

生的各种技术难题方面,目前仍然存在不少困难。

三维面形高速度、高精度测量技术将随着测量方法的完善和信息获取与处理技术的改进而进一步发展,在新的更加广阔的研究和应用领域中发挥重要作用。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] J. A. Jalkio, R. C. Kim, S. K. Case, *Optical Eng.*, **24**-6 (1985), 966.
- [ 2 ] M. Takeda, K. Mutoh, *Applied Optics*, **22**-24 (1983), 3977.
- [ 3 ] X.-Y. Su, J. Li, L.-R. Guo, *Proc. SPIE*, **954** (1988), 241.
- [ 4 ] J.-F. Lin, X.-Y. Su, *Optical Eng.*, **34** (1995), to be

published.

- [ 5 ] V. Srinivasan, H. C. Liu, M. Halioua, *Applied Optics*, **23**-18 (1984), 3105.
- [ 6 ] X.-Y. Su, W.-S. Zhou, G. von Bally, *Optics Commun.*, **94**-6 (1992), 561.
- [ 7 ] X.-Y. Su, G von Bally, D. Vukicevic, *Optics Commun.*, **98**-1 (1993), 141.
- [ 8 ] W.-S. Zhou, X.-Y. Su, *Modern Optics*, **41**-1 (1994), 89.
- [ 9 ] T. Kreis, W. Juptner, R. Biedermann, *Applied Optics*, **34**-8 (1995), 1407.
- [ 10 ] R. Cusack, J. M. Huntley, H. T. Goldrein, *Applied Optics*, **34**-5 (1995), 781.
- [ 11 ] G. Zinser, *视觉科学*, **13**-4 (1992), 1.
- [ 12 ] Meeting Digest, 1994 Topical meeting of the International Commission for Optics on Frontiers in Information Optics, Kyoto, Japan, (1994).

## 数字全息光刻技术\*

余建国 裴文 徐大雄

(北京邮电大学应用科学技术系,北京 100088)

**摘 要** 文章阐述了实现全息图数字化的重要意义,介绍了数字化全息光刻技术的原理和图像特征.叙述了计算机全息数字打印机的光学系统的一般结构,简述了国内外现状和应用前景.

**关键词** 数字化,计算机全息,光刻技术

近年来,数字全息引起了人们的强烈兴趣,比较成功的有英国的 Spatial Imaging Ltd. 公司创立的数字输入-全息图像输出系统, Dimensional Arts Inc. 公司的数字全息打印机,日本的 LCTV 全息打印机.其他一些有关数字全息技术的报道也不断涌现.数字全息技术能够实现商品化批量生产,摆脱过去全息图的许多苛刻限制.例如,以前用于拍摄全息图的物体只能是从自然界中抽取的一些标本,只能是尺寸较小的物体或模型,自然界中的真实物体的形象和颜色不能再现出来.另外,传统全息图的防伪性能十分有限,展示效果较差,只能在某些方向看到全息图像,不能 360 度可视,制作周期长,偶然因素多,工作量重,价格高.

利用计算机实现数字化,能够实现图像加密,增强全息图的防伪性能.一般全息图都是高

技术产品,原本就具有防伪功能,实现数字化以后,又能对全息图的颜色和图像的点型加密.即使是拥有同一种或同一台计算机全息数字打印机的用户,只要密码不同,图像的颜色和点型就不相同,并且拥有这种打印机的用户根据需要重新设置密码也非常方便,使全息图的防伪性能大大提高,为证件、商标的防伪提供了有力的武器.

### 1 原理和图像特征

计算机全息数字打印机的工作原理是,将

\* 国家教委博士点基金资助项目.

1995 年 10 月 4 日收到初稿,1996 年 1 月 8 日收到修改稿.

设计好的图形(由扫描仪读入或直接由计算机设计)经计算机数据转换和编码后去驱动高精度的二维平台,来进行寻址,而每一个像素点的颜色与视角是通过控制光刻头参物光的夹角与方向来实现的.在光刻进行以前,可以将图形预先设计好输入图形库中,用时从库中调出,并可利用模拟显示功能,使客户事先看到成品的视觉效果,而无需等待昂贵的全息制版过程完成.数字全息光刻技术的原理如图1所示.图像可以借助于图像生成软件在计算机内自动生成,也可以用数字摄像机摄取物体的图像,经数字化后输入计算机.计算机对图像进行数据处理,同时加入密码,使图像的颜色、点型具有特点,然后,图像在帧存储器中存储,系统驱动设备根据系统驱动程序和图像数字信号,驱动光学系统进行光刻.

图1 数字全息光刻技术原理图

数字化全息光刻技术与传统的假彩色彩虹全息技术的理论基础是相同的,都是对全息图的各部分进行空间编码.全息图的各部分的记录和再现可以看成光栅的记录和再现.对于全息图的反射面,有

$$d(\sin \theta_y \pm \sin \theta_z) = \pm \lambda_z \quad (1)$$

令  $\theta_0 = \theta_c$ , 则有

$$d = \lambda_0 / 2 \sin \theta_0 \quad (2)$$

$$\frac{\lambda_0}{2 \sin \theta_0} (\sin \theta_y \pm \sin \theta_z) = \pm \lambda_z \quad (3)$$

式中的  $\lambda_0$ ,  $\lambda_z$  分别表示物光、再现光的波长,  $\theta_y$  为正负一级衍射光与法线的夹角,  $\theta_z$  为再现照明光波与法线的夹角,  $\theta_0$  为记录物光与法线的夹角,  $\theta_c$  为参考光与法线的夹角.  $\theta_y$ ,  $\theta_z$  在法线同侧取减号,异侧取加号,如图2所示.

图2 光刻全息图的记录和再现

由于再现光源和眼睛在全息图上的张角通常可看成定值,即

$$\theta_y + \theta_z = \phi \quad (4)$$

$\phi$  为常数.将(4)式代入(3)式,得

$$\sin(\phi - z) = \pm \frac{2-z}{0} \sin \phi_0 + \sin z. \quad (5)$$

经运算处理,可得

$$2\cos \frac{\phi}{2} \cdot \sin(\frac{\phi}{2} - z) = - \frac{2-z}{0} \sin \phi_0$$

(在法线同侧); (6)

$$2\sin \frac{\phi}{2} \cdot \cos(\frac{\phi}{2} - z) = \frac{2-z}{0} \sin \phi_0$$

(在法线异侧); (7)

由(6),(7)式可知,  $z$  由  $\frac{2-z}{0}$  及  $\phi_0$  决定,  $z$  只有在一定范围内取值才能看到全息图像,我们进行空间编码就是以此为根据的.

数字化全息光刻技术与传统的假彩色彩虹全息技术的实现手段不同.前者是用计算机程序控制,编码每一个像素的参物夹角,实现的难易与图像颜色变化的频繁程度无关,只要按一下计算机键盘,颜色十分丰富的全息图形就可自动生成.而后者是手工的方法编码参物夹角,或在不同的位置设置狭缝,这种方法费时,重复性差,质量难以保证,如果图像颜色变化频繁,实现难度更大.

光路结构也有重大改变.传统的假彩色像全息术的参物夹角的改变是靠改变分光镜与反射镜之间的距离来实现的.因此,在改变参物夹角的同时,两束光的光程差就很难控制不变.并且操作空间大,不适应于自动控制.而计算机光刻全息的参物夹角的改变采用了先进技术装备的光刻头,小巧灵活,使参物夹角的改变和参物面的方向变化可实时控制.

## 2 光学系统的结构

光学系统的结构如图3所示,激光器的出射光经反射镜  $M_1, M_2$  反射后,经快门在透镜  $L_1, L_2, L_3$  对光束进行准直、缩小后被  $M_3$  反射,经偏振片  $P$  后到光学头,光束经光学头后变成两束1和2.光束1和2可按如图4所示的方式变化.

由图4可知,光束1,2不但可以一起旋转,

而且还可以相互进动.光刻胶板在程序控制下作二维平动,光学头整体位置的变化,图形的点型也随着变化,起到进一步防伪的目的.

图3 光刻系统的光学结构

图4 光束1,2的旋转和进动

## 3 国内外的现状和应用前景

目前,世界上已有两家公司可以提供这类商用计算机全息数字打印机.其中一家为英国的 CFC Applied Holographics 公司,采用的技术为:dot matrix technique(点阵技术),分辨率可达400DPI,全视角可视.另一家为著名的 The Dimensional Arts Inc (TDA),采用的专利技术

(下转第640页)

韦尔在 1929 年的文章<sup>[5]</sup>中正式创建规范对称理论。他写道：“我曾希望规范对称原理将引力和电磁力统一起来而未获得支持。但这一原理在量子论的场方程中有一个形式上的等价物。”韦尔用修正后的不可积相因子消除了爱因斯坦的异议。不过统一场论始终未完成。虽然如此，韦尔和爱因斯坦的早期统一场论思想，一直鼓舞着当代物理学家对统一场论的执著追求和探索。

当代，人们正在探寻更广泛更深刻的对称性。一个超对称的大统一理论<sup>[16]</sup>正吸引着广大的物理学家去探索。正如杨振宁所说：“我深信，把对称性原理继续推广下去的想法，将是 21 世纪理论方面的重要发展方向<sup>[17]</sup>。”

韦尔的一生是追求“对称美”的一生，是探索更深刻对称性的一生。如果他能看到今天物理学的飞速发展，他一定会感到无比兴奋，无限欣慰。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 宁平治等编,杨振宁演讲集,南开大学出版社,(1989),451.
- [ 2 ] 吴文俊主编,世界著名科学家传记,科学出版社,(1990),210.
- [ 3 ] H. Weyl, *Mathematik Zeitschrift*, 2(1918),384.
- [ 4 ] H. Weyl, *Raum, Zeit und Materie*, Springer Verlag,(1918).
- [ 5 ] H. Weyl, *Z. Physik*, 56(1929),330.
- [ 6 ] H. Weyl, *Gesammelte Abhandlungen*, Band — ,ed. k. Chandrasekharan Springer Verlag,(1968).
- [ 7 ] 赵凯华,定性与半定量物理学,高等教育出版社,(1991),8.
- [ 8 ] H. Weyl 著,冯承天、陆继宗译,对称性,上海翻译出版公司,(1991).
- [ 9 ] 同[8],10.
- [ 10 ] 同[8],51.
- [ 11 ] 同[1],458.
- [ 12 ] V. Fock, *Z. Physik*, 39(1926),226.
- [ 13 ] F. London, *Z. Physik*, 42(1927),375.
- [ 14 ] 同[1],391.
- [ 15 ] 同[1],465.
- [ 16 ] 何祚庥、庆承瑞,物理,24-1(1995),1.
- [ 17 ] 同[1],100.

(上接 622 页)

为 fractal geometric codes (FGC,分形几何编码).已开发了三代产品,其中 Basic Model(基本型)分辨率为 200DPI,每秒可处理 4 点;Security Model(安全型)分辨率为 400DPI,采用专利技术 dot shap control(点型控制),可控制组成图形的像素点形状,增强防伪安全系数.目前,其正在开发的 Advance Model(先进型)分辨率达世界纪录 600DPI.

国内开展这方面的研究工作是从 1994 年开始的,我们自行设计研制的计算机全息数字打印机已具有国外的基本型以上水平,现在正向先进型、安全型的目标迈进.

由于这种全息图具有动态、全方位可视,集多种高技术于一体,技术含量高,防伪性能强等特点,因此可广泛应用于装璜、包装、安全印刷、广告等方面,尤其将会被安全部门作为防伪的有效手段,大量应用于钞票、各种有效证件、防伪商标方面,作为打击假冒伪劣的有力武器.

## 参 考 文 献

- [ 1 ] F. T. S. Yu, *Opt. Lett.*, 3-2(1978),57.
- [ 2 ] P. N. Tamura, *Appl. Opt.*, 17-16(1978),2532.
- [ 3 ] US # 5046792 Holographic Printer.
- [ 4 ] W. Spiering, *SPIE*, No. 6 (1992), 1667.