一般传统的立体投影技术相比较,它可节省拷贝片一倍,并且只用一个投影光学系统。

一、引 言

在摄影技术中,一般可认为有两种方法所提供的图像能使观察者获得立体视觉。一种是全息照相术^[1],另一种是传统的立体投影术^[2]。在全息照相中,虽然已周知由于它能再现波前从而使观察者获得三维的图像,但是在作全息照相时,必需用一个或一个以上的相干光源和合适的防震台,这样就不能避免相干噪声,被拍摄景物的大小和范围也有一定的限制,对自然景物尤其难于表现其自然的彩色,因而全息照相在这方面的实际应用上受到很大的限制。而一般传统的立体投影,虽然其体视的效果有方向性的局限,但是它不需要相干光源,无相干噪声,且便于拍摄任意大小的和任意范围的彩色自然景物,所以直至今日,它在立体电影和立体幻灯方面仍保持其重要的应用。

在所谓传统的立体投影中,如图1所示,总是用加上正交偏振片的两个光学投影器分别将由立体照相机拍摄下来的与左、右眼对应的两张透明图片投映在同一张银幕上,一个图像是由偏振平面在水平方向上的偏振光造成的,另一个图像是由偏振平面在垂直方向上的偏振光造成的。如果观察者不戴正交偏振片制成的眼镜而直接去观看,则所看到的是由两个重叠在一起的图像构成的模糊的图像。如果观察者戴上合适的正交偏振片的眼镜,左、右眼分别看到,不同偏振光造成的图像,则可产生明显的立体感。

本文提供一个用白光图像处理系统^[3~5]作立体投影的新方法,它包括将两张立体透明图像编码在一张感光片上和在白光图像处理系统的傅里叶频谱平面上引用偏振滤波的新技术。与一般传统的立体投影技术相比较,它可以节省拷贝片一倍并且只用一个投影光学系统。

收稿日期: 1981年3月12日

* 赴美国阿拉巴马大学电机系访问研究。

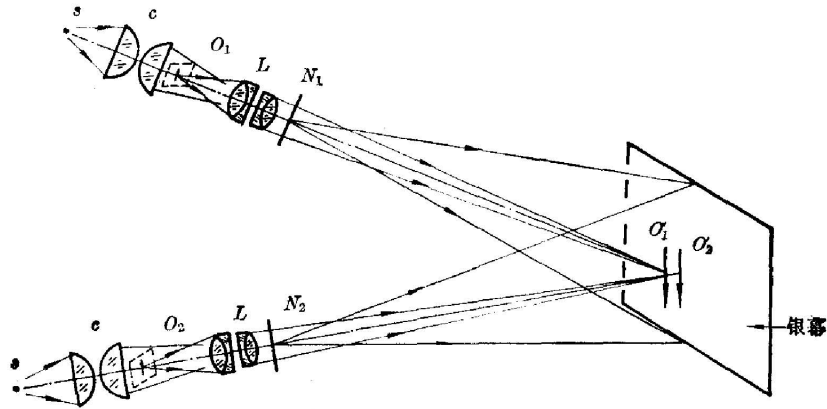


图 1 一般的立体投影的光学系统

S—白光光源, C—聚光镜, O_1 和 O_2 —付立体幻灯片, L—投影物镜, O'_1 和 O'_2 —经过偏振片 N_1 和 N_2 后的 O_1 和 O_2 的像, N_1 和 N_2 —偏振面相互垂直的两个偏振片

Fig. 1 Conventional stereoprojection system

S, white-light source; C, condenser; O_1 and O_2 ; a pair of stereoscopically transparencies; L, projection lens; O'_1 and O'_2 , polarized images of O_1 and O_2 ; N_1 and N_2 , polarizers ($N_1 \perp N_2$)

二、空间 编 码

利用作者在另一文章^[6]中所述的编码方法, 将由立体相机拍摄的两张透明图像相继编码在同一张感光片上(黑白片编码在黑白感光片上, 彩色片编码在彩色感光片上), 如图 2 所示。为了避免两次编码中容易产生的莫尔条纹, 相继编码光栅间的角度宜采用 90° 。

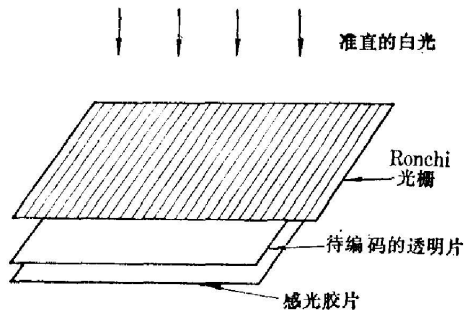


图 2 编码过程示意图

Fig. 2 The encoding process

编码后的感光板经显影后, 其光强透过率分布可由下式表示

$$T_n(x, y) = k_1 \{ T_{01}(x, y) [1 + \text{sgn}(\cos P_0 x)] + T_{02}(x, y) [1 + \text{sgn}(\cos P_0 y)] \}^{-\gamma_1}, \quad (1)$$

其中

$$\text{sgn}(\cos P_0 x) \triangleq \begin{cases} 1, & \cos(P_0 x) \geq 0; \\ -1, & \cos(P_0 x) < 0. \end{cases} \quad (2)$$

P_0 是所用 Ronchi 栅的空间频率, 即采样频率; T_{01} , T_{02} 是被编码的两张立体透明片的光强透过率; γ_1 是所用感光板的伽玛值; (x, y) 是定位在感光板上的座标; k_1 是一个比例常数。

将(1)式所代表的负片用密着复印法做成透明正片, 其透过率分布可写成

$$T_p(x, y) = k_2 \{ T_{01}(x, y) [1 + \text{sgn}(\cos P_0 x)] + T_{02}(x, y) [1 + \text{sgn}(\cos P_0 y)] \}^{-\gamma_2}, \quad (3)$$

其中 k_2 是另一比例常数, γ_2 是复印成正片时所用感光板的伽玛值。

如果在上述编码过程中, 能使 $-\gamma_1 \gamma_2 = 2$, 则所得正片的振幅透过率为

$$t_p(x, y) = k \{ T_{01}(x, y) [1 + \text{sgn}(\cos P_0 x)] + T_{02}(x, y) [1 + \text{sgn}(\cos P_0 y)] \}, \quad (4)$$

其中 $k = \sqrt{k_2}$ 。

我们将由此式所表示的一张编码透明正片放置在如图 3 所示的白光图像处理系统的输入平面 P_1 上, 于是在其傅里叶频谱平面 P_2 上得到

$$E(p, q, \lambda) = c \iint t_p(x, y) \exp[-i(px + qy)] dx dy, \quad (5)$$

其中 c 为一常数。

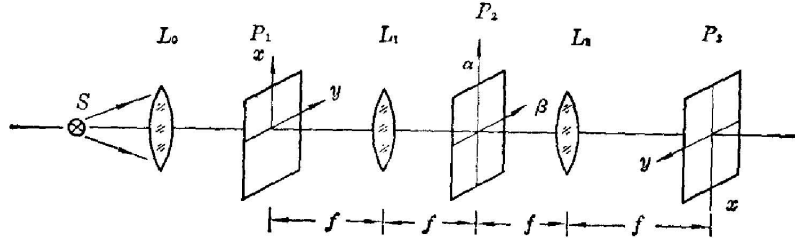


图 3 一个白光立体投影系统

P_1 —输入平面, L_1 和 L_2 —傅里叶变换透镜, P_2 —傅里叶频谱平面, P_3 —输出平面

Fig. 3 White-light stereoprojection system

P_1 —input plane; L_1 and L_2 —Fourier lenses; P_2 —Fourier plane; P_3 —output plane

对于某一给定波长 λ , 由(5)式可得

$$E(p, q, \lambda) = T_{01}(p, q) + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} a_n T_{01}(p \pm np_0, q) + T_{02}(p, q) + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} a_n T_{02}(p, q \pm np_0). \quad (6)$$

其中 $T_{01}(p, q)$ 和 $T_{02}(p, q)$ 是 $T_{01}(x, y)$ 和 $T_{02}(x, y)$ 的傅里叶变换, a_n 是傅里叶级数的系数; 此外

$$p = \frac{2\pi}{\lambda f} \alpha, \quad q = \frac{2\pi}{\lambda f} \beta, \quad (7)$$

其中 (α, β) 是傅里叶平面的座标, f 是所用变换透镜的焦距。

(6)式亦可改写为

$$E(\alpha, \beta, \lambda) = T_{01}\left(\frac{2\pi}{\lambda f} \alpha, \frac{2\pi}{\lambda f} \beta\right) + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} a_n T_{01}\left(\frac{2\pi}{\lambda f} \alpha \pm np_0, \frac{2\pi}{\lambda f} \beta\right) + T_{02}\left(\frac{2\pi}{\lambda f} \alpha, \frac{2\pi}{\lambda f} \beta\right) + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} a_n T_{02} \times \left(\frac{2\pi}{\lambda f} \alpha, \frac{2\pi}{\lambda f} \beta \pm np_0\right). \quad (8)$$

这就是以(4)式所代表的透明正片为输入时在白光处理系统的傅里叶平面 P_2 上得到的该两张立体透明片的频谱, 它们分别分布在 α 轴和 α' 轴(即 β 轴)方向上, 而且呈线性色散开的彩虹斑, 如图 4 所示。

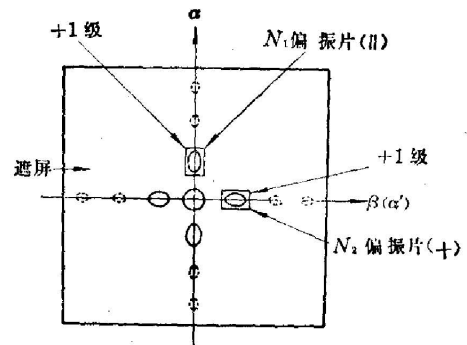


图 4 傅里叶频谱的空间滤波和偏振滤波

Fig. 4 Fourier spectrum spatial filtering and polarization

三、偏振滤波

在白光图像处理系统的傅里叶平面上,作振幅滤波、位相滤波、反向滤波、匹配滤波以及彩色滤波等已有许多报导,唯偏振滤波尚未见提及。我们在下面引入偏振新技术并以其效果来实现白光图像处理系统的立体投影。

我们让分布在 α 轴和 β 轴上的各自第一级谱中的一个谱项分别通过偏振片 N_1 和偏振片 N_2 ,如图4所示。设 N_1 的偏振平面平行于纸面, N_2 的偏振平面垂直于纸面,两者的偏振平面互相垂直(记成 $N_1 \perp N_2$)。于是在白光图像处理系统的输出平面 P_3 上,我们得到的光强度分布是

$$I(x, y) = [KT_{01}^2(x, y)]_{\parallel} + [K'T_{02}^2(x, y)]_{\perp}, \quad (9)$$

其中符号 \parallel 和 \perp 分别代表偏振面平行于纸面的和偏振面垂直于纸面的偏振光; K 和 K' 是两个比例常数。

这样,在输出平面 P_3 上,我们得到了由偏振平面互相垂直的两个偏振光构成的两个图像,所以用眼睛直接来看,得到的是一个模糊的图像。

设(9)式中的第一项代表立体相机拍摄的左眼看到的图像,第二项代表立体相机拍摄的右眼看到的图像。于是,如果观察者戴上一副由偏振片制成的眼镜,左眼通过偏振面平行于纸面的偏振片 $N'_1(N'_1 \parallel N_1)$ 的镜片去看,右眼通过偏振面垂直于纸面的偏振片 $N'_2(N'_2 \parallel N_2)$ 的镜片去看,则可同时看清楚两幅图像,从而获得立体视感,这个方式与看立体电影一样。

四、实验及结果

为简便计,这里所述的实验仅限于处理黑白的透明图像,虽然对彩色透明图像上述原理同样有效。

我们选取一对如图5所示的能产生立体视觉的透明图像,并将它们用Ronchi光栅编码在一张感光片上;所用的感光片是Kodak 4147正片^[9],因它有合适的低伽玛值(± 0.8)并且在较广的光谱区有相当平的光谱灵敏度曲线。将负片复印成正片用的是Kodak 4155 Contrast process ortho感光片^[9],它的伽玛值约为2.2~2.3。两感光片伽玛值乘积($-\gamma_1\gamma_2$)等于2,这样就保证了所得正透明片是线性的,如图6(a)所示。



图5 一对立体透明图的照片

Fig. 5 Photographs of a pair of stereoscopically coupled transparencies

将如图 6(a) 所示的编码透明片放置在白光图像处理系统的输入平面 P_1 上, 则在傅里叶频谱平面 P_2 得到了沿 α 轴方向和 β 轴方向分布的线性色散开的频谱彩虹斑。让 α 轴方向的 +1 级谱项通过并且令它通过偏振片 N_1 , 同时让 β 轴方向的 +1 级谱项通过并且令它通过偏振片 N_2 (其余各级谱项都遮住)。调整偏振片 N_1 和 N_2 的取向, 使它们的偏振平面准确地成 90° 。



图 6 (a) 编码后的透明片; (b) 白光处理系统输出平面上的图像
Fig. 6 (a) Photograph of the encoded film; (b) Photograph of the image at the output plane of the white-light image processor

于是, 经过消色差的傅里叶透镜 L_2 之后, 便在系统的输出平面 P_3 上得到一个由 (9) 式表示的模糊图像, 如图 6(b) 所示。

为了模拟戴正交型偏振片眼镜的眼睛, 我们在平面 P_3 的图像后面放置另一枚偏振片 N'_1 (令 N'_1 的偏振平面平行于 N_1 , $N'_1 \parallel N_1$) 以代表观察者的左眼; 将偏振片 N'_1 换成偏振平面平行于 N_2 的另一枚偏振片 N'_2 来代表右眼, 在这种情况下, 相继拍得两幅照片, 如图 7 所示。我们这样做, 完全是为了能在文章中展示给读者看, 而实际上, 我们戴上正交型偏振片眼镜, 在透视方向的合适位置上, 可以很容易地获得与原立体照片所显示的一样的立体感。



图 7 在白光处理系统输出平面后分别放置偏振片 N'_1 和 N'_2 所拍摄的照片
Fig. 7 Photographs of the image at the output plane of the white-light image processor taken respectively through polarizers N'_1 and N'_2

虽然我们实验中所用的镜头 L_1 和 L_2 并不是合乎要求的傅里叶变换镜头, 所用的偏振片的质地也欠佳, 然而, 还是得到了相当满意的结果。

我们注意到这种方法由于没有利用零级, 光能中有相当大的部分没有利用。这是有待进一步研究解决的问题。但是如果为某些特殊的需要, 光能利用率不是主要问题的话, 这种方法的应用应该是有价值的。

五、结 束 语

我们提供了一个用白光图像处理系统作立体投影的新技术,实验与理论相符,特别是其中引进了一个傅里叶频谱偏振滤波的新方法。一个白光图像处理系统代替了传统的立体投影术中所用的两个投影仪,一张编码透明片代替了本来需要的两张透明片,从而节省了投影系统所需要的光源和光学元件以及作为拷贝用的感光胶片。

如果采用空间频率够高的 Ronchi 光栅来编码,图像的分辨率将不会有多少损失;如果所用的编码光栅具有 +1 级衍射加强的性能的话,系统的光能利用率也会有显著地提高。

最后我们谨向与我们作过有益讨论的杨振寰(F. T. S. Yu)教授和庄松林先生表示感谢。

此外,作者对阿拉巴马大学的工学院,公共卫生学院及校长办公室的资助表示感谢。

参 考 文 献

- [1] E. N. Leith, J. Upatnieks; *J. O. S. A.*, 1964, **54**, No. 11 (Nov), 1295. R. J. Collier, C. B. Burckhard *et al.*; *Optical Holography* (Academic Press, New York, London, 1971), 197.
- [2] N. A. Valyus; *«Stereoscopy»* (Focal New York, 1966), 242.
- [3] P. F. Mueller; *Appl. Opt.*, 1969, **8**, No. 10 (Oct), 2051.
- [4] F. T. S. Yu; *Appl. Opt.*, 1980, **19**, No. 12 (Dec), 2457.
- [5] 杨振寰,庄松林,母国光;《光学学报》,1981, **1**, No. 1 (Jan), 13.
- [6] F. T. S. Yu, G. G. Mu, S. L. Zhaung; *Optik*(待发表).
- [7] 杨振寰,母国光,庄松林;《物理学报》,(待发表)
- [8] T. H. Chao, S. L. Zhaung *et al.*; *Opt. Lett.*, 1980, **5**, No. 6 (Jun), 230.
- [9] Kadar Professional black-and-white films, Kadar published, No. F-5, (1930).

White-light stereoprojection through Fourier spectrum polarization

MU GUOQUANG*

(Department of Physics, Nankai University, Tianjin)

C. K. CHIANG AND H. K. LIU

(Department of Electrical Engineering, University of Alabama)

(Received 12 March 1981)

Abstract

Theory and experiments of a new stereoprojection technique that uses a white-light optical image processing system are described. The stereoprojection can be accomplished in two steps: (1) Spatial encoding of stereoscopically-coupled images, and (2) spatial polarization filtering at the Fourier plane in a white-light optical image processor. Comparing with existing stereoprojection methods, the present technique requires only one projector and a single piece of encoded film, therefore it is much simpler and more economical for practical applications.

From the point of view of optical filtering at the Fourier plane, the polarization concept is new. If the spatial frequency of the Ronchi grating used in the encoding is high enough, there should be little loss in picture resolution.

国家科委光学及应用光学学科组基础光学分组成立大会

国家科委光学及应用光学学科组基础光学分组成立大会于1981年7月5日到7月11日在昆明市召开。出席这次会议的代表共64名。学科组组长王大珩教授、常务副组长苏韦同志出席并主持了会议。会上研究员张志三、王之江等十一位同志宣读了各自的论文报告和即席发言。

会议宣布了经国家科委批准的基础光学学科分组的成员十五名。组长钱临照教授，副组长张志三研究员、胡南琦副教授。

会上提名光学学会基础光学专业委员会成员，提请光学学会常务理事审批。

(乙民)

* Visiting scholars working in the Alabama University