

基于人眼视觉特性的印刷图像压缩技术研究

姚军财

(陕西理工学院, 汉中 723000)

摘要: 利用人眼对比度感知特性, 计算了包装印刷图像的最小感知误差阈值, 通过阈值对图像的 DCT 变换系数进行量化, 再采用 Huffman 编码方法实现编码, 并通过实验验证。实验获得其峰值信噪比为 49.647 1 dB, 压缩比达到 11.497 7, 编码效率达到 0.743 8, 即从客观评价上衡量数据压缩性能的指标均达到了较好的效果, 证明了解码图像与原始图像间的差异较小, 且从主观上人眼几乎不能分辨其差异, 说明图像使用的压缩技术不会对图像的品质产生影响。该压缩算法既能达到一定的压缩效果, 又能不影响包装印刷图像的观测效果, 所以能够较好地满足包装印刷图像传输的要求。

关键词: 包装印刷; 图像压缩; 人眼视觉特性; 离散余弦变换

中图分类号: TN941; TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)05-0069-04

Compression Technology of Printed Image Based on Human Vision Characteristics

YAO Jun-cai

(Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723000, China)

Abstract: The minimum detection error threshold of packaging and printed image perceived by human eye was calculated according to contrast detection characteristics of human eye. The DCT transform coefficients of image were quantified according to threshold value, encoded with Huffman coding method, and verified with experiments. The results showed that PSNR got to 49.647 1 dB; compression ratio was 11.497 7; and coding efficiency was 0.743 8. The result indicated that performance parameters of objective evaluation for data compression achieved better effect, and difference was little between the image decoded and the original image. From subjective evaluation, the eye could hardly distinguish the differences, which indicated that the image compression technology used did not affect the quality of the image. Results also showed that the compression algorithm can not only achieve some compression ration, but also does not affect the observed effect of printed image, so that it can satisfy the requirements of packaging and printing image transfer.

Key words: packaging and printing; image compression; human vision characteristics; discrete cosine transform

随着计算机网络的迅速发展和数字媒体的广泛应用,越来越多的信息通过网络进行传输,近些年信息传输在印刷出版领域也已得到了广泛地使用,特别是在印刷图像处理技术中,图像的存储和传输已经变得越来越重要^[1-4]。

通过网络来实现印刷图像传输不仅可以提高生产效率,而且可以提高印刷品的质量。印刷图像的近距离传输主要用局域网,而因特网则主要用于印刷图像的远程传输。在因特网中,一幅数字化的图像占有的数据量是十分巨大的,为缓解带宽不足和加快图像

信息传播速度要求,必须进行图像压缩。由于图像的最终观察者是人,人眼视觉系统特性是图像有损压缩的基础,且能很好地直接评价压缩效果的好坏,所以近些年结合人眼视觉感知特性进行图像压缩成为了研究的一个热点^[4-10]。但是如何利用人眼视觉特性,如何保证在一定的压缩比下达到较好的人眼对图像的观测效果,以满足包装印刷领域的要求,这方面的研究比较少。笔者根据人眼对比度敏感视觉特性的实际测量过程和图像离散余弦变换(DCT)特征,得出变换域图像的空间频率(周期/像素)及对比度定义方

收稿日期: 2011-01-04

基金项目: 国家自然科学基金(10447005);陕西省教育厅专项科研基金资助项目(2010JK463)

作者简介: 姚军财(1979—),男,湖北黄冈人,硕士,陕西理工学院讲师,主要从事颜色管理和光电图像方面的研究。

法,与人眼对比度敏感视觉特性研究中的观察目标光栅的空间频率(周/度)及对比度定义方法之间的关系,从而提出一种基于人眼对比度敏感视觉特性的原始图像频谱图的人眼感知误差阈值计算方法,利用计算出的阈值来量化原始图像频谱图的各个子块的信息,再通过 Huffman 编码方法实现编码,并通过实验验证。

1 离散余弦变换

离散余弦变换实质上是以一组不同频率和幅值的余弦函数和来描述一幅图像,其变换能将图像的大部分可视化信息集中在少数 DCT 系数上。由变换结果可知,变换后 DCT 系数能量主要集中在左上角,其余大部分系数比较小^[4-5],基于此,将变换后的系数进行门限操作,即将小于人眼感知阈值的系数量化为零,再进行 Huffman 编码,可以实现较理想的图像压缩效果和观测效果。DCT 变换的定义如下^[4-5]:

$$\text{正变换: } F(u, v) = C(u)C(v) \frac{2}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2M} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \quad (1)$$

$$\text{逆变换: } f(x, y) = \frac{2}{\sqrt{MN}} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} C(u)C(v)F(u, v) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2M} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \quad (2)$$

其中, $0 \leq x \leq M-1, 0 \leq y \leq N-1; 0 \leq u \leq M-1, 0 \leq v \leq N-1$ 。

2 人眼视觉特性和图像压缩方案

2.1 人眼对比度敏感视觉特性

人眼对比度敏感视觉特性是描述人眼视觉系统空间特性的主要指标,一般采用人眼对比度敏感值,即人眼对比度觉察阈值 C 的倒数来定量描述。对比度敏感函数(CSF)是反映不同条件下的对比度敏感与空间频率之间的关系。由于对比度敏感数据无法直接测量,实验中一般采用心理物理学测定阈值的办法来确定人眼对比度觉察阈值,然后取倒数即为人眼对比度敏感值。再对不同空间频率下的对比度敏感值进行分析、拟合,得到人眼视觉系统(HVS)的 CSF。到目前为止,人眼视觉特性的研究吸引了许多的国外研究者,也存在很多 CSF 数学模型,其中最具

有代表性的有: Movshon 模型、Barten 模型和 Daly 模型^[7-10]。一般采取 Movshon 模型,但其涉及到的影响参数太少,不能很好地反映人眼视觉特性;而 Daly 模型是一种到目前为止最能反映人眼视觉生理特性的模型,但是计算量太大,在图像处理中不实用;综合考虑图像处理的需要和能否较好地反映人眼视觉特性, Barten 模型是比较理想的模型:

$$\text{CSF} = \frac{1}{C(f)} = af \exp(-bf) [1 + c \exp(bf)]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

式中: $a = \frac{540(1+0.7/L)^{-0.2}}{1 + \frac{12}{w(1+f/3)^2}}$; $b = 0.3(1+100/L)^{0.15}$, $c = 0.06$ 。

其中: f 为空间频率,单位为周/度; w 为每度显示的大小; L 为平均显示亮度,当平均亮度不同时,对比度敏感函数的曲线也会不同。式(3)表明:人眼在中频区域表现为较敏感,随着频率的增加,敏感度下降较快,在低频区域,敏感曲线下降缓慢。

2.2 基于人眼对比度敏感视觉特性的图像压缩方法

人眼对比度觉察阈值的测量,一般采用光学的方法来控制光栅的亮度和对比度,采用心理物理学测定阈值的方法进行核定,即目标刚能为人眼觉察时所需要的最低调制度。光栅对比度采用 Michole 提出的亮度对比度定义^[7-10],见式(4)。表明当觉察阈值确定后, ΔL 是人眼最小的亮度觉察误差,只要是亮度变化小于 ΔL ,人眼就不可能觉察到其变化。在频域中研究图像压缩编码的基本原理是对变换域系数进行修改,对应地在空间域中表现为图像的亮度和色度的变化,即产生了亮度和色度误差。但若是在不影响视觉观察效果的前提下,则可最大限度地改变图像像素值的大小,实现压缩编码的需要。基于此,在图像压缩中,恢复图像的误差如果低于 ΔL ,即不会被人眼觉察,因此在量化过程中,只要量化误差控制在阈值范围内,就不会降低压缩图像的质量,且有利于图像数据的压缩。因此,在压缩过程中,先利用人眼视觉特性获得图像 DCT 变换后的每一频率的对比度觉察度阈值 C ,再根据式(4)计算最小感知误差 ΔL ,再把 ΔL 值与 DCT 变换后的对应系数进行比较,若系数小于 ΔL 值,直接记该系数为零,再通过 Huffman 编码方法进行编码。如此不仅可以实现图像数据的压缩,且考虑了人眼视觉特性,保证了人眼观测效果。

$$C = \frac{\Delta L}{L}, L = \frac{L_2 + L_1}{2}, L_2 = L + \Delta L/2, L_1 = L -$$

$$\Delta L/2 \quad (4)$$

式中: L_1, L_2 分别为两光栅的亮度; $\bar{L}$ 为整个光栅的平均亮度。为了在图像压缩技术中得到应用, 首先对图像进行 8×8 分块, 然后对每块进行离散余弦变换。对式(4)作一个改进, 取整个 8×8 分块图像的平均亮度作为 $\bar{L}$ 的值, 图像的任意一个像素点或任意一个小的区域的亮度与 $\bar{L}$ 的差值为 ΔL , 则其对比度仍可用式(4)来描述。

要计算 ΔL 阈值, 则要利用 Barten 模型计算人眼对比度觉察阈值, 那么需要解决一个问题, 即在图像处理中, 空间频率常用周期/像素来描述, 但在人眼视觉特性研究中, 空间频率是指每度视角内刺激的亮暗光栅的周数, 一般用周/度来描述^[7-10], 即需要知道两频率如何进行换算。

在人眼视觉特性的测量中, 光栅一般大小不变, 改变光栅周期条纹的宽度来实现光栅频率的改变。则视角 α 的计算方法描述见图 1, 计算结果见式(5)。

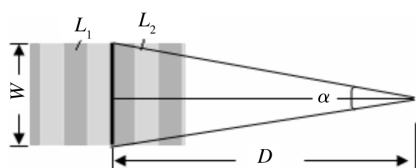


图 1 测量示意图及视角计算方法

Fig. 1 Sketch map of measurement and calculation method of viewing angle

$$\text{视角计算: } \alpha = 2 \arctan \frac{W}{2D} \cdot \frac{180}{\pi} \approx \frac{W}{D} \cdot \frac{180}{\pi} \quad (5)$$

其中: W 是光栅图像的宽度; D 为观察者距离显示器的距离。由于是在显示器上进行实验, W 不便于测量, 可直接通过像素值换算来得到。

图像的分辨率一般为一定值, 用 K pixel/inch 描述, 而 $1 \text{ inch} \approx 2.54 \text{ cm}$, 所以, W 和每个像素所占的空间大小 Δl 可表示为式(6)。其中, W 单位为 cm, Width 为图像整个宽度的像素数。

$$W = \frac{\text{Width}}{K} \times 2.54, \Delta l = \frac{2.54}{K} \quad (6)$$

则结合图像的特征和视觉研究的实际情况, 图像的空间频率可用式(7)来描述, 其中 n 为图像中某一像素或区域的坐标位置 ($n \geq 2$)。

$$f = \frac{W/2}{n\Delta l/2} \cdot \frac{1}{\alpha} = \frac{100D\pi}{180n \cdot \Delta l} \quad (7)$$

根据上面的方法, 结合式(3)、式(4)和式(7)便可

以计算出图像每一像素位置的人眼对比度敏感阈值, 继而便可得到对比度觉察阈值 C 和最小感知误差 ΔL 。

2.3 图像压缩方案

在图像压缩算法中, 首先将输入图像分割成大小为 8×8 的子块, 对每一子块作离散余弦变换计算, 得到 DCT 系数; 结合上面计算的人眼最小感知误差 ΔL , 在量化过程中, 把对应图像频率的 DCT 系数与 ΔL 比较, 当 DCT 系数小于 ΔL 时, 表明人眼对该变化不敏感, 完全可以将该 DCT 系数量化为零; 且根据 DCT 变换的特性, 经 DCT 变换后, 高频和部分中频的 DCT 系数非常小, 按该方法量化可以使得比较多的 DCT 系数量化为零, 则采用 Huffman 编码方法完全可以达到较理想的压缩效果; 在传输后, 对接收端解码量化了的 DCT 系数计算每一块的逆二维离散余弦变换, 再重组这些小块成为一幅图像, 即实现了图像的压缩。图像压缩方案见图 2。

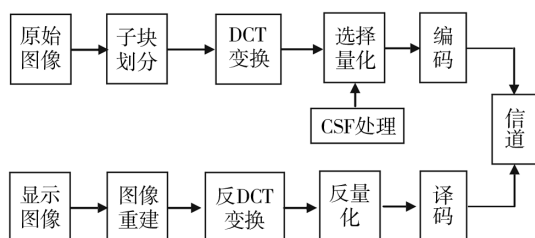


图 2 压缩方案流程

Fig. 2 Flow chart of compression method

3 实验结果与讨论

根据上面的方法和设计方案, 利用 MATLAB 编程进行实现, 选取大小为 256×256 的卡巴斯基的图标灰度图作为原始包装印刷图像, 得到结果见图 3。

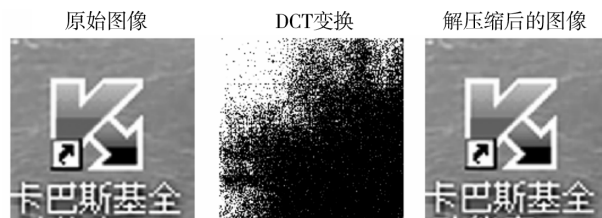


图 3 图像压缩实验结果

Fig. 3 Experimental results of image compression

对于包装印刷工程行业来说, 图像传输的结果最主要的是保证图像的质量, 从主观评价上即图像输入与输出的一致性, 从图 3 可以直观地发现人眼无法分辨解压缩图和原图。由于人眼不能分辨其差异, 表明

图像使用的压缩技术不会对图像的品质产生影响,完全可以满足包装印刷的要求。在客观评价上,主要体现在基于保真度标准的评价和基于压缩编码参数的评价。基于保真度标准的评价主要反映解码图像与原始图像间的差异,一般采用峰值信噪比 PSNR 来评价。根据 HVS 特性,一般 PSNR>30 dB 时,解码图像与原始图像间的差异较小,人眼几乎不能分辨其差异,且 PSNR 越大,差异越小。峰值信噪比 PSNR 的计算式描述为:

$$PSNR=10\lg\frac{255\times255}{\sum_{i=1}^M\sum_{j=1}^N[I(i,j)-I'(i,j)]^2}\tag{8}$$

其中: I 代表原始图像; I' 代表含水印图像。

根据式(8)计算其 PSNR 为 49.6471,表明解压缩图像与压缩图像的差异非常小,与主观评价相符,即图像使用的压缩技术不会对图像的品质产生影响。

基于压缩编码参数的评价中的参数主要有:压缩比、平均码字长度、图源的熵、编码效率和冗余度。实验中采用了对每一子块进行 DCT 变换和量化编码,每一子块的参数值不一样,共有 1024 个,取其平均值作为压缩编码评价的参数,计算得到的参数见表 1。

表 1 压缩编码评价的参数值

Tab.1 Parameters for compression code evaluation

压缩比	平均码字长	信源的熵	编码效率	冗余度
11.497 7	1.446 3	1.075 8	0.743 8	0.256 2

在图像压缩计算中,一个编码系统要研究的问题是设法减小编码的平均长度,使编码效率尽量趋近于 1,而冗余度尽量趋近于 0,压缩比尽可能的大。但是对于包装印刷工程行业来说,首要是要保证解压缩后的图像质量,在能保证品质的条件下,再考虑其他的参数。通过计算,PSNR 达到 49.647 1,保证了图像的观测效果,且压缩比能达到 11.497 7,平均码字长与信源的熵相差不大,编码效率达到 0.743 8。表明该压缩算法既能达到一定的压缩效果,又能不影响印刷图像的观测效果,可以较好地满足包装印刷工程行业图像传输的要求。

4 结论

提出了一种基于人眼对比度敏感视觉特性的原

始图像频谱图的人眼感知误差阈值的计算方法,利用计算出的阈值来量化原始图像频谱图的各个子块的信息,再通过 Huffman 编码方法实现编码。结果获得峰值信噪比为 49.647 1 dB,压缩比达到 11.497 7,编码效率达到 0.743 8。表明从客观评价上衡量数据压缩性能的性能指标均达到了较好效果,解码图像与原始图像间的差异较小,且从主观上人眼几乎不能分辨其差异,说明图像使用的压缩技术不会对图像的品质产生影响,表明该压缩算法既能达到一定的压缩效果,又能不影响包装印刷的观测效果,完全可以满足包装印刷图像传输的要求。当然平均码长和冗余度仍有待降低,压缩比和编码效率仍有待提高,但随着人眼视觉特性研究的不断深入,利用 HVS 建立人眼对图像的感知模型来研究图像压缩技术,对包装印刷工业是非常有意义的。

参考文献:

- [1] 骆光林,肖锐,和克智. 基于 MATLAB 对包装装潢图像压缩的研究[J]. 包装工程,2003,24(5):67-68.
- [2] 和克智,刘奇龙,赵鸿雁. 包装印刷中 JPEG2000 标准实现的研究[J]. 包装工程,2006,27(1):79-83.
- [3] 徐绍虎. 包装装潢图像小波去噪的实现[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版),2008,25(3):247-249.
- [4] 郑方,章毓晋. 数字信号与图像处理[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
- [5] 王新年,张涛. 数字图像压缩技术实用教程[M]. 北京:机械工业出版社,2009.
- [6] 姚军财,龚箭. CRT 显示器颜色特性化模型与实验研究[J]. 包装工程,2010,31(21):99-102.
- [7] NADENAU M. Integration of Human Colour Vision Models into High Quality Image Compression[D]. PhD thesis, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland, 2000.
- [8] JOHNSON G M. Measuring Images: Differences, Quality and Appearance[D]. PhD Thesis, Chester F. Carlson Center for Imaging Science of the College of Science, Rochester Institute of Technology, New York, 1998.
- [9] JOHNSON G M, FAIRCHILD M D. Darwinism of Color Image Difference Models[C]. 9th Color Image Conference, Scottsdale, Arizona, 2001:108-112.
- [10] COMES S, MACQ B M. Human Visual Quality Criterion [C]. SPIE, Visual Communication and Image Processing, San Jose, USA, 1990, 1360:2-13.