

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0585-00

激光数字图像精密雕刻技术的研究

蒋明 王英 胡兵 刘晓东 黄维玲

(华中科技大学激光技术国家重点实验室, 武汉 430074)

提要 结合数字图像处理技术、激光精密控制技术研究了激光灰度图像精密雕刻系统的结构和雕刻算法。基于视觉灰度感知特点设计了 25 级灰度雕刻模板, 彩色图像文件经过灰度转化和色彩量化处理后直接调用灰度雕刻模板控制激光和振镜的扫描雕刻出多灰度级图像。系统采用 Nd:YAG 激光器、振镜扫描方式获得 25 级灰度、247 dpi 分辨率的激光精密图像雕刻效果。

关键词 激光, 灰度图像, 数字半色调, 雕刻模板

中图分类号 TN249 文献标识码 A

Study on Laser Image Engraving Technique

JIANG Ming WANG Ying HU Bing LIU Xiao-dong HUANG Wei-ling

(State Key Laboratory of Laser Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract In this paper, general laser image engraving arithmetic such as ordered dither and error diffusion was studied. Based on visual grayscale characteristic, a new method of multi-level grayscale module for laser image engraving was proposed. Using this method, a color image was processed through grayscale conversion and color quantization, then engraved with engraving module without digital halftoning process. With lamp pumped Nd:YAG laser and x - y scanners, a 25-level grayscale, 247 dpi laser engraving image system is implemented.

Key words laser; grayscale image; digital halftoning; engraving module

1 引言

激光数字图像精密雕刻技术是激光技术、计算机控制技术与计算机图像处理技术完美结合的产物。它充分利用激光束非接触式加工、激光光斑小、加工精度高的特点, 结合数字图像处理技术, 将高精度彩色图像信息量化为灰度图像, 经数字半色调处理成二值信息, 控制激光束在工件表面按二值图扫描刻蚀, 实现材料表面高分辨率数字图像的再现。激光数字图像精密雕刻技术与激光矢量文字标刻技术是实现激光直接印刷的关键技术, 可广泛应用特殊材料表面的商标图案标刻以及工艺品、证件制作等领域。

已经广泛应用的激光标刻机主要标刻矢量文字和图形, 激光束沿矢量图形文字轨迹运动, 在物体表面刻下一定深度的痕迹, 激光图像雕刻采用光栅扫描方式, 逐个像素依次扫描雕刻, 而且要求有灰度级别效果。由于激光作用物质形成的灰度级别受激光光束质量、激光功率、扫描速度、雕刻模板以及材料特性等多种因素影响, 因此其实现难度大大超过矢

量文字标刻, 成为国际上众多激光设备厂家研究热点。随着 LDPSS 激光器件的成熟和相关图像雕刻设备的研究深入, 2000 年 10 月第六届北京国际激光光电展上日本 LTI 公司推出了最新的激光图像雕刻设备, 在有机高分子材料上雕刻出相片级图像效果。国内上海激光技术研究所、华中科技大学激光研究院等单位从 80 年代中期开始研究了 CO₂ 激光雕刻机^[1~3], 由于光斑较大(0.2~0.3 mm), 图像雕刻分辨率较低, 主要用于木材等装饰材料的大幅面雕刻, YAG 激光雕刻领域, 国内相关研究较少。我们在研究常用激光图像雕刻算法的基础上, 基于视觉灰度形成特点, 提出并设计了激光雕刻灰度模板表现灰度级, 采用华工激光的 HGL-LSY50F 灯抽运 YAG 激光器, 设计实现了 25 灰度级, 247 dpi 分辨率的精密图像雕刻系统。

2 激光数字图像雕刻系统的结构

早期的激光图像雕刻系统用单片机控制激光器

和 x - y 工作臂进行工作^[1], 由于单片机存储容量以及速度限制, 所以随着个人电脑的普及, 很快被 PC 所代替。激光器通常选择小功率的 CO₂ 激光器或 Nd: YAG 激光器, 对激光器要求聚焦光斑质量好, 功率输出稳定性好。扫描装置通常采用 x - y 工作台移动激光束或二维振镜偏转激光束方式。采用振镜扫描速度快, 但它需要采用 F - θ 聚焦透镜, 在大幅面雕刻时聚焦光斑尺寸难以得到保障, 所以常在小幅面雕刻中采用。 x - y 工作臂运动速度较慢, 雕刻一幅画面所需要的时间很长, 但它只需要普通聚焦透镜, 而且容易实现大幅面图像的高精度雕刻, 成本也较低, 所以仍然在大幅面雕刻中广泛使用。

激光图像雕刻系统结构如图 1 所示, 采用华工激光工程公司提供的 HGL-LSY50F 标刻系统(包括灯抽运 Nd: YAG 激光器, 采用 x - y 高速振镜扫描, F - θ 透镜聚焦, 电脑。雕刻幅面: 70 mm × 70 mm。激光技术参数: 激光波长 1064 nm, 低阶模, 光斑尺寸 0.03~0.5 mm, 最大功率 50 W, 声光调 Q 频率: 500 Hz~20 kHz。

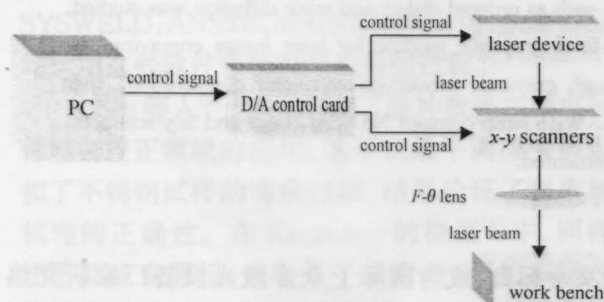


图 1 激光图像雕刻系统结构图

Fig. 1 The structure of laser image engraving system

3 激光数字图像精密雕刻算法及实验研究

激光雕刻是利用激光与材料表面产生熔融、汽化或光化学反应, 在材料表面形成颜色以及深浅差异的刻痕效果。由于相关材料学科的研究尚未跟进, 目前采用激光直接刻写彩色图像的研究尚不成熟, 通常采用双层材料(基质+涂敷层, 如双色板及金属名片等)或者像木材、PVC 片等激光作用后颜色反差较大的材料, 激光雕刻时, 光刻点和未刻点实际形成二值效果, 因此激光雕刻设备实际是一种二值输出设备, 为获得灰度效果, 通常采用数字图像半色调技术对彩色图像进行二值化转化处理^[3,4], 其机理是将灰度级别的差异通过光刻点的疏密来表

达, 对光刻点而言虽只有两种色差, 但由于视觉邻域效应影响, 整个图片为多灰度级效果。

目前应用于激光图像雕刻领域的数字半色调技术包括误差扩散法(error diffusion)、有序抖动法(ordered dither)^[4]。误差扩散方法是逐行扫描各像素, 将灰度值与设定的阈值落差分散到相邻的像素中, 用这种方法可以获得自然的灰度效果, 无明显人工纹理(artifacts)。有序抖动法则是采用 $N \times N$ 大小的抖动矩阵对图像扫描, 图像像素被分成 $N \times N$ 大小的区域, 将各区域中像素灰度值与抖动矩阵中对应位置的阈值比较, 大于阈值, 则输出图像中该像素值为 1, 否则为 0, 采用有序抖动法矩阵对灰度图像处理过程如图 2。

这两类处理方法都是一对一处理(STS), 对原 100×100 像素的图像, 处理成二值图像后依然是 100×100 像素, 不过局部区域的黑白点比例及其分布由原图像的灰度级决定, 其结果不增加像素信息点, 如果要获得高分辨率图像, 需要扩大原始图像。而且对大图像的处理过程比较复杂。

伽玛映射法^[5]为一对多(STM)数字图像处理技术, 它用一个二值点区域来表达原图中的一个灰度像素, 灰度值的不同, 则二值区域黑白点的比例不一样。这种思想直接起源于灰度形成的视觉机理: 灰度差异来自黑色与白色区域的比例, 因而突破了原有数字图像处理技术限制, 使我们可以考虑在激光灰度图像雕刻中, 不用数字半色调处理, 而直接设计灰度雕刻模板, 在二值输出设备上实现高精度灰度图重现。这种方法简化了图像处理过程, 而且不增加原图信息量的情况下, 可以得到高精度图像效果。

采用灰度雕刻模板实现激光灰度图像雕刻的处理流程如图 3。

彩色图像转化为灰度图有多种计算公式, 我们采用公式(1)计算像素灰度

$$\text{grayscale} = 0.30r + 0.59g + 0.11b + \text{offset} \quad (1)$$

式中 grayscale 为转化为灰度图中像素的灰度级别, r, g, b 为原像素的三基色分量, offset 为调节图像整体色度的偏移量。色彩量化我们采用平均分割灰度空间, 变化公式为

$$f(\text{grayscale}) = \text{grayscale} \div 10 \quad (2)$$

grayscale 为像素原灰度级, $f(\text{grayscale})$ 为量化为 25 级后的灰度级别。

我们设计的 25 级雕刻模板及其灰度级雕刻效果示意图如图 4。

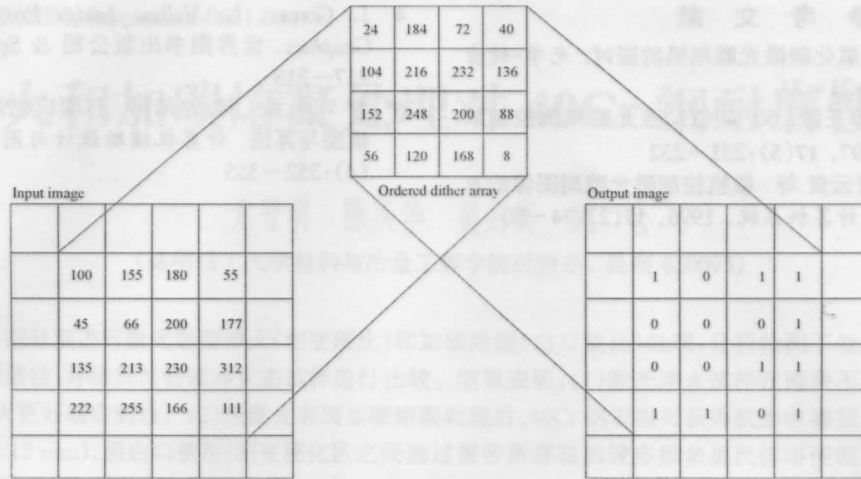


图 2 有序抖动法矩阵对灰度图像处理过程示意图

Fig.2 Schematic of image processing with ordered dither array

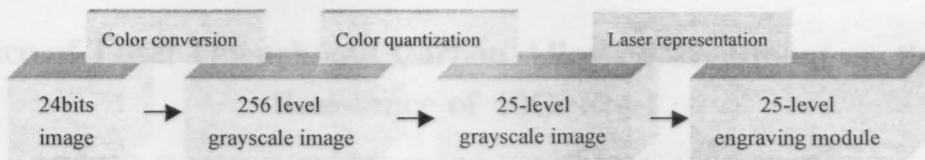


图 3 激光雕刻系统的图像处理流程

Fig.3 The image processing flow in laser engraving system

25	10	11	12	13
24	9	2	3	14
23	8	1	4	15
22	7	6	5	16
21	20	19	18	17

(a) 25-level engraving module

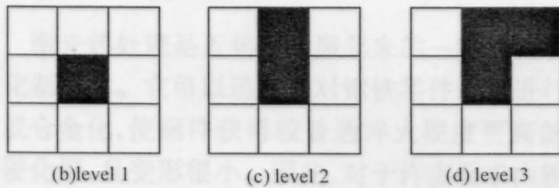


图 4 25 级激光雕刻模板及其效果示意图

Fig.4 The schematic of 25-level laser engraving module and its results

在激光数字图像雕刻系统中,采用 12 bits DA 卡,雕刻幅面为 70 mm×70 mm,其光刻点分辨率可达到 1486 dpi,采用 6×6 的矩阵区域表达一个像素,则获得激光雕刻图像分辨率达 247 dpi,光刻点距为 $Step = 0.017\text{ mm}$,激光光斑直径为



(a)



(b)

图 5 25 级灰度图的激光雕刻效果

(a) 24 bits 彩色图; (b) 激光雕刻图像

Fig.5 The laser engraving result of 25 level grayscale image

(a) 24 bits color image; (b) laser engraving image

$R = 0.03\text{ mm}$, $R > Step$,因此 25 级光刻点可以有效覆盖像素区域。

对 24 bits 彩色图片[图 5(a)]按公式(1),(2)进行灰度量化处理,再采用灰度雕刻得到 25 级灰度图效果如图 5(b)所示。

参 考 文 献

- 1 邱明新. 下一代二氧化碳激光雕刻机的探讨. 光学·精密工程, 1996, 4(1):21~24
- 2 陈云珍, 王立忠, 薛正源. 50 W CO₂ 激光雕刻机控制系统. 应用激光, 1997, 17(5):231~232
- 3 宋恩民, 胡 兵, 何云贵等. 微机控制激光雕刻图像的方法研究. 小型微型计算机系统, 1996, 17(2):74~80
- 4 J. Gomes, L. Velho. *Image Processing for Computer Graphics*. 世界图书出版公司 & Springer-Verlag, 2000. 217~218
- 5 曾 平, 孟 健, 徐培培. 打印机色调自补偿数字半调的模型与算法. 计算机辅助设计与图形学学报, 1999, 11(4):352~355

mm, 同一条件下采用三个平行试样, 以测量值偏差的平均值 Δw 表示精密度, 同时以 Δw 来表征精度的高低。中心频率为 10.6 μm, 脉冲宽度为 1.5 μs, 脉冲角 45°, 试样速度为 15 mm/s, 激光功率为 100 W 二氧化碳激光, 激光束的直径为 0.15 mm, 激光扫描速度为 10 mm/s。

3 实验结果与讨论

3.1 1.2 μm 波长的激光雕刻效果

3.1.1 雕刻速度对雕刻效果的影响
 经 12 h 处理后, 由于热膨胀作用, 试样表面产生月牙形凹痕 (图 1(a))。随着雕刻速度的增加, 凹痕深度增加, 在过深区域产生大量未熔铁质。图 1(b) 为雕刻速度为 0.5 mm/s 时的雕刻效果, 此时凹痕深度为 0.5 mm。



图 1 雕刻速度对雕刻效果的影响

图 2 雕刻速度对雕刻效果的影响

3.1.2 雕刻深度对雕刻效果的影响
 随着雕刻深度的增加, 凹痕深度增加, 在过深区域产生大量未熔铁质。图 2(a) 为雕刻深度为 0.5 mm 时的雕刻效果, 此时凹痕深度为 0.5 mm。图 2(b) 为雕刻深度为 1.0 mm 时的雕刻效果, 此时凹痕深度为 1.0 mm。

图 3 为雕刻速度对雕刻效果的影响。它表明, 随着雕刻速度的增加, 凹痕深度增加, 在过深区域产生大量未熔铁质。图 3(a) 为雕刻速度为 0.5 mm/s 时的雕刻效果, 此时凹痕深度为 0.5 mm。图 3(b) 为雕刻速度为 1.0 mm/s 时的雕刻效果, 此时凹痕深度为 1.0 mm。

图 4 为雕刻深度对雕刻效果的影响。它表明, 随着雕刻深度的增加, 凹痕深度增加, 在过深区域产生大量未熔铁质。图 4(a) 为雕刻深度为 0.5 mm 时的雕刻效果, 此时凹痕深度为 0.5 mm。图 4(b) 为雕刻深度为 1.0 mm 时的雕刻效果, 此时凹痕深度为 1.0 mm。

雕刻速度	0.5	1.0	1.5	2.0
凹痕深度/mm	0.5	1.0	1.5	2.0

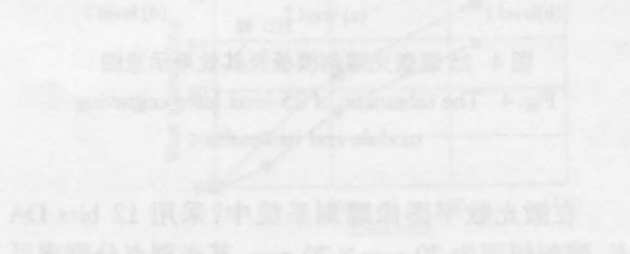


图 5 为雕刻深度对雕刻效果的影响。它表明, 随着雕刻深度的增加, 凹痕深度增加, 在过深区域产生大量未熔铁质。图 5(a) 为雕刻深度为 0.5 mm 时的雕刻效果, 此时凹痕深度为 0.5 mm。图 5(b) 为雕刻深度为 1.0 mm 时的雕刻效果, 此时凹痕深度为 1.0 mm。