

文章编号:1007-2780(2012)06-0800-08

# 基于人眼对比度敏感视觉特性的彩色图像压缩技术

姚军财

(陕西理工学院 物理与电信工程学院, 陕西 汉中 723000, E-mail: yjc4782@126.com)

**摘 要:** 结合人眼对比度敏感视觉特性的测量过程和图像离散余弦变换特征,提出了一种基于人眼感知特性的彩色图像压缩技术方案。方案首先将彩色图像转换到 CLELAB 颜色空间描述,并分别对 3 个分量进行离散余弦变换处理,再结合人眼对比度敏感函数模型和 DCT 变换域系数特征对变换域系数进行量化处理,并采用 Huffman 算法进行编码压缩,最后采用逆过程进行解压并匹配出解压后的彩色图像。通过仿真实验,结果表明:在压缩比为 98.355 5:1 时,PSNR 能达到 37 dB 以上,人眼无法分辨出解压缩图像与源图像之间的差异;且编码效率能达到 0.74 以上,冗余度在 0.26 以下。表明提出的彩色图像的压缩技术方案在保证编码质量和图像质量的前提下能够实现较高的压缩比,是一种可行的、有效的彩色图像压缩技术方案。

**关 键 词:** 人眼视觉特性; 彩色图像; 图像压缩; 离散余弦变换; 频率

**中图分类号:** TP391; O432      **文献标识码:** A      **DOI:** 10.3788/YJYXS20122706.0800

## Color Image Compression Technology Based on Contrast Sensitivity Characteristics of Human Vision System

YAO Jun-cai

(College of Physics and Electronic Information Engineering, Shaanxi University of Technology,  
Hanzhong 723000, China, E-mail: yjc4782@126.com)

**Abstract:** According to the measurement process of the human visual contrast sensitivity characteristics and characteristics of Discrete Cosine Transform of the image, a color image compression technology program is proposed based on human visual characteristics. In the program, the color image is converted and described in CLELAB color space at first, and each of the three components of the color image is processed by Discrete Cosine Transform. Secondly, the transform domain coefficients are quantified according to the contrast sensitivity function model of human vision and coefficient's characteristics of Discrete Cosine Transform. The color image is encoded using Huffman algorithm. Lastly compressed images are decompressed using the inverse process, and the color images are matched after decompression. The simulation results show that PSNR can reach 37 dB or more when the compression ratio is 98.355 5:1, and the human eye can not distinguish the differences between the source image and decompressed image, and the coding efficiency can reach more than 0.74, redundancy in 0.26 below, which shows that the color image compression technology solutions proposed can achieve a higher compression ratio under the premise of ensuring the encoding quality and image quality, and is a feasible and effective solution for color image

收稿日期: 2012-03-10; 修订日期: 2012-04-09

基金项目: 陕西省自然科学基金(No. 2011JE012); 陕西省教育厅专项科研基金(No. 12JK0970)

作者简介: 姚军财(1979—),男,湖北黄冈市人,硕士,讲师,主要从事眼视觉光学、光电图像和显示器颜色管理方面的研究。

compression technology.

**Key words:** human visual characteristics; color image; image compression; discrete cosine transform; frequency

## 1 引言

在日常生活中,人类所接受到的全部信息中的 70% 以上是通过视觉得到的,与其他信息相比,图像包含的信息量更大、更直观、更确切,因此具有很高的使用效率和更广泛的适应性。因此在多媒体通信、互联网技术、光电成像等技术中,数字图像信息存储和传输占有很重要的地位。但是由于数字图像的数据量非常巨大,若不经压缩,图像传输所需的高传输速率和数字图像存储所需的巨大容量严重阻碍了图像通信等的发展,使得图像压缩技术在近些年得到了较大的发展<sup>[1-5]</sup>。

图像压缩编码的目的是以尽量少的比特数表征图像,同时保证重建图像的质量,使它符合预定应用场合的要求。近些年,国内外对其进行了大量的研究,各种图像压缩编码技术应运而生。其中报道最多是基于人类视觉特性理论、小波变换理论、分形理论等方面的图像压缩技术<sup>[1-6]</sup>,但是,在基于人眼视觉特性的彩色图像压缩技术方面的研究相对较少,其中 Marcus Nadenau 在 2000 年对其做了详细的报道,但是报道中采用的人眼视觉特性模型是其通过简单的实验测量和拟合数据得出的,模型考虑的影响因素较少,不具有较好的代表性<sup>[7]</sup>。在彩色图像压缩技术方面,由于色彩模式和数据组合直接影响了压缩质量和效果,且由于人眼彩色视觉特性到目前为止仍处于探索阶段,基于人眼视觉特性的彩色图像压缩技术仍需要进一步的研究和探索<sup>[7-12]</sup>。基于此,本文根据典型的人眼对比度敏感视觉特性的测量过程和图像离散余弦变换特征,提出了一种人眼感知特性在图像压缩技术中的应用方法,根据此方法提出了一种基于人眼视觉特性的彩色图像压缩技术方案,并通过仿真实验,结果表明:在压缩比达到 98.355 5:1 时,人眼无法分辨出解压缩图像与源图像之间的差异;编码效率能达到 0.74 以上。表明提出的彩色图像的压缩技术方案能够实现高压比和高压比质量的图像压缩,完全可以满足图像在多媒体技术、光电图像技术、移动通信等技术和日常生活中的需要。

## 2 DCT 变换

在图像技术研究中,离散余弦变换(DCT)将图像表示为具有不同振幅和频率的余弦曲线之和,由于大多数图像的高频分量幅值较小,相应于图像高频成分的系数经常趋近于零,且人眼对高频成分的失真不太敏感,所以可以用更粗的量化进行处理,因此传送变换域系数所用的数码率要大大小于传送图像像素所用的数码率,到达接收端后再通过反离散余弦变换回到样值,虽然会有一定的失真,但失真度在人眼可以接受的范围内。在数字化图像显示时,一般用其二维系数矩阵来描述,逆离散余弦变换则是把系数矩阵变换成对应的图像。其正逆变换的表达式如式(1)<sup>[8]</sup>。

正变换:

$$F_{pq}(u, v) = a_p a_q \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f_{mn}(m, n) \cdot \cos \frac{\pi(2m+1)u}{2M} \cos \frac{\pi(2n+1)v}{2N}$$

逆变换:

$$f_{mn}(m, n) = \sum_{p=0}^{M-1} \sum_{q=0}^{N-1} a_p a_q F_{pq}(u, v) \cdot \cos \frac{\pi(2m+1)u}{2M} \cos \frac{\pi(2n+1)v}{2N} \quad (1)$$

式中  $0 \leq m \leq M-1, 0 \leq n \leq N-1, 0 \leq p \leq M-1, 0 \leq q \leq N-1$ 。

## 3 颜色空间

色彩空间转换是指把一个色彩空间中的颜色数据转换或表示成另一个色彩空间中的相应数据,即用不同的色彩空间中的数据表示同一颜色。生活中普遍使用的显示器的色空间是 RGB 色空间,RGB 颜色模式能够很好地表现各种颜色,但其是一种与设备相关的色空间。在图像技术中,经常涉及到不同设备间的图像传输,则需要把 RGB 色空间转换到与设备无关的 CIELAB 色彩空间。而且根据研究发现<sup>[9-13]</sup>,在视网膜上的椎状细胞感知颜色是一个 3 个颜色的机制,在视觉信息向大脑的传导通路中则变成了一种 3 对颜色的机制,即光的强弱反应(黑-白, L)、红-绿反应

(R-G)、黄-蓝反应(Y-B),选择 CIELAB 色空间描述图像有利于利用人眼视觉特性进行图像压缩。从 RGB 色空间转换到 CIELAB 色空间的颜色转换关系如式(2)和(3)。CIELAB 颜色空间一般从 CIEXYZ 颜色空间导出,因此首先要从 RGB 颜色空间转换到 CIEXYZ 颜色空间,转换公式如式(2),再从 CIEXYZ 颜色空间到 CIELAB 颜色空间,转换公式如式(3)。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.412 & 0.358 & 0.180 \\ 0.213 & 0.715 & 0.072 \\ 0.019 & 0.119 & 0.950 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2)$$

if  $Y/Y_n \geq 0.008\ 856$ , 或  $X/X_n \geq 0.008\ 856$ , 或  $Z/Z_n \geq 0.008\ 856$ ,

$$L = 116 (Y/Y_n)^{\frac{1}{3}} - 16$$

$$a^* = 500 [(X/X_n)^{\frac{1}{3}} - (Y/Y_n)^{\frac{1}{3}}]$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_n)^{\frac{1}{3}} - (Z/Z_n)^{\frac{1}{3}}]$$

其中:  $X_n=95.04$ ;  $Y_n=100.0$ ;  $Z_n=108.89$ 。

else if  $Y/Y_n \leq 0.008\ 856$ , 或  $X/X_n \leq 0.008\ 856$ , 或  $Z/Z_n \leq 0.008\ 856$ ,  $L=903.3(Y/Y_n)$

$$a^* = 3\ 893.5 [(X/X_n) - (Y/Y_n)]$$

$$b^* = 1\ 557.4 [(Y/Y_n) - (Z/Z_n)] \quad (3)$$

#### 4 人眼视觉特性及其在图像技术中的应用

人眼对比度敏感视觉特性是人眼视觉系统空间特性的主要指标之一,是图像显示、处理、理解等技术的重要理论基础<sup>[12-15]</sup>。人眼对比度敏感视

觉特性一般采用对比度敏感函数(CSF)来定量描述,CSF 是用对比度敏感阈值(即对比度觉察阈值的倒数)与空间频率之间的函数关系  $S$  来表示,而人眼对比度敏感值到目前为止还无法直接测量,一般根据韦伯定理采用心理物理学的方法来确定,即用目标光栅刚好被人眼觉察而又不能完全分辨时的对比度值的倒数来定量表示<sup>[4-9]</sup>。

##### 4.1 亮度对比度的定义

在人眼视觉特性的实验研究中,目标光栅一般做成矩形明暗条纹。光栅条纹的对比度普遍采用 Michele 提出的亮度对比度( $C$ )定义,如式(4)<sup>[11]</sup>。其中,  $L_1$  和  $L_2$  分别表示明暗条纹的亮度。

$$C = \frac{\Delta L}{\bar{L}} \quad \bar{L} = \frac{L_2 + L_1}{2}$$

$$L_2 = \bar{L} + \Delta L/2 \quad L_1 = \bar{L} - \Delta L/2 \quad (4)$$

##### 4.2 人眼亮度对比度敏感视觉特性

从 20 世纪 30 年代,许多的专家学者对人眼亮度对比度敏感视觉特性做了大量的研究,但是其受到多个方面的影响,如:测量条件、测试者和实验者,观察距离等诸多外在因素,以致不同的研究者测量获得的人眼对比度敏感阈值及拟合的 CSF 数学模型均有一定差异,但是通过大量实验研究,普遍认为 Dally 等人得出的多参数复合模型是到目前为止最符合人眼视觉特性的,一般称之为 Dally 模型<sup>[15]</sup>,其表达式如式(5)。式中,  $f$  为空间频率,单位为周/度(cpd);  $L$  是光栅平均亮度,单位为  $\text{cd}/\text{m}^2$ ;  $i^2$  为图像的大小(假设图像为正方形), $\epsilon$  为频率缩放常量,取值为 0.9。

$$S(f, L, i^2) = \{[3.23 \cdot (f^2 \cdot i^2)^{-0.3}]^5 + 1\}^{-0.2} A_1 \epsilon f \cdot \exp(-B_1 \epsilon f) \cdot \sqrt{1 + 0.06 \cdot \exp(B_1 \epsilon f)}$$
$$A_1 = 0.801 \left(1 + \frac{0.7}{L}\right)^{-0.2}, B_1 = 0.3 \cdot \left(1 + \frac{100}{L}\right)^{0.15} \quad (5)$$

在实验中,一般要考虑到人眼的适应性调节、观察时人眼瞳孔直径、光栅条纹方向选择等带来的影响,则对式(5)中  $f$  进行修正,修正后的  $f$  如式(6)。其中,  $d$  为观测距离,  $e$  是图像成像在人眼视网膜中位置偏离中央凹的离心率,  $\theta$  是光栅条纹方向角。当亮度为  $100\ \text{cd}/\text{m}^2$ , 观测距离为 0.5 m 时,对人眼对比度敏感值归一化后,其对应的 CSF 模型如图 1 所示。CSF 模型在图像压缩技术中应用时,因为源图像是采用 DCT 变换,反变换后呈现明暗的竖条纹和水平条纹,对于竖条

纹和水平条纹,人眼的敏感程度是相同的,则当光栅条纹方向角  $\theta$  是  $\pi/2$  时,  $r_\theta=1$ ; Dally 等人是采用 Van Nes 和 Bouman 的实验数据拟合的 CSF 数学模型,其测试目标是单眼通过 2 mm 人工瞳孔观察,则图像成像在人眼视网膜中位置偏离中央凹的离心率为 1 mm。

$$f(d, e, \theta) = \frac{f}{r_d r_e r_\theta}, r_d = 0.856 \cdot d^{0.14}$$
$$r_e = \frac{1}{1 + 0.24e}, r_\theta = \frac{1 - 0.78}{2} \cos(4\theta) + \frac{1 + 0.78}{2} \quad (6)$$

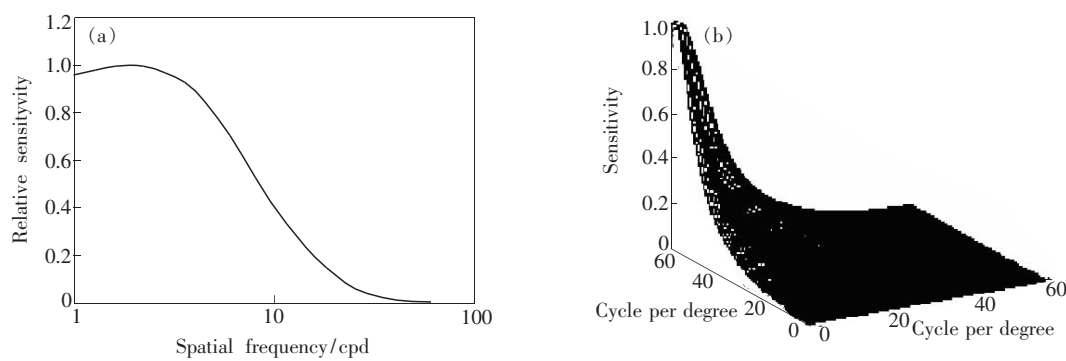


图 1 Dally 等人拟合的 CSF 模型示意图. (a) 二维图像;(b) 三维图像.

Fig. 1 CSF model fitted by Dally. (a) planar diagram; (b) three-dimensional diagram.

4.3 人眼彩色对比度敏感视觉特性

对于彩色 CSF,由于颜色的多样性和没有统一的色度对比度定义,色度通道的彩色对比度敏感函数的研究相关报道比较少,许多问题至今仍在实验和探讨之中<sup>[9-13]</sup>。K. T. Mullen 和 Wan-

dell 等人通过实验测量和拟合给出了一个由两个高斯函数的和组成的三参数的对立色空间的对比度敏感函数,如式(7)所示<sup>[11-12]</sup>。式中的参数如表 1。

$$S_{col}(f) = a_1 \cdot e^{b_1 \cdot f^{c_1}} + a_2 \cdot e^{b_2 \cdot f^{c_2}} \tag{7}$$

表 1 式(7)中的 3 个参数的值

Table 1 Values of three parameters in the equation (7)

| Parameters  | $a_1$     | $b_1$    | $c_1$     | $a_2$      | $b_2$      | $c_2$     |
|-------------|-----------|----------|-----------|------------|------------|-----------|
| Red-Green   | 109.141 3 | -0.003 7 | 3.424 36  | 93.597 11  | -0.003 67  | 2.167 71  |
| Blue-Yellow | 7.032 845 | -0.000 4 | 4.258 205 | 40.690 950 | -0.103 909 | 1.648 658 |

4.4 人眼视觉特性在图像技术中的应用

要利用人眼视觉特性进行图像压缩,必须把 CSF 数学模型与数字图像变换域特征结合起来,则需要解决以下问题:(1)如何将 CSF 模型中的频率与图像变换域频谱图中的频率联系起来,(2)如何利用 CSF 来量化图像信息。解决这两个问题的具体说明如下。

在视觉研究领域中,空间频率是指每度视角内刺激的亮暗光栅周期数,单位是周/度(cycle per degree;cpd)。在人眼视觉特性测量的实验中,正弦亮度光栅示意图如图 2 所示,观察视角  $\theta$  的计算方法的示意图如图 3。其中,  $W$  是光栅图片的宽度,  $D$  为观察距离,则视角  $\theta$  的计算如式(8)。在保证  $W$  和  $D$  不变的情况下,则观察视角不变,通过改变栅条纹像素的个数来改变其宽度,不同的栅条纹宽度则对应不同的明暗条纹周期数,则人眼每度视角内刺激的亮暗光栅的周期数不同,从而达到实现不同的空间频率。结合图像变换域特征,空间频率的计算具体推导如下所述。

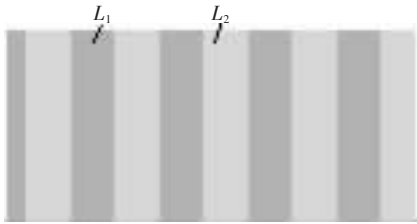


图 2 亮度光栅示意图

Fig. 2 Schematic diagram of luminance gratings

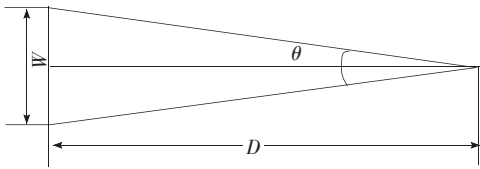


图 3 视角  $\theta$  的计算方法示意图

Fig. 3 Schematic diagram to compute viewing angle

$$\theta = 2\arctan \frac{W}{2D} \cdot \frac{180}{\pi} \approx 2 \frac{W}{2D} \cdot \frac{180}{\pi} = \frac{W}{D} \cdot \frac{180}{\pi} \tag{8}$$

因为图像任何一点的频率都不一样,根据人

眼视觉特性,不同的空间频率有不同的人眼觉察阈值,也即是说人眼在观测图像时,图像上的每一点空间频率不同,人眼觉察阈值也不同。则要求给出图像每一像素点的对比度和空间频率。而彩色图像用 3 个通道描述时均是亮度图,且 K. T. Mullen 在测量人眼色度对比度敏感阈值时利用颜色表现的亮度同样采用 Michole 亮度对比度定义来定义色度对比度,在结合 Michole 亮度对比度定义时,把子块的平均亮度认为是式(4)中的平均亮度  $\bar{L}$ ,并且代表光栅中的明或暗条纹的亮度。

压缩方案选取子块划分后进行 DCT 变换,每一个子块的大小为  $8 \times 8$  像素,图像经过 DCT 变换后频谱图为  $F(u,v)$ ,  $u,v$  分别表示离散系列的位置,通过实验发现,频谱图上任意连续两点间经过 DCT 反变换均呈现正弦周期条纹,如图 4 所示。若任意两点间有  $n$  像素点,则反变换图像上的条纹的周期数目为  $8/n$ 。而反变换呈现的正弦周期条纹刚好与人眼视觉特性测量的光栅条纹一致,则利用视觉研究领域中的空间频率的定义,图像变换域频谱图的频率用在 CSF 中的计算式如式(9)。通过 CSF 可以计算出  $8 \times 8$  大小子块变换后频谱图每一频率的人眼对比度觉察阈值,对应应在频谱图上,即为离散系列的每一位置  $(u,v)$  的人眼对比度觉察阈值。在人眼视觉特性的测量中,当人眼处于刚好能分辨而又不能完全分辨的临界状态时的光栅的对比度值即为人眼对比度觉察阈值,人眼不能分辨对比度低于阈值的光栅,

则在变换域图像压缩处理中,频谱图中对比度低于阈值的位置的信息即为冗余信息,完全可以剔除或量化为零。从而为图像能进行压缩处理奠定必要的基础。

$$f_x = \frac{8}{n_x \theta} \quad f_y = \frac{8}{n_y \theta} \quad f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (9)$$

## 5 彩色图像压缩方案

图像压缩所要解决的问题是尽量减少表示数字图像时需要的数据量,减少数据量的基本原理是除去其中多余的数据。由于一般采用计算机控制的显示器显示图像,则彩色图像的颜色均采用 RGB 色空间进行描述,但是其是一种与设备相关的色空间,需要转换到与设备无关的色彩空间,本文转换到 CIELAB 色空间。则图像分解为亮度、红-绿和黄-蓝 3 个分量的亮度图,本文压缩方案的基本思路是:首先对彩色图像进行色空间转换,并对分成的 3 个分量的亮度图分别进行 DCT 变换处理,再利用 CSF 模型进行变换域系数量化处理,并根据量化处理的零分布特征采用 Huffman 算法进行编码,再对 3 个分量编码进行组合、匹配,组建获得压缩后的彩色图像,进而进行存储或传输,最后对存储和传输的图像采用逆过程进行解压并匹配出解压后的彩色图像。具体的各个步骤说明如下:

(1)将彩色图像从 RGB 颜色空间转换到 CIEXYZ 颜色空间,再从 CIEXYZ 颜色空间到 CIELAB 颜色空间,3 个分量均呈现亮度图,对每个亮度图进行  $8 \times 8$  大小子块划分,对每一子块进行 DCT 变换。

(2)通过上面的方法计算获得  $8 \times 8$  大小子块所对应的频率的 CSF,并按相应的位置组成  $8 \times 8$  大小的矩阵  $J$ ,则分别有亮度、红绿和蓝黄 3 个  $J$  矩阵。

(3)比较变换域系数与  $J$  矩阵元素,根据人眼视觉特性,人眼不能分辨对比度低于阈值的光栅,即在变换域图像压缩处理中,频谱图中此位置的信息即为冗余信息,人眼对部分频率成分的失真不太敏感,完全可以量化为零。同时结合变换域系数特征,相应于图像高频分量的系数为零或趋近于零,以及部分系数趋近于零,人眼对此部分的频率成分的失真同样不太敏感,把此部分的频率系数同样置零进行量化处理,同时计算出每个

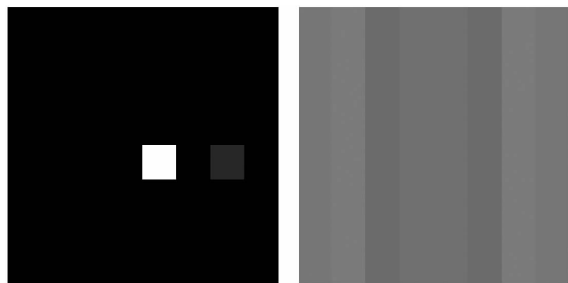


图 4 离散余弦变换频域与空域关系示意图。(a) Lena 图像子块中的任意一块的 DCT 变换频谱图中保留坐标为(5,5)和(5,7)的点的示意图;(b)两点反离散余弦变换得到的正弦条纹图像。

Fig. 4 Schematic diagram to reflect the relation between transform field and space field. (a) Schematic diagram of two drops with the coordinate of (5, 5) and (5, 7) saved in DCT field of Lena image; (b) Sine stripe image obtained by inverse DCT.

子块的该频率的系数的平均值。

(4)根据量化处理的零分布特征采用 Huffman 算法进行编码,对编码后的信息进行逆 DCT 变换获得 3 个分量的亮度图。

(5)利用色空间 CIELAB 描述颜色,重建获得压缩后的彩色图像。并进行存储或传输。

(6)对上述过程进行逆运算实现解码,获得解压缩后的图像,并从 CIELAB 颜色空间转换到

RGB 颜色空间进行显示。在解码过程中,由于量化是不可逆的,对于变换域系数置零的频率的系数均采用  $J$  矩阵中的相应频率的元素值来代替,如此使得舍去的信息可以用其人眼敏感阈值效果来代替,且由于所损失的信息人眼不太敏感,是一些不重要的信息,几乎不会引起图像的失真。其方案流程如图 5。

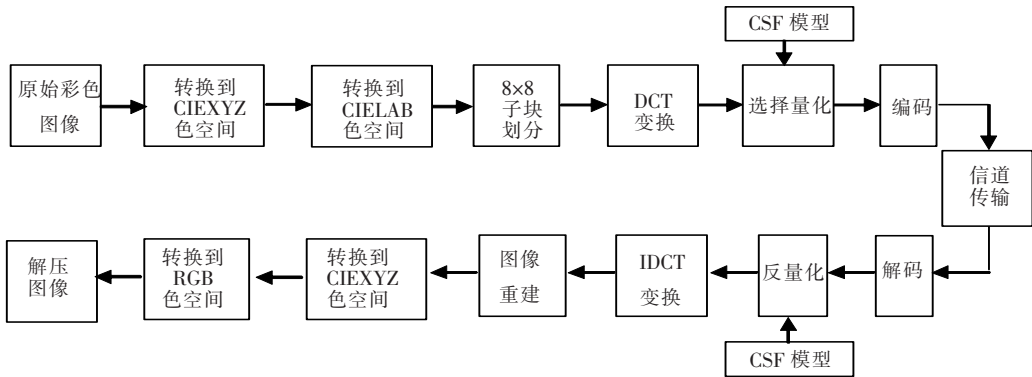


图 5 编解码压缩方法流程图

Fig. 5 Flow charts of compression method of coding and decoding

## 6 实验结果及讨论

### 6.1 实验结果

根据上面提出的方法采用 MATLAB 进行编

程仿真实验,实验的目的主要是验证上面提出的压缩方案的有效性,实验选取大小为 256 像素×256 像素的标准的 24 位彩色 Lena 图作为原始图片。实验结果如图 6 和图 7 所示。

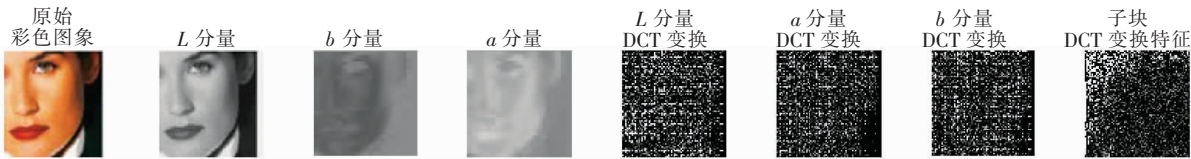


图 6 原始彩色图像和 3 个分量亮度图及其 DCT 变换特征

Fig. 6 Original color image and the brightness images of three components and their feature images by DCT



图 7 压缩后重建的彩色图像和 3 分量亮度图的解压后图像及解压后重建的彩色图像

Fig. 7 Reconstructed images after compression and decompressed images of three component color brightness images and reconstructed color image after decompression

### 6.2 讨论

为了衡量图像压缩的性能,一般采用衡量图

像压缩技术指标的 5 个参数,即图像的熵、平均码长、编码效率、冗余度和压缩比来衡量压缩编码的

质量,采用衡量逼真度的参数峰值信噪比( $R_{\text{PSN}}$ )来评价图像压缩质量,峰值信噪比的计算公式如式(10)。计算解压缩图像与原始图像之间的

$R_{\text{PSN}}$ 和压缩后图像的熵、平均码长、冗余度和编码效率,其结果如表 2。

表 2 衡量编码和压缩图像质量的参数值  
Table 2 Parameters values for estimating the quality of code and compression images

| 彩色图像颜色分量 | 信源的熵    | 平均码长    | 编码效率    | 冗余度     | 压缩比     | 彩色图像各分量<br>解压图的 PSNR | 匹配彩色<br>图像压缩比 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------------|---------------|
| $L$      | 1.099 7 | 1.526 3 | 0.863 7 | 0.136 3 | 5.241 5 | 38.580 2             |               |
| $a$      | 1.057 6 | 1.791 3 | 0.762 2 | 0.237 8 | 4.466 1 | 37.343 1             | 98.355 5      |
| $b$      | 1.046 7 | 1.904 0 | 0.740 0 | 0.260 0 | 4.201 6 | 39.168 0             |               |

$$R_{\text{PSN}} = 10 \times \log_{10} \frac{M \times N \times 255 \times 255}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i,j) - f'(i,j)]^2}$$

(10)

从图 6 和图 7 的仿真实验结果以及表 2 的计算结果可以看出:(1)解压缩图像与原始图像从主观上人眼无法区分,且 3 个分量解压缩图像与原始图像 3 个分量的  $R_{\text{PSN}}$  均能达到 37 dB 以上。 $R_{\text{PSN}}$ 是从客观上评价解压缩图像与原始图像之间的逼真程度,一般当  $R_{\text{PSN}} > 30$  dB 时,表明两图像之间的逼真度比较高,且  $R_{\text{PSN}}$  越大,两图像之间就越相似,人眼就越不能区分,计算结果表明本文的压缩方案能达到较好的视觉效果。(2)从各分量亮度图的压缩编码质量衡量参数上看,在较高压缩比 98.355 5:1 时,编码效率最低还能达到 0.74,冗余度最高为 0.26,对于平均码长、编码效率和冗余度在评价压缩编码质量时,编码系统尽量的减小编码平均长度,使其编码效率尽量趋近于 1 而冗余度趋近于零,计算结果表明压缩编码质量仍能达到较好的效果。

对比本压缩技术与 Marcus Nadenau 报道的基于人眼视觉特性的彩色图像压缩技术,在 Marcus Nadenau 报道中,得到较好效果的图像压缩,压缩比只能达到 36:1,而本算法能实现 98.355 5:1 的图像压缩,压缩比有明显的提高。且 Marcus

Nadenau 报道中采用的人眼视觉特性模型是其通过简单的实验测量和拟合数据得出的,模型不具有较好的代表性。本算法采用眼视觉光学领域普遍接受的视觉特性模型,具有较好的代表性。对比结果表明本文提出的基于人眼对比度敏感视觉特性的数字图像压缩技术是一种可行的、较好的压缩技术。

7 结    论

提出了一种基于人眼视觉特性的彩色图像压缩技术方案,方案首先将彩色图像转换到 CIELAB 色空间,并分别对 3 分量进行子块划分和 DCT 变换处理,再结合 CSF 模型和 DCT 变换域系数特征对变换域系数进行量化处理,并采用 Huffman 算法进行编码压缩,最后采用逆过程进行解压并匹配出解压后的彩色图像。通过仿真实验结果表明:在压缩比为 98.355 5:1 时, $R_{\text{PSN}}$  能达到 37 dB 以上,人眼无法分辨出解压缩图像与源图像之间的差异;且编码效率能达到 0.74 以上,冗余度在 0.26 以下。表明提出的彩色图像的压缩技术方案在保证图像质量的前提下能够实现较高的压缩比,且编码质量和解压缩图像均达到较理想的效果,完全可以满足日常生活中彩色图像的存储和传输的需要。

参    考    文    献:

[1] 张宁,吴银花,金龙旭. 适于航天应用的高速 SPIHT 图像压缩算法 [J]. 液晶与显示, 2011, 26(6):847-852.  
[2] 丁绪星,朱日宏,李建欣. 一种基于人眼视觉特性的图像质量评价 [J]. 中国图像图形学报, 2004, 9(2):191-192.  
[3] 苏令华,李纲,衣同胜,等. 一种稳健的高光谱图像压缩方法 [J]. 光学精密工程, 2008, 15(10):1610-1616.  
[4] 姚军财. 基于人眼对比度敏感视觉特性的图像质量评价方法 [J]. 液晶与显示, 2011, 26(3):390-396.

[ 5 ] 焦华龙,陈刚. 一种分形彩色图像压缩编码方法 [J]. 软件学报, 2003, 14(4):864-868.

[ 6 ] 申静. 一种利用人眼视觉特性的数字图像水印技术 [J]. 液晶与显示, 2011, 26(2):234-240.

[ 7 ] 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.

[ 8 ] 范媛媛, 沈湘衡, 桑英军. 基于对比度敏感度的无参考图像清晰度评价 [J]. 光学 精密工程, 2011, 19(10): 2486-2495.

[ 9 ] 许宝卉, 李言. 基于 ICC 标准的 CRT 色空间转换方法的研究与比较 [J]. 液晶与显示, 2009, 24(3):438-442.

[10] Marcus N. Integration of human colour vision models into high quality image compression [D]. Switzerland: École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2000.

[11] Mullen K T. The contrast sensitivity of human color vision to red-green and blue-yellow chromatic gratings [J]. *The Journal of Physiology*, 1985, 359:381-400

[12] Johnson G M, Fairchild M D. Darwinism of color image difference models [C]// *IS and T/SID the 9th Color Imaging Conference*, Scottsdale, USA; Society for Imaging Science and Technology, 2001:108-112.

[13] Straw A D, Rainsford T, David C, *et al.* Contrast sensitivity of insect motion detectors to natural images [J]. *Journal of Vision*, 2008, 8(3):1-9.

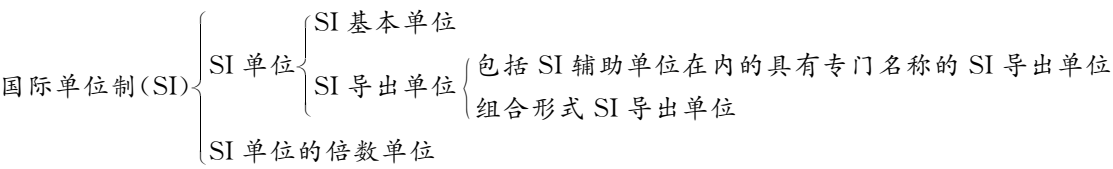
[14] 李显凌. 基于改进 MC 算法的 CT/MR 图像三维重建 [J]. 液晶与显示, 2011, 26(5):683-687.

[15] Peli E. Contrast sensitivity function and image discrimination [J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 2001, 18(2):283-293.



国际单位制(SI)

在科技期刊和科技论文中,要求物理量和单位使用国际单位制(SI)和法定计量单位。国际单位制的构成是:



公差表示法

1. 参量与其公差的单位相同时,单位可以只写 1 次。例如:“12.5 mm±0.2 mm”可写为“(12.5 ± 0.2)mm”,但不得写作“12.5±0.2 mm”。公差用百分数表示时,例如:“λ=550 nm±2 %”这种表示是错误的,应为“λ=550×(1±0.02)nm”。
2. 参量的上、下公差相等但单位相同时,公差分别写在参量的右上、右下角,且单位只写一次,例如:10<sup>±0.1</sup><sub>0.2</sub>g;当参量与公差的单位不同时要分别写出,例:30 cm<sup>+5</sup><sub>3</sub> mm。
3. 参量上、下公差的有效数字应全部写出。例如:18<sup>+0.200</sup><sub>0.255</sub> mg。
4. 参量的上或下公差为“0”时,“0”前面的符号应省略。例如:273<sub>0</sub><sup>+1</sup> K。
5. 表示 2 个绝对值相等、公差相同的量值范围时,范围号不能省略。例如:(−7.0±0.5)~(7.0±0.5)℃。
6. 表示带百分数公差的中心值时,百分号只需写 1 次,且“%”前的中心值与公差应用括号括起来。例如:(65±0.5)%。