

光栅图的计算机辅助设计及制作

王 昭 裴书宝 亓 琪 汪子午 谭玉山

(西安交通大学机械工程学院, 激光与红外应用研究所, 西安 710049)

摘 要 简要叙述了二维光栅图的基本原理, 给出了几种光栅图的系列图合成方法, 介绍了计算机辅助二维光栅图像制作系统的基本组成, 以及运用该系统制作的光栅图的特点。最后以“焰火绽开”为例给出了系统从设计到制作的全过程。

关键词 全息光栅, 图像处理, 计算机辅助工程。

1 引 言

二维光栅图是目前兴起的的一种新的模压全息术, 截止目前为止掌握并应用此技术的只有少数几个国家, 如日本、美国、德国等, 但采用该方法制作的全息图已商品化。该方法采用计算机辅助设计与计算机辅助制作(CAD/CAM)技术, 首先在计算机中设计出所需制作图形, 然后自动生成控制码控制平台运动以及光开关, 最终生成二维光栅全息图, 整个曝光过程无需人工干预。

2 光栅图的基本理论

二维光栅全息图是由像素点矩阵构成, 而每个像素点都是一个微小光栅, 光栅的取向角(即方向)决定了在特定位置和光源下该像素点是否被观察到, 而光栅的频率则决定了被观察到像素的色彩。因此设计与制作二维光栅图实际上就是运用上述基本原理, 并利用计算机在图案设计、自动控制等方面的优点, 通过计算机辅助设计微小光栅点的参数, 而通过计算机辅助制作各个微小光栅点^[1, 2]。这样制作的光栅全息图母版具有衍射效率高、衍射色彩丰富、观察时富于变化、有极强的动态效果等特点。

3 光栅图的系列图合成方法

一般来说, 为了体现光栅图的优势, 往往设计的图形为序列图, 即所说的不同位置观察到不同的图形(包括图形本身的不同和色彩的不同), 那么如何将这些系列图制作在同一母版上呢? 这就要分几种情况:

1) 多幅图叠加后无重叠部分。这种情况最简单, 只需要把系列图中每幅图中的像素的色彩对应到各自不同的空间频率的光栅, 各幅图中的像素均再对应到不同的光栅空间取向。然

后把各幅图叠加在一起。这样就得到了所需图案。该法适于序列图简单、且无重叠像素。

2) 多幅图叠加后有重叠部分。各种可能的解决办法, 有: 1) 运用视错觉理论中闭锁的原理, 实行对图像序列的简化。视错觉是由于人的心理和生理的原因所产生的对物体的形状、线度和色彩有关的错觉。其中的闭锁原理是指人在观看图形时, 要填充在不完全的视觉图形中存在的空隙、空间的知觉倾向。图 1 最能说明闭锁的原理, 远看是一只可爱的小狗, 但近看是由一些零散的、似乎是互不关联的各种各样的形状集合在一起。运用该原理, 可以对序列图像的各幅只抽取一些能反映其大致形状的点线, 使得序列图像中的各幅图在叠加时不再有重叠发生, 这样便可达到记录多幅图的效果。由于人的知觉倾向有一定限制, 不可能抽取得太简单, 故它适于序列数较少的情况; 2) 通过牺牲光栅图像的空间分辨率, 换取图像序列的时间分辨率。与情况 1) 不同, 这里不再对图像进行简化处理, 图像由许多像素组成, 每个像素又由一些独立不相关的子像素组成, 子像素的个数就是图像序列对的数目, 子像素的色彩及灰度是图像序列对中各幅图的对应位置像素的色彩及灰度。如图 2 所示, 它表示一个经过对图像序列对叠加后的像素放大示意图, 其中每个像素由九个子像素组成, 也即, 图像序列对的数目是九, 每个子像素代表九个序列图像之一中对应位置的像素值。各象素中的相应子象素有相同的光栅取向, 其不同色彩则有着不同的光栅空间频率。在某一角度每个像素只有一个子像素的衍射光到达人眼, 当生成的光栅全息图像分辨率足够高时, 就可看做是整个像素的衍射光。



Fig. 1 Schematic diagram of lock principle

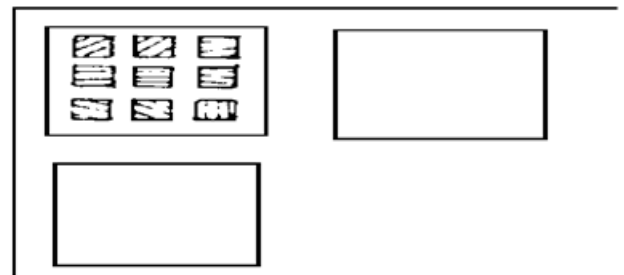


Fig. 2 The relationship between pixel and subpixel

4 系统介绍

计算机辅助光栅全息制作系统如图 3 所示, 由以下几个部分构成。

1) 光路部分。该部分实现了光路的参物角的设计、光路的调节等有关光学实现的工作。在实际应用中, 系统给出了制作三种空间频率的光栅的光路安排, 分别对应衍射时的红绿蓝三原色, 具体的数值见参考文献[2]。每一种空间频率的光栅的取向角由旋转光致抗蚀剂干版一定的角度后曝光实现。该角度可由软件动态修改。为使光束细化, 在光路中加入一组聚焦透镜, 四束光光程相等。最后形成光点大小约为 $\phi 0.3 \text{ mm}$ 。

2) 位移及旋转数控平台部分。该部分给

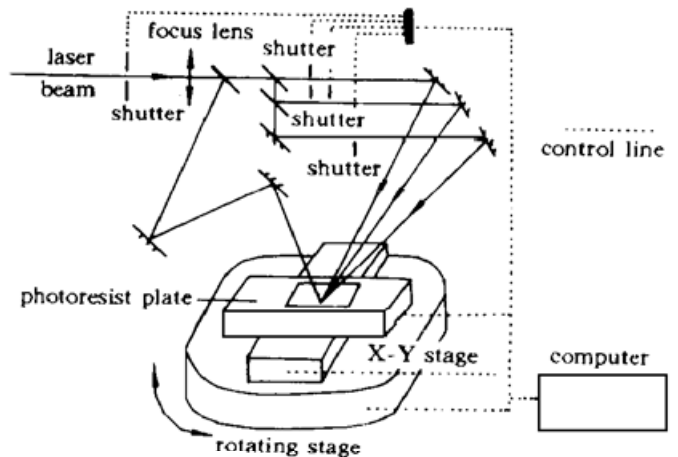


Fig. 3 Sketch of the system for CAD/CAM grating image

出了水平、垂直、旋转三个自由度,由步进电机带动。水平、垂直平台带动其上放置的光致抗蚀剂干版运动,每一步为 $8\ \mu\text{m}$,用于选择要进行曝光的微小光栅点矩阵的像素。旋转台又可带动水平、垂直平台及曝光干版一起进行旋转运动,决定生成光栅相对于原始坐标轴的取向角。

3) 控制、驱动及计算机接口部分。这部分起到把系统中各部分与计算机相联系的作用。它包括曝光开关、物光选择开关、步进电机驱动源、计算机 I/O 接口卡。曝光开关对光致抗蚀剂进行曝光,物光选择开关起选择参加曝光的物光束(对本系统而言是三束物光可选,并对应三种空间频率的光栅),计算机 I/O 接口卡联系计算机及其它被控制部分协调工作。

4) 计算机及其软件部分。该部分由计算机硬、软件组成,其中软件包括支撑软件以及应用软件,支撑软件包括操作系统及编程环境,系统中采用了 Windows 操作系统,BC++ 4.5 for Windows 编程环境。应用软件则是作者自行开发的系统工作软件,该软件提供了图案编辑、修改、仿真操作、动态修改控制参数、图案转换控制码序列文件、根据控制码序列文件自动曝光、以及几种常用的图案编码等功能。

经过对图案的精心设计,把一个空间无重叠部分的序列图像合成到一个图像中,属于不同序列的图案点被赋以不同的色彩(代表光栅的空间频率)及灰度(代表光栅的取向角),之后执行仿真功能并进行适当的修改,把图案转换成控制码,然后执行自动曝光操作。这样就得到了运用该系统制作的光栅全息图。在入射光一定的条件下,可以在不同的观察位置看到不同的序列图像的衍射图。当观察者移动时,便有强烈的动感效果,具有极强的艺术观赏性。软件部分为系统提供了多种像素编码方案,概括来有以下几种:

编码色彩区域选择替代;基本图形编码渐变;任意闭合图形无失真缩放;任意闭合图形选择性失真缩放;随机区域编码;以上几种方案的组合使用。

需要说明的是,编码方案很大程度上体现的是人的艺术创造力及艺术表现力,系统不可能面面俱到,把所有可能的编码方案都在开发阶段给出。但系统已经给出了实现各种基本构成图案的应用程序接口(API)函数以及可以方便地进行人机交互来实现这些方案的对话框,用户可以用这些功能来实现各种编码方案。这也是以上提到的各种组合使用的含义。该系统在制作光栅全息图时有以下优点:

制作的光栅全息图衍射效率高,色彩丰富;光栅编码方式自由,无需改动任何硬件便可实现新的编码方案;图案有动态效果,艺术观赏性强;大视场角,易于观察区别,复制困难;专用设备及专用软件,在用于防伪业时,除传统的模压全息具有的防伪功能外,还有着技术及设备上的附加安全性;制作过程高度自动化;振动影响小,无需有专门的隔振设备。

5 “焰火绽开”数学模型的抽取

前面已经提到,有些编码方案比较特殊,软件系统不可能面面俱到、对所有方案都提供解决的办法。因此,系统还提供了二次开发用的样本程序,用户除了可以在该系统的软件集成环境下用应用程序接口函数功能通过对话框交互实现外。还可以把提取的模型在系统提供的样本程序的工作区中用简单的循环、判断、顺序等 C 语言代码嵌套系统提供的应用程序接口函数表示。经过编译、链接就可以得到结果。

以一幅“焰火绽开”的图案为例进行设计来说明,并以此验证系统的性能。

首先,抽取数学模型,把“焰火绽开”抽象为从中心向四周呈放射状散开的发光颗粒;在

扩散过程中,开始运动时受火药的推力速度比较快,颗粒未完全燃烧起来,故比较小;颗粒渐渐地变大,运动速度也减弱。另外,从中心放射出的颗粒分几批,有一定的时间间隔。根据上面的讨论,设计的数学模型表示如下:

发光颗粒的运动轨迹用一根根的直线表示,分三次从中心射出,开始时,速度快,而扩散的加速度是一负数(此加速度可以认为是空气阻力引起的),发光颗粒的大小则相反,以一定的加速度增大。(1)式表示了这种规律,

$$r = vt + at^2/2 \quad (1)$$

以此为前提,作者编写了自动生成“焰火绽开”的程序。

首先,根据模型,分别定义三个同心圆,各圆上抽取一部分像素作为某一时刻三次放射出的发光颗粒。下一时刻发光颗粒的位置将移动到从另外的三个同心圆上抽取的像素位置。把不同时刻同一发光颗粒的运动轨迹连在一起,必将是一条逐渐变粗的直线。由着色原则及模型分析的结果,对这条直线逐线段着色,线段的长短尺寸依次减小。

为简化编程,定义了两个数组,其一表示着色线段的尺寸长短的过渡,受一个负的加速度影响,表现为逐渐减小;另一个表示直线的宽度的过渡,受一个正的加速度影响,表现为逐渐增大。这两个数组均给出一个比例值。

另外,用数组的发式定义初始亮光点。分三批,表示分前后从中心依次绽开,每一批包括二十八个从同一个同心圆等分抽样的像素,表示二十八个发光颗粒。从这些像素点开始,以等分 360° 用黑色依次画出规定长度的直线,规定长度就是发光颗粒运动的长度。直线的宽度由表示线宽度的数值给出。

接着,根据表示着色线段的尺寸长短的数组给出的比例值,对前一步画好的直线进行线段跟踪并进行着色处理,这样画出的图案就是所要的图案。图 4 给出了整个图案以及系统运行仿真模拟后得到的序列图。

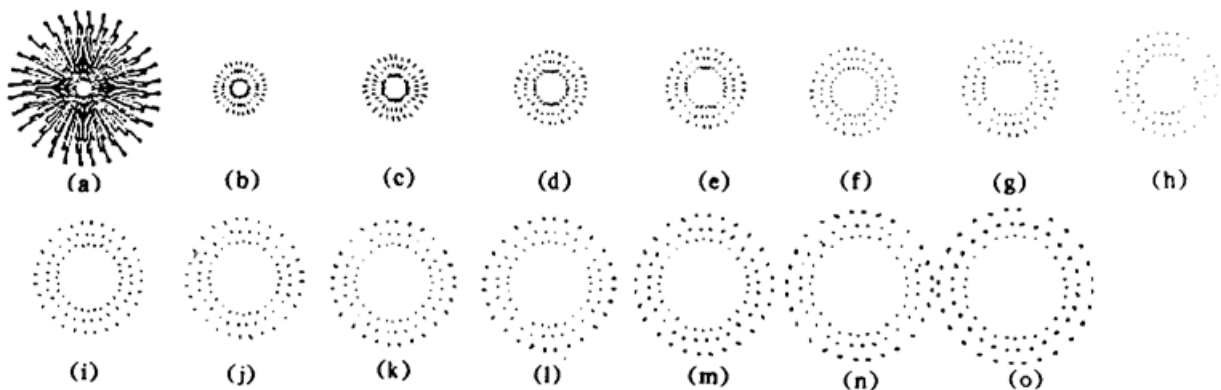


Fig. 4 1.1 times designing pattern and their series emulation images. (a) desining pattern, (b)~(o) emulation images

6 “焰火绽开”的图案设计及制作结果

制作中使用的参数如下:像素点大小为 $0.4 \text{ mm} \times 0.4 \text{ mm}$;转角取每 4° 为一个转角;光栅频率为 889.02 lp/mm ;颗粒扩散速度数组(从里层向外层) $\{3, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 1\}$;颗粒大小变化数组(从里层向外层)

内圈直线宽度数组: $\{1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2\}$;

中圈直线宽度数组: {1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2};

外圈直线宽度数组: {1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 3};

制作的“焰火绽开”图在不同角度下的衍射图像的照片如图 5 所示。与图 4 中仿真模拟的图案相比可以得出, 整个系统及图案设计是成功的。

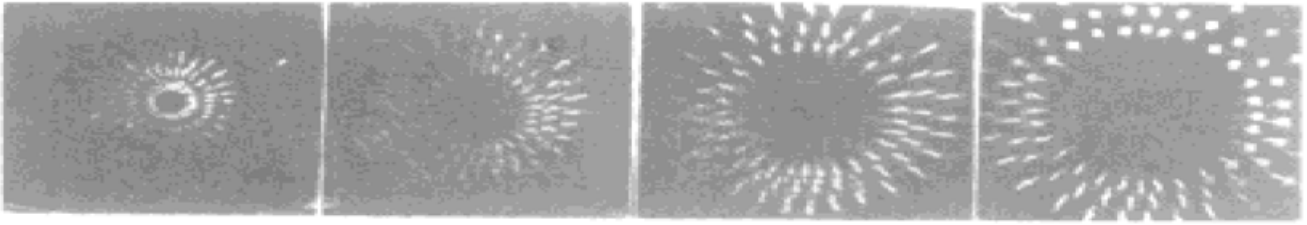


Fig. 5 Diffractive photographs of a practical sample

结束语 从以上的讨论中可以看出, 计算机辅助光栅全息制作系统在制作模压全息时有许多优点, 有着很大的推广价值, 它不但在防伪领域中可以占有很大的一席之地, 而且在艺术观赏领域(如贺卡、包装、广告等)也有巨大的发展潜力。从实验结果看, 该系统很好地实现了预定的目标, 实现了系统的实用化。

参 考 文 献

- [1] Toshiki Toda, Susumu Ta Kahashi, Fujio Iwata, 3D video system using grating image. *Proc. SPIE*, 1995, **2406**: 191~ 198
- [2] 王 昭, 裴书宝, 汪子午等, 一种制做二维全息光栅图的新方法. *光子学报*, 1996, **25**(12): 1077~ 1079

Computer Aided Design and Manufacture of the Grating Image

Wang Zhao Pei Shubao Qi Qi Wang Ziwu Tan Yushan
(*Institute of Laser and IR Application, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049*)

(Received 1 April 1997; revised 13 July 1997)

Abstract The principle and compose methods of two dimensional grating image are given briefly and the basic components of the computer aided grating image system are introduced. The features of the images made by this system are discussed. The whole processes from designing to making are described with an example of “explosion of firworks”.

Key words holographic grating, image process, computer aided engineering.