

文章编号: 0258-7025(2007)Supplement-0342-04

基于 JPEG 格式的激光图像扫描技术研究

童 博^{1,2}, 刘晓东^{1,2}, 蔡 兵^{1,2}, 陈彦丽^{1,2}

(¹华中科技大学光电子科学与工程学院, 湖北 武汉 430074)
(²西南石油大学石油工程学院, 四川 成都 610500)

摘要 提出了基于 JPEG 格式的激光图像扫描技术, 利用 JPEG 图像格式的高压缩比以及通用性等特点, 克服了以往激光图像扫描中采用 BMP 图像格式所存在的耗费大量存储空间的缺点, 同时扩展了激光图像扫描的应用范围。通过对 JPEG 的解码, 将 JPEG 文件格式转化为顺序存储像素信息的临时文件作为待输出的图像数据。在数据输出前, 还需要对图像数据进行数字半色调处理, 采用多级误差扩散算法可以使输出的图像数据保留更多的原始图像信息, 使输出图像更加逼真。提出了在 DSP 系统下采用这种基于 JPEG 的激光图像扫描技术, 可以更加快捷地实现解码和半色调处理, 减少了成本, 增加了实用性。

关键词 图像处理; 激光图像扫描; JPEG 格式解码; 数字半色调; 误差扩散

中图分类号 TN249 **文献标识码** A

Research on Laser Image Scanning Technology Basing on JPEG

TONG Bo, LIU Xiao-dong, CAI Bing, CHEN Yan-li

(¹ Huazhong University of Science and Technology, School of Optoelectronics Science and Engineering, Wuhan, Hubei 430074, China)
(² Southwest Petroleum Institute, School of Petroleum Engineering, Chengdu, Sichuan 610500, China)

Abstract A laser image scanning technology basing on JPEG is proposed. Using the High compression ratio of JPEG, it overcome the disadvantage that the laser image scanning basing on BMP need too much memory. After decoding JPEG, It needs digital halftoning befor output image data. A multi-Scale error diffusion algorithmic is proposed to save more information from original image. DSP system can deal with the decoding and digital halftoning more quickly.

Key words image processing; laser image scanning; JPEG decoding; digital halftoning; error diffusion

1 引 言

以往在激光图像扫描中所采用的都是 BMP 文件格式的图像, 需要占用大量存储资源, 不利于保存待输出的图像数据。而 JPEG 文件格式由于采用了多种压缩方式, 可以得到很高的压缩比。基于 JPEG 格式的激光图像扫描技术, 克服了以往激光图像扫描中采用 BMP 图像格式所存在的耗费大量存储空间的缺点, 同时由于 JPEG 图像格式的通用性, 也扩展了激光图像扫描的应用范围^[1,2]。

经过 JPEG 解码得到的临时文件必须通过数字半色调技术将其转化为适合激光输出的黑白二值图像才能通过激光直接输出^[3]。对多灰度图像的半色调算法进行研究, 得到了最优的半色调算法—多级误差扩散, 使激光雕刻能够逼真地再现输入的多灰

度图像^[4,5]。

2 JPEG 的解码原理

2.1 压缩手段

不同于 BMP 格式中直接保存每一个像素 RGB 的真实值, JPEG 格式综合了多种编码方法, 获得了高加压缩比的效果。JPEG 格式使用 YCbCr 颜色系统, 在这种颜色系统中 Y 分量对颜色最为重要, 得到了全部保留, 而 CbCr 分量则用一部分来替代全部, 起到了压缩数据的作用。然后将时域上的图像数据进行离散余弦(DCT)变换, 包含了主要信息的低频部分, 集中在左上角。然后通过量化的方法忽略不重要的高频信息, 从而达到压缩的目的。用不同的量化表量化后的压缩比也不一样。经过量化

作者简介: 童 博(1981—), 男, 湖北武汉人, 硕士研究生, 主要从事激光先进制造技术的研究。E-mail: tong516@163.com

导师简介: 刘晓东(1970—), 男, 湖北英山人, 副教授, 主要从事激光先进制造技术的研究。E-mail: lxdwuhan888@163.com

后的图像数据在高频部分会出现许多值为 0 的情况,这时通过游程编码可以通过路径来表示两个非 0 值之间 0 值的个数,最后进行 Huffman 编码,进一步压缩数据。原始的 BMP 图像和经过压缩的 JPEG 图像,用肉眼很难看出两幅图像之间的差别,在压缩过程舍弃的信息对于图像的视觉效果影响微乎其微。

2.2 解码原理

由于采用了多种压缩手段,JPEG 的图像数据是不能够直接应用于激光图像扫描领域的,需要解码,转换成方便使用的输出图像数据。如图 1 所示,JPEG 的解码过程主要由预处理、Huffman 解码、反量化、离散余弦反(IDCT)变换组成。

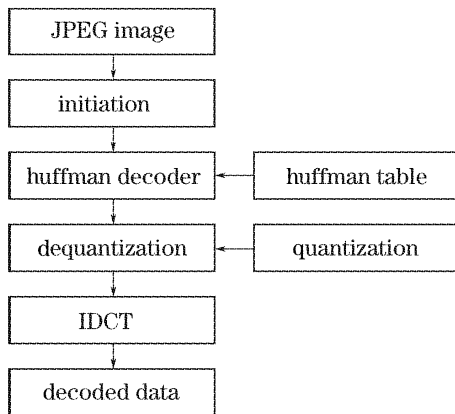


图 1 JPEG 解码器流程

Fig. 1 JPEG decoding procedures

2.3 预处理过程

JPEG 文件格式中大体上分为标记码和压缩数据两个部分。标记码中包含了 JPEG 图像所有的信息,其中大部分信息是解码过程中所必须的。因此在解码之前需要先将这些信息提取出来,并做出适当的处理,得到所需要的数据。解码过程中所必须的标记码有 SOI(图像开始,可作为 JPEG 格式的判据)、DQT(量化表)、SOF0(帧开始)、DHT(Huffman 表)、SOS(扫描线开始)、EOI(图像结束)。

2.4 Huffman 解码的实现

Huffman 解码包括对直流(DC)和交流(AC)两个部分的解码。JPEG 文件格式是以 8×8 的像素矩阵为基本单元来存储图像数据的。矩阵中的第一个元素为直流元素,剩下的 63 个元素称为交流元素。Huffman 解码都需要通过查询 Huffman 表来实现。一般情况下,JPEG 文件中包含 4 个 Huffman 表,分别为亮度 DC 表、亮度 AC 表、色度 DC 表、色度 AC 表。

对直流元素 DC 的解码流程如图 2 所示。

Huffman 编码是一种可变长编码,因此 DC 解码首先要通过查询 DC 表来确定 DC 的二进制位数,然后再压缩数据中读取相应位数的数据。这时所得到的数据是真实 DC 值和上一个 DC 值的差值,需要累加上前面所有的 DC 值才是 8×8 矩阵中真实的 DC 值。

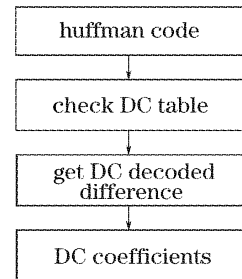


图 2 DC 码解码流程

Fig. 2 Decode DC procedures

对交流元素 AC 的解码流程如图 3 所示。63 个 AC 元素是以 Z 字型的顺序进行编码的,通过 RLE 行程编码来记录两个非零数据之间连续零值的个数。通过查询 AC 表得到的合成行编码可以确定行程和尺寸(即二进制位数)两个数据。通过行程来决定非零值元素的个数,而尺寸来得到下一个非零元素的值。

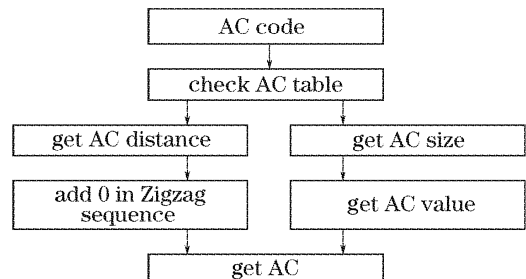


图 3 AC 解码流程

Fig. 3 Decoding AC procedures

2.5 反量化实现流程

量化通过降低整数精度以减少存储整数所需的位数,从而达到数据压缩的目的。JPEG 文件中一般都提供了 2 个量化表,色度量化表和亮度量化表。

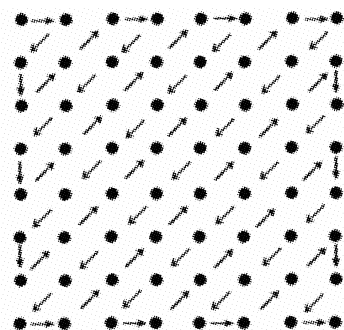


图 4 Z 字型变换图

Fig. 4 Zigzag order

反量化运算只需要将经过 Huffman 解码的 8×8 矩阵和量化表相应位置的数据相乘就可以了。另外值得注意的一点是,之前解码出来的数据以及量化表中的数据都是经过了 Z 字型(如图 4)变换的,为了

方便后面的解码工作需要对这些数据进行 Z 字型的反变换。

2.6 IDCT 变换

IDCT 变换即离散余弦反变换,其计算公式为

$$f(i, j) = \frac{1}{4} C(\mu) C(\nu) \left[\sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 F(\mu, \nu) \cos \frac{(2i+1)\mu\pi}{16} \cos \frac{(2j+1)\nu\pi}{16} \right], \quad (1)$$

式中 $C(\mu), C(\nu) = 0.7071$ (当 $\mu, \nu = 0$), $C(\mu), C(\nu) = 0$ (其他情况)。如果直接按照(1)式进行计算,将会有很大的计算量,势必影响解码效率,为此必须对计算方法进行优化处理。首先可以通过(1)式转化为两个一维的离散余弦反变换,即

$$F(\mu, \nu) = \frac{1}{2} C(\mu) \left[\sum_{i=0}^7 G(i, \nu) \cos \frac{(2i+1)\mu\pi}{16} \right], \quad (2)$$

$$G(i, \nu) = \frac{1}{2} C(\nu) \left[\sum_{j=0}^7 f(i, j) \cos \frac{(2j+1)\nu\pi}{16} \right], \quad (3)$$

对于 8 点一维的 IDCT 变换可以采用一种被称为 AAN 的快速算法。一维的 8 点 DCT 变换可以通过 16 点的离散傅里叶变换(DFT)来实现,而 16 点的 DFT 又可以通过快速傅里叶变换(FFT)实现;一个 8×8 的 DCT 运算仅需要 80 次乘法和 464 次加法操作,大大减小了运算量。用 AAN 算法实现 IDCT 运算时,实际上是用 IDFT 取代 IDCT,所以首先要得到 DFT 系数。方法是用反量化后直接将 DCT 系数分别乘以尺度因子,也就是说将尺度变换和反量化结合起来。

通过 IDCT 反变换得到的数据就是 YCbCr 颜色系统下的图像数据,需要将这些数据转化为更方便我们对激光器输出数据的 RGB 颜色系统。将这些 RGB 颜色系统下的图像数据按图像中像素点的排放顺序存在一个临时文件中,以供激光雕刻使用。

3 激光 JPEG 图像的雕刻

在激光图像雕刻中激光器是通过控制激光的移动和通断来雕刻工件上的图像的。激光雕刻只能表现出两个灰度,激光开通时为黑点,激光关断时为白点。因此我们上面所得到的临时文件还需要进行进一步的处理才能输出给激光器。数字半色调技术可以将一幅 JPEG 图像转换为黑白二值图像,正好与激光的通断相对应,所以待输出的临时文件需要经过半色调处理才能输出给激光器。

目前在激光图像雕刻领域中主要适用的半色调技术有固定阈值法、模式抖动和误差扩散等算法。

需要从中找到经处理后的图像能够最接近原始图像的算法。

固定阈值法是预先指定一个 $0 \sim 255$ 之间的阈值,图像中的每一个像素的灰度值都要与这个阈值进行比较,低于阈值的灰度值被设置为 0(黑),高于阈值的灰度值被设置为 255(白),这样得到的就是一幅二值黑白图像。模式抖动法是给定一个固定的抖动矩阵,将矩阵扩充成与灰度图像有相同的行和列,然后图像中的每个像素与抖动矩阵上的对应元素进行比较,灰度值大于或等于抖动矩阵对应元素值的像素被设置为 255,其他的则设置为 0。而误差扩散法则是将图像中的像素与一个固定阈值进行比较,像素的灰度值大于阈值时被设置为 255,反之则设置为 0。该像素与阈值之间的误差将按照一定的规则扩散到与该像素相邻的其他像素中去,通过这种误差扩散的方法遍历图像中的每一个像素。这种方法具有自我校正的能力,可以使转换后的二值化黑白图像更加接近原始灰度图像。

从图 5 可以看到,经过模式抖动法和误差扩散法处理过的激光雕刻图像相对于固定阈值法能够更

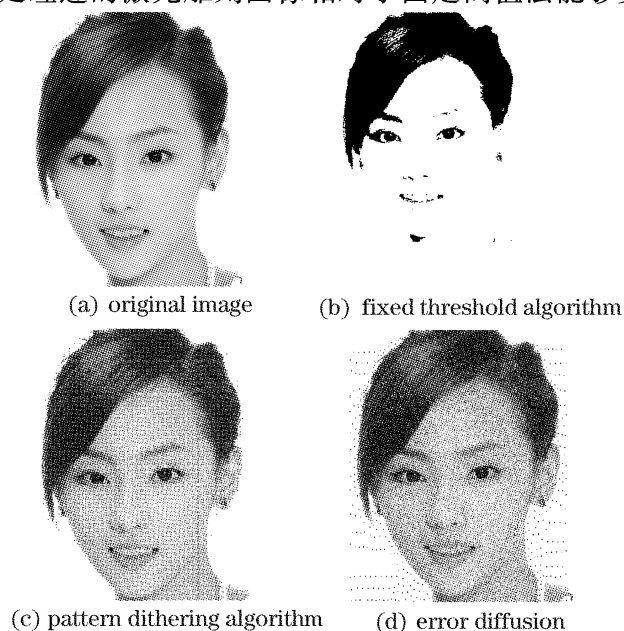


图 5 几种二值化黑白图像的比较

Fig. 5 Compare with several black-and-white image

好地再现原图的细节信息和层次。但是由于模式抖动将一个固定的扰动加入到原始图像中,所以可以观察到加工后的图像会出现固定的网格状纹理,而且图像中灰度急剧变化的地方会出现层次感不强的现象。而误差扩散法的处理顺序是预先设定的,造成了输出图像的边缘模糊的情况,可以看到很明显的过渡现象。

综合以上结论,采用了一种改进的误差扩散法—多级误差扩散法。这种方法与传统的误差扩散有相同的原理,都是将量化给定像素点所引入的误差扩散到其相邻的像素点上,从而保证所得到的二值图像与原始的灰度图像具有相近的局部平均亮度。改进之处在于多级误差扩散的扫描顺序不是预先设定的,而是通过“最大亮度算法”来决定的。此算法首先从原始图像的最低分辨率的图像开始遍历,不断选择具有最大平均亮度的像限,直到在具有最大分辨率的原始图像中找到相应的像素点。经过多级误差扩散处理过的二值图像如图 6 所示。

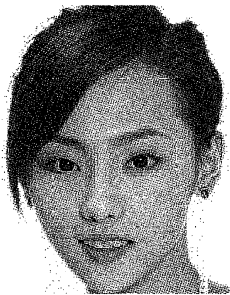


图 6 多级误差扩散算法

Fig. 6 Arithmetic of multi-scale error diffusion

从图 6 可以看出使用多级误差扩散算法处理后得到的二值图像与传统算法处理相比更接近原始灰度图像,很好地再现了图像的灰度层次,并且没有引入人工的纹理,细节部分也更加清晰。

4 激光图像雕刻技术在数字信号处理中的应用

该算法也适用于基于数字信号处理(DSP)的激光图像雕刻系统。将基于JPEG的激光图像扫描技

术引入到 DSP 系统中,可以实现脱机的激光雕刻方式,DSP 系统可以通过 U 盘保存 JPEG 图像数据,从而摆脱用 PC 机控制,大大节约了成本。在激光雕刻开始时,DSP 系统从 U 盘中读取 JPEG 图像数据,通过 DSP 对 JPEG 文件进行解码,解码后的图像数据需要通过 FPGA 来实现图像数据的输出。为了使解码速度和雕刻速度能够匹配并且尽可能减小占用缓存的资源,必须在 DSP 与 FPGA 之间加入一级缓存。DSP 每次只解码以最小编码单元(MCU)为单位的一行图像信息,将解码后一行 MCU 放入缓存中等待 FPGA 处理数据并输出。该系统即可以用于通过 DA 芯片控制振镜输出的打标激光器,也可以用于通过电机控制大幅面的雕刻激光器,具有很高的使用价值。

5 结 论

在激光图像扫描技术中引入 JPEG 文件格式解决了以往因使用 BMP 文件而占用过多存储资源的问题。而且相对于 BMP 文件,JPEG 有更为广泛的应用,大大拓展了激光图像扫描应用范围。通过采用多级误差扩散算法很大程度上提高了激光图像雕刻的效果。

参 考 文 献

- 1 Zhang Yizhen, Liu Tao. The technology of coding and decoding MPEG/JPEG with Visual C++ [M]. First Edition, Beijing: Post & Telecom Press, 2002. 10~46
张益贞,刘 滔. Visual C++ 实现 MPEG/JPEG 编解码技术 [M]. 北京:人民邮电出版社,2002. 10~46
- 2 Yinyi Lin, Tsung-Chieh Ko. A modified model-based error diffusion [J]. *Signal Processing Letters, IEEE*, 1977, (14): 36~38
- 3 Yuk Hee Chan, A modified multiscale error diffusion technique for digital halftoning [J]. *Signal Processing Letters, IEEE*, 1988, 5(11): 277~280
- 4 R. W. Floyd, L. Steinberg. An adaptive algorithm for spatial grey scale [C]. Proc. SID Int. Symp. Digest of Technical Papers, New York, 1975. 36~37
- 5 Yao Haige. Digital Halftone Technology [M]. Beijing: Print Industry Press, 2000. 143~158
姚海根. 数字加网技术 [M]. 北京:印刷工业出版社,2000. 143~158