

文章编号:1007-2780(2012)03-0391-05

基于颜色色差的彩色图像压缩技术研究

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: yjc4782334@yahoo.com.cn)

摘 要: 根据图像 DCT 变换域系数特征和结合人眼辨别颜色色差的阈值,提出了一种基于颜色色差的彩色图像压缩技术方案。方案首先将彩色图像转化到与设备无关的 CIELAB 颜色空间,并进行 DCT 变换和色差计算;再通过人眼辨别颜色色差的阈值进行有选择的量化,并通过 Huffman 算法进行编码、压缩;最后利用其逆过程进行解压。通过仿真实验,结果表明,重建的彩色解压缩图像与源图像几乎一样,各分量亮度图的解压缩图像的 PSNR 均超过 30 dB,人眼几乎不能分辨其差异;衡量编码质量优劣的 5 个参数值均达到较好效果,且在保证解压缩图像质量的情况下,彩色图像的压缩比能够达到 107.167 8,完全可以满足彩色图像压缩的需求。结果表明,提出的基于颜色色差的图像压缩技术方案是一种可行的、较好的彩色图像压缩技术。

关 键 词: 图像压缩; 色差; 离散余弦变换; 冗余度

中图分类号: TP391; O432 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20122703.0391

Color Image Compression Technology Based on Chromatic Aberration

YAO Jun-cai

(School of Physics and Telecommunication Engineering, Shaanxi University of Technology,
Hanzhong 723000, China, E-mail: yjc4782334@yahoo.com.cn)

Abstract: According to DCT coefficient characteristic of image and the threshold of the human eye to distinguish colors and chromatic aberration, a color image compression technique scheme was proposed based on the chromatic aberration. In the program, color images were transformed into the device-independent CIELAB color space firstly, and were transformed by DCT and their chromatic aberration was calculated. Then the images were quantified selectively by color aberration threshold of the human eye, and were coded by Huffman algorithm. Finally the images were decompressed by the above inverse process. Through simulation experiments, the results showed that reconstructed color images after decompression were almost the same as the source image, that the PSNR of the brightness images decompressed of each component were more than 30 dB, and that the human eye could hardly tell their difference. The five parameters values measured the coding quality were better, and the compression ratio of color image can be achieved 107.167 8 in case of ensuring the decompression image quality, which fully met the demand for color image compression. Comprehensive results showed that proposed image compression technology scheme color based on chromatic aberration was a viable, good color image compression technology.

Key words: image compression; chromatic aberration; discrete cosine transform; redundancy

收稿日期: 2011-12-26; 修订日期: 2012-02-27

基金项目: 陕西省自然科学基金项目(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,湖北黄冈人,硕士,讲师,主要从事光电图像和颜色管理方面的研究。

1 引 言

随着现代社会信息需求量的不断增长,信息技术与通信、网络容量间的矛盾日益突出,特别是具有庞大数据量的图像信息,更是难以传输和存储,以致图像压缩技术越来越受到人们的关注^[1-3]。图像压缩的目的是在保证图像质量的前提下以较少的数据表达图像信息。国内外专家对图像压缩技术已经做了大量的研究,提出了许多方法,并形成了国际压缩标准,如 JPEG、MPEG、H. 261 等^[4-7]。但是随着图像压缩技术的深入研究,人们发现这些技术、方法均存在一定的缺陷,如没有考虑人眼视觉特性,在高压缩比时图像失真较大,存在块状现象,没有考虑显示设备和颜色空间对图像压缩质量的影响等。为此,国内外专家又提出了一些压缩技术和方法,如,基于人眼视觉特性的图像压缩技术,小波变换图像压缩技术,分形图像压缩技术等^[8-12],但是均处于探索研究阶段,没有完善的图像压缩技术标准。本文根据图像离散余弦变换(DCT)特征和结合人眼对颜色色差的辨别能力,提出了一种基于颜色色差的彩色图像压缩技术方案,方案首先把彩色图像转化到与设备无关的 CIELAB 色空间,并进行 DCT 变换和色差计算;再通过人眼辨别颜色色差的阈值进行有选择的量化,并通过 Huffman 算法进行编码压缩。方案中结合了人眼对颜色的分辨能力,同时考虑到显示设备对图像压缩的影响,图像压缩和解压均在 CIELAB 色空间中进行。通过仿真实验,结果表明,各分量亮度图的解压缩图像的 PSNR 均超过 30 dB,人眼几乎不能分辨其差异,重建的彩色解压缩图像与源图像基本一致,衡量编码质量优劣的 5 个参数值均得到较好效果。表明提出的基于颜色色差的图像压缩技术方案是一种可行的、较好的彩色图像压缩技术。

2 CIELAB 颜色空间及色差公式

2.1 CIELAB 颜色空间

自然界的颜色是丰富多彩的,把各种各样的颜色通过一定的方法确定下来,对于交流颜色、传输颜色信息有着重要的意义。生活中普遍使用的显示器的颜色空间是 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色彩空间。国际照明委员会(CIE)根据人眼的视觉系统对可见光的感知结果,在 1976 年,推荐了一种新的颜色空间及其相关色差公式,即 CIELAB(或 $L^*a^*b^*$) 颜色系统,现在已成为世界各国正式采纳、作为国际通用的测色标准。它适用于一切光源色或物体色的表示与计算。CIELAB 色空间有以下优点:①当颜色的色差大于视觉的识别阈值(恰可察觉)而又小于孟塞尔系统中相邻两极的色差值时,能较好地反映物体色的心理感受效果。②CIELAB 表色直观,能直观地评价颜色。③CIELAB 是与设备无关的色彩空间,在色彩管理和显色设备中,利用此特性,可沟通和推算出原稿色、屏幕色和印刷色在色空间的对应关系,达到颜色在视觉上的一致,实现不同设备之间的色彩转换。CIELAB 空间由 CIEXYZ 系统通过数学方法转换得到,转换关系为式(1)。其中 X 、 Y 、 Z 是物体的三刺激值; X_0 、 Y_0 、 Z_0 为 CIE 标准照明体的三刺激值; L^* 表示心理明度; a^* 、 b^* 为心理色度。由于在生活中图像普遍使用显示器显示,则需要先把 RGB 色空间转换到 CIEXYZ 系统,转换关系为式(2)^[13-16]。

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 $Z/Z_n \leq 0.008\ 856$,
$$L = 903.3(Y/Y_n)$$
$$a^* = 3\ 893.5[(X/X_n) - (Y/Y_n)]$$
$$b^* = 1\ 557.4[(Y/Y_n) - (Z/Z_n)] \quad (1)$$
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.412 & 0.358 & 0.180 \\ 0.213 & 0.715 & 0.072 \\ 0.019 & 0.119 & 0.950 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.2 色差公式

色差是指用数值的方法表示两种颜色给人色彩感觉上的差别。若两个色样样品都按 L^* 、 a^* 、 b^* 标定颜色,则两者之间的总色差 ΔE_{ab}^* 以及各项单项色差可用式(3)进行计算。

$$\text{明度差: } \Delta L^* = L_2^* - L_1^*,$$
$$\text{色度差: } \Delta a^* = a_2^* - a_1^*, \Delta b^* = b_2^* - b_1^*,$$

总色差: $\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{\frac{1}{2}}$

(3)

根据国内外的研究表明,到目前为止,显示器显示颜色控制精度最高能达到 $0.54\Delta E_{ab}^*$,而人眼一般在 $1\Delta E_{ab}^*$ 以内无法分辨出颜色差异^[14-16]。

3 DCT 变换

离散余弦变换 (DCT: Discrete Cosine Transform),是一种类似于离散傅里叶变换的正交变换,是一种实数域变换,其变换核为实数余弦函数。对于一幅图像,DCT 正逆变换分别是将图像的灰度分布函数变换为图像的频率分布函数和将图像的频率分布函数变换为灰度分布函数,图像中灰度变化比较缓慢的区域可以用较低频率的余弦信号近似,而灰度变化比较大的区域用高频率的余弦信号近似,其频域反映了图像在空域灰度变化的剧烈程度,即反映了图像灰度的变化速度,即图像的灰度梯度大小。图像进行离散余弦变换后,图像的主要可视信息都集中在 DCT 变换的一小部分低频系数中,即图像的主要能量集中在此,表现为变换域系数矩阵左上角的系数值比较大,相应于图像高频成分的系数经常趋近于零,加上人眼对高频成分的失真不太敏感,则可以利用这些规律在频域上减少量化比特数,达到压缩的目的。DCT 正逆变换分别如式(4)和式(5)^[4-5]。

DCT 正变换:

$$B_{pq} = a_p a_q \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} A_{mn} \cos \frac{\pi(2m+1)p}{2M} \cos \frac{\pi(2n+1)q}{2N}$$

$0 \leq p \leq M-1, 0 \leq q \leq N-1$ (4)

其中:

$$a_p = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{M}}, & p = 0 \\ \frac{2}{\sqrt{M}}, & 0 \leq p \leq M-1 \end{cases}$$
$$a_q = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}}, & q = 0 \\ \frac{2}{\sqrt{N}}, & 0 \leq q \leq N-1 \end{cases}$$

逆 DCT 变换:

$$A_{mn} = \sum_{p=0}^{M-1} \sum_{q=0}^{N-1} a_p a_q B_{pq} \cdot \cos \frac{\pi(2m+1)p}{2M} \cos \frac{\pi(2n+1)q}{2N}$$

$0 \leq m \leq M-1, 0 \leq n \leq N-1$ (5)

4 基于颜色色差的彩色图像压缩技术方案

对于彩色图像,每两个像素点间均存在颜色差异,而图像的最终观察者是人眼,若两颜色的色差小于人眼的色差阈值,则人眼无法分辨其差异,则表明图像存在冗余。对于一幅图像,在一定时刻,人眼观察的范围是有限的,则取图像 8×8 像素大小作为每一时刻观察的对象,对于整个 8×8 大小子块的观察效果来说,如果其中一像素点与其总体效果颜色差异较大,则人眼能很好的区分,这样的像素点必须保留,若色差较小,人眼不敏感,则在量化该点时,可用较小的比特率来量化,从而达到实现压缩的目的。具体的压缩方案如下:①将彩色图像颜色空间转换为 CIELAB 色空间。因为显示器的 RGB 颜色空间是与设备相关

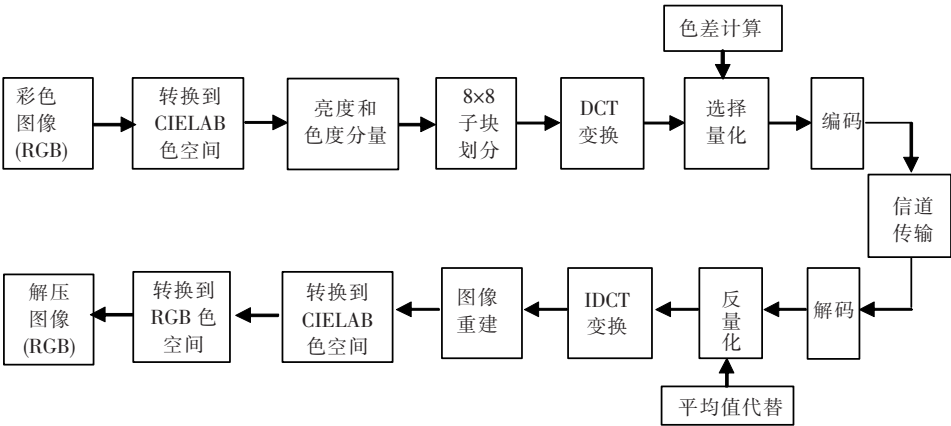


图 1 编解码压缩方法流程图

Fig. 1 Flow charts of compression method of coding and decoding

的色空间,不同的显示器显示同一幅图像颜色效果不同,则在编码压缩过程中,必须转化为与设备无关的 CIELAB 色空间,转换关系如式(1)和式(2)。②对 CIELAB 色空间描述的彩色图像进行亮度和色度分离,得到 L^* 、 a^* 、 b^* 三个分量亮度图。③对每个分量亮度图进行 8×8 像素大小子块划分,且对每个子块进行 DCT 变换,变换后取 3 个子块的平均值作为子块图像观察的总体效果,其他点像素值与该值进行对比,算其色差(色差公式如式(3)),若色差小于 $1\Delta E_{ab}^*$,则在量化时,将该点量化为零。④根据量化的结果和零分布的特征,采用 Huffman 算法进行编码、压缩,实现图像低比特率传输或存储。⑤依据前面过程的逆过程进行解压。由于在解压过程中,反量化是

不可逆的,则解压图像存在一定的失真,为了更好地减少解压后图像信息的失真,在解压过程中,把量化为零的点用其平均值进行代替,且由于所损失的信息人眼不太敏感,是一些不重要的信息,几乎不会引起图像较大的失真。其方案流程如图 1。

5 仿真实验结果及讨论

5.1 实验结果

为了验证提出的基于颜色色差的彩色图像压缩技术方案的有效性,采用 MATLAB 进行编程仿真实验,实验选取大小为 $256\text{ 像素}\times 256\text{ 像素}$ 的标准的 24 位彩色 Lena 图作为原始图像。实验结果如图 2。

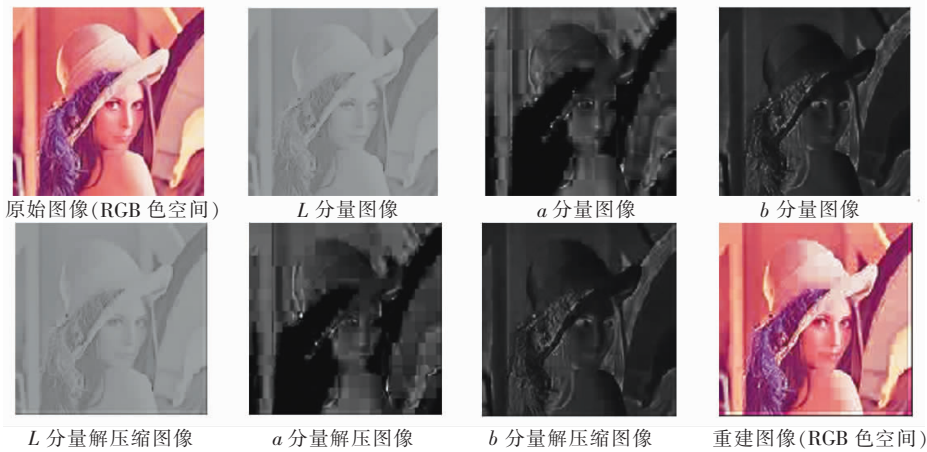


图 2 原始彩色图像和 3 个分量亮度图及其解压缩图像

Fig. 2 Original color image and the brightness images of three components and their images decompressed

5.2 讨论

在图像压缩技术中,为了衡量编码压缩质量的好坏,一般采用编码质量和图像质量两个方面来说明,其一是采用 5 个参数值,即压缩比、平均码字长度、信源的熵、编码效率和冗余度来衡量编码质量的优劣。衡量标准为:在保证一定的压缩图像质量前提下,压缩比越大越好;平均码字长越接近于信源的熵越好;编码效率越接近于 1 越好;冗余度越接近于零越好。其二是采用峰值信噪比

(PSNR)来衡量解压缩图像与源图像的差异,用以说明压缩图像质量的优劣。衡量标准为:一般 PSNR 在 30 dB 以上时,人眼不容易分辨其差异,表明解压缩图像与源图像非常相似;且 PSNR 越大,两图像越相似^[1-5]。为了得到编码压缩质量,计算 L^* 、 a^* 、 b^* 三个分量亮度图各自在编码压缩时的 5 个参数值,以及解压缩图像与源图像的 PSNR。结果如表 1。

结合表 1 的计算结果和图 2 的仿真实验结果

表 1 衡量编码和压缩图像质量的参数值

Table 1 Parameters values to estimate the quality of code and compression images

彩色图像颜色 分量亮度图	信源的熵	平均码长	编码效率	冗余度	压缩比	各分量亮度图 解压图的 PSNR	匹配彩色 图像压缩比
L^* 分量亮度图	1.579 6	1.745 5	0.904 95	0.095 04	6.0782	34.469 3	
a^* 分量亮度图	1.496 3	1.829 1	0.8180 5	0.181 94	4.5238	33.194 2	107.167 8
b^* 分量亮度图	1.456 1	1.927 0	0.756 92	0.2430 7	3.897 5	35.247 9	

表明:(1)从直观上看,各分量亮度图的解压缩图像和重建的彩色解压缩图像与源图像差异非常小,各分量亮度图的解压缩图像的 PSNR 均超过 30 dB,人眼几乎不能分辨其差异,表明解压缩图像质量较好。(2)衡量编码质量优劣的 5 个参数值均得到较好效果,编码效率最高能够达到 0.904 95,而且在保证解压缩图像质量的情况下,彩色图像的压缩比能够达到 107.167 8,完全可以满足彩色图像压缩的需求。

6 结 论

根据图像离散余弦变换特征和结合人眼对颜色的辨别能力,提出了一种基于颜色色差的彩色图像压缩技术方案,方案首先把彩色图像转化到

与设备无关的 CIELAB 色空间进行描述;再进行亮度和色度分离,对分离的亮度和色度图分别进行子块划分和 DCT 变换,并进行色差计算;再通过人眼辨别颜色色差的阈值进行有选择的量化,并通过 Huffman 算法进行编码,从而实现彩色图像的压缩;最后利用其逆过程进行解压。通过 MATLAB 编程进行仿真实验,实验结果表明,各分量亮度图的解压缩图像的 PSNR 均超过 30 dB,人眼几乎不能分辨其差异,重建的彩色解压缩图像与源图像基本一致,衡量编码质量优劣的 5 个参数值均得到较好效果,表明提出的基于颜色色差的图像压缩技术方案是一种可行的、较好的彩色图像压缩技术。

参 考 文 献:

- [1] 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.
- [2] 张海燕,王东木,宋克欧,等.图像压缩技术[J].系统仿真学报,2002,14(7):831-835.
- [3] 田秀伟,郑喜凤,丁铁夫.一种基于小波-Contourlet 变换的图像编码算法[J].液晶与显示,2009,24(2):268-272.
- [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] 赵秀影,商玉凤,翟林培,等.基于 EBCOT 的平衡多小波航空图像压缩编码[J].光学精密工程,2007,15(11):1796-1801.
- [7] 高文,朱明,田润澜,等.一种空间划分与谱间预测相结合的超光谱图像压缩新方法[J].光谱学与光谱分析,2011,31(8):2287-2293.
- [8] 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.
- [9] 张宁,吴银花,金龙旭,等.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.
- [10] Peli E. Contrast sensitivity function and image discrimination[J]. J. Opt. Soc. Am. A, 2001, 18(2):283-293.
- [11] 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.
- [12] 姚军财.基于人眼视觉特性的印刷图像压缩技术研究[J].包装工程,2011,32(5):69-73.
- [13] 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.
- [14] Yao J C. Measurements of human vision contrast sensitivity to opposite colors using a cathode ray tube display[J]. Chinese Science Bulletin, 2011, 56(23):2425-2432.
- [15] Roy S B. Methods for characterizing CRT displays[J]. Displays, 1996, 16(4):173-182.
- [16] Roy S B. A generic approach to color modeling[J]. Color Res. Appl., 1997, 22(5):318-32.