

利用色彩分量相关性的彩色图象压缩编码

陈宇拓 余英林

(华南理工大学电子与通信工程系, 广州 510641)

摘要 为了提高彩色图象编码速度,提出了一种利用色彩分量相关性,结合小波变换来对彩色图象进行压缩编码的新方法.该方法是先将彩色图象3个色彩分量之一首先进行小波变换零树编码,并将该色彩分量分割成若干大小相等,但不重叠的子块,然后再计算出该色彩分量在每个子块中与另两个色彩分量在同一子块中的相关系数,这样对另两个色彩分量的压缩编码就转变成对相关系数的编码.解码则是通过反量化和小波逆变换,以得到一个重构的色彩分量,再由这个色彩分量和重构的相关系数,解出另两个色彩分量,最后由这3个色彩分量来恢复图象.实验结果表明,该方法不仅编(解)码速度快,而且有良好的信噪比、压缩比及视觉效果.

关键词 色彩分量相关性 相关系数 小波变换 零树编码

中图法分类号:TN919.8 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2001)02-0123-06

Color Image Compression Coding Using the Correlation of Color Components

CHEN Yu-tuo, YU Ying-lin

(Dept. of Electronic & Communication Engineering, South China Univ. of Tech., Guangzhou 510641)

Abstract This paper presents a new method for color image compression coding by using correlation of color components combined with wavelet transform. In this method, one of the three color components of a color image is coded using wavelet transform zerotree coding, and the component is segmented into several non-overlapping subregions in the same size. and the chromatism matrixes are figured out by the margin between the component and the other two components in each subregions, and then the correlation coefficients is ciphered out suing chromatism matrix analysis. Based on the calculated correlation coefficients, the coding for the other two components becomes the coding of correlation coefficients. During decoding, the component is first reconstructed using inverse quantization and wavelet inverse transform. Then according to this component and the reconstructed correlation coefficients, the other two components are calculated out. Finally the color image is reconstructed by the three color components. Experiment results show that this method is of high coding and decoding rates, and with quite good signal to noise ratio, compression rate and visual quality.

Keywords Correlation of color components, Correlate coefficient, Wavelet transform, Zerotree coding

0 引言

随着信息网络化的发展,数字彩色图象作为最重要的信息之一,被愈来愈广泛地使用,因而对彩色图象的编码研究倍受人们的重视.在所见到的有关这方面内容的文献中,对彩色图象的压缩编码,几乎都是对彩色图象的3个色彩分量分别进行编码,而

没有去进一步挖掘3个色彩分量之间存在的更深层关系,其结果不可避免的是运算量大,压缩比低.

彩色图象3个色彩分量之间实质上的确存在密切的相关性,因为我们曾通过一个简单的实验发现,当用红(R)、绿(G)、蓝(B)图象的任意一个色彩分量代替另一个色彩分量(如变成 RGG 图象),再显示图象时,图象仍然清晰,并没有产生模糊性失真,只是色彩发生了某些偏移变化,这表明各个色彩分量的

像素值在图象每个子块区域的变化是同步的,也就是说,当图象某个子块区域的像素值随位移由一个颜色向另一个颜色变化时,其红(R)、绿(G)、蓝(B)的灰度值也会同时分别由一个值向另一个值随位移变化,由此充分证明彩色图象的子块区域内部不仅相邻像素存在相似性,而且每个像素的3个色彩分量之间也存在密切的相关性.进而我们又发现,在一个特定的子块区域内,每个像素的两个色彩分量之间的差值(如, $R - G$, $B - G$ 或 $R - B$)几乎是相同的或是非常接近,当然,这只是该子块区域趋于一种颜色时的结果,如彩色人物图象中,人的皮肤或黑色头发这样的子块区域,然而往往一个子块区域内可能包含几种或多种反差很大的颜色,如人的眼睛或漏出牙齿的嘴巴,但子块相对于图象要小得多,本文根据子块尺寸的大小,近似地把一个子块区域看作有2种、3种或4种颜色.假设每个子块区域有3种颜色,则可把子块区域内的像素值按大小分成3组,用以近似地表示该区域的3种颜色,结果发现,同一组内每个像素的两个色彩分量之差值更加相近,将这些差值的平均值称为两个色彩分量之间的相关系数,这样一来,在一个子块区域内,就可以由任意一个色彩分量加上相关系数来近似地得到另两个色彩分量.同理,对于一幅彩色图象,同样可以由其中一个色彩分量加上相关系数来近似地得到另两个色彩分量,本文的编码方法正是基于此提出的.

尽管小波变换编码被认为是当今最有效地图象压缩编码方法之一,但它需通过大量复杂运算,因而是以牺牲时间为代价的,尤其对彩色图象的压缩编码更是如此.本文利用小波变换编码的优势,结合利用色彩相关性的编码方法较好地解决了这一矛盾.

1 小波变换和零树编码

首先将红绿蓝(RGB)图象分解成 R 、 G 、 B 3个色彩分量,并取其中一个分量 G 作小波变换零树编码.彩色视觉研究^[1~3]的结果表明,人眼对组成彩色信号的各个色彩分量变化的感知程度是不一样的,即使在红绿蓝色彩空间,人眼对不同色彩感觉的敏感程度也不是一样的,人眼对绿色信号的刺激要比红色和蓝色更为敏感一些,因此突出 G 分量的信噪比,会使视觉效果更好,通过实验分析对比也证实了这一点,本文选择 G 分量作小波变换编码正是利用这一特点.

对一个色彩分量进行编码,完全等同于对灰度图象的编码,本文对 G 分量采用的离散小波变换是基于 Mallet 提出多分辨子带系统分析^[4]技术,具体编码方法则借鉴 Shapiro 提出的小波零树编码方法^[5]及文献^[6]中改进的零树编码方法.

2 相关系数的计算

计算相关系数的目的就是要求出图象中每个子块色彩分量之间的相互关系.现以 512×512 的 24bit 真彩色图象 A 为例来具体说明,它的红、绿、蓝3个色彩分量分别用 A_R, A_G, A_B 来表示.将图象分解成 32×32 的不重叠子块,假设用 A_n 表示其中任意一个子块,用 A_{nR}, A_{nG}, A_{nB} 来表示该子块的红、绿、蓝3个色彩分量,由于本文是对 A_G 进行小波变换零树编码,因此首先需求出每个子块 A_{nG} 与 A_{nR}, A_{nB} 之间的相关系数.由式(1)可得到 A_{nG} 的平均值 $\bar{A}_{nG}$ 及 A_{nG} 中不大于 $\bar{A}_{nG}$ 的像素值的平均值 $\bar{A}_{nG1}$ 和大于 $\bar{A}_{nG}$ 的像素值的平均值 $\bar{A}_{nG2}$.

$$\begin{cases} \bar{A}_{nG} = \text{mean2}(A_{nG}) \\ \bar{A}_{nG1} = \text{mean2}(A_{nG} | A_{nG} \leq \bar{A}_{nG}) \\ \bar{A}_{nG2} = \text{mean2}(A_{nG} | A_{nG} > \bar{A}_{nG}) \end{cases} \quad (1)$$

式中, mean2 为求二维矩阵平均值函数.

再用下式对 A_{nR} 和 A_{nG} 进行如下处理:

$$\begin{cases} \bar{k}_{R1} = \text{mean2}[A_{nR}(i, j) - A_{nG}(i, j) | A_{nG}(i, j) \leq \bar{A}_{nG1}] \\ \bar{k}_{R2} = \text{mean2}[A_{nR}(i, j) - A_{nG}(i, j) | \bar{A}_{nG1} < A_{nG}(i, j) < \bar{A}_{nG2}] \\ \bar{k}_{R3} = \text{mean2}[A_{nR}(i, j) - A_{nG}(i, j) | A_{nG}(i, j) \geq \bar{A}_{nG2}] \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中, $(i, j = 1, 2, 3, \dots, 32)$, $\bar{k}_{R1}, \bar{k}_{R2}, \bar{k}_{R3}$ 称为 A_{nR} 与 A_{nG} 之间的相关系数,它们是将 A_{nR} 与 A_{nG} 的差值,依据 A_{nG} 中3个像素值大小区间进行分组,然后对每组差值求平均值所得.实质上,这些平均值是,当 A_{nG} 中像素为3种不同值时, A_{nR} 与 A_{nG} 之间的相关系数,用同样的方法可得到 $\bar{k}_{B1}, \bar{k}_{B2}, \bar{k}_{B3}$, 即 A_{nB} 与 A_{nG} 之间的相关系数,由此可知,每个子块对应3个相关系数.如果用 K_R 和 K_B 来分别表示图象色彩分量 A_{nR}, A_{nB} 与 A_{nG} 之间的相关系数矩阵,那么有

$$\begin{cases} K_R = [\bar{k}_{R1}(l, m), \bar{k}_{R2}(l, m), \bar{k}_{R3}(l, m)] \\ K_B = [\bar{k}_{B1}(l, m), \bar{k}_{B2}(l, m), \bar{k}_{B3}(l, m)] \end{cases} \quad (3)$$

等式中的 l, m 分别表示子块在图象中行和列的坐标位置,每个坐标位置对应3个元素(相关系数), $l \times m$ 实质上也是图象中子块的总个数.这样,对于

一幅被分解成 32×32 不重叠子块,且每个子块取 3 个相关系数的图象来说,则可以直接计算出 A 图象红、绿、蓝色彩分量 A_R, A_B 在没有进行熵编码前的压缩比: $C_R = C_B = 32 \times 32 \div 3 \approx 341$. 如果想得到不同压缩比和信噪比的编码结果,可适当改变子块的大小和子块内相关系数的个数,例如由式(4)或式(5)可分别求得一个子块内的 4 个和 2 个相关系数.

$$\begin{cases} \bar{k}_{R1} = \text{mean2}[A_{nR}(i,j) - A_{nG}(i,j) | A_{nG}(i,j) \leq \bar{A}_{nG1}] \\ \bar{k}_{R2} = \text{mean2}[A_{nR}(i,j) - A_{nG}(i,j) | \bar{A}_{nG1} < A_{nG}(i,j) \leq \bar{A}_{nG2}] \\ \bar{k}_{R3} = \text{mean2}[A_{nR}(i,j) - A_{nG}(i,j) | \bar{A}_{nG2} < A_{nG}(i,j) < \bar{A}_{nG3}] \\ \bar{k}_{R4} = \text{mean2}[A_{nR}(i,j) - A_{nG}(i,j) | A_{nG}(i,j) \geq \bar{A}_{nG4}] \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} \bar{k}_{R1} = \text{mean2}[A_{nR}(i,j) - A_{nG}(i,j) | A_{nG}(i,j) \leq \bar{A}_{nG}] \\ \bar{k}_{R2} = \text{mean2}[A_{nR}(i,j) - A_{nG}(i,j) | A_{nG}(i,j) > \bar{A}_{nG}] \end{cases} \quad (5)$$

表 1 给出了按上述方法对 Lena 图象(见图版 II 彩图(a))几个指定区域子块进行处理后,用相关系数 $\bar{k}_{RS}$ ($S = 1, 2, 3$) 分别取代 3 组不同条件下的 $A_{nR} - A_{nG}$ 所产生的均方差 MSE 和峰峰值信噪比 $PSNR$. 从表 1 可见,当压缩比为 341 时,还能达到表中所示的信噪比(包括图中最复杂的眼睛部位),证明该方法不仅可行,而且具有一定的优势. 若要进一步提高信噪比,可以通过增加相关系数个数和缩小子块尺寸来实现.

表 1 Lena 图象指定区域子块相关系数及对应每组的均方差 MSE 和信噪比 $PSNR$ 比较

所选区域	区域尺寸	第一组			第二组			第三组		
		$\bar{k}_{R1}$	MSE	$PSNR$	$\bar{k}_{R2}$	MSE	$PSNR$	$\bar{k}_{R3}$	MSE	$PSNR$
Lena 左眼	32×32	88.6	95.9	28.35	100.6	157.7	26.19	47.57	182	25.56
Lena 脸部	32×32	111.8	20.4	35.07	99.8	19.4	35.3	84.71	28.32	33.64
Lena 头发	32×32	78.86	50.3	31.15	84.74	50.1	31.17	79.44	40.8	32.1
Lena 帽沿	32×32	90.85	56.57	30.64	70.92	59.96	30.39	52.74	47.05	31.44

在得到相关系数后,即可按前面提出的方法对色彩分量 A_G 进行小波变换零树编码.

彩色图象压缩编码的程序流程示意框图如图 1.

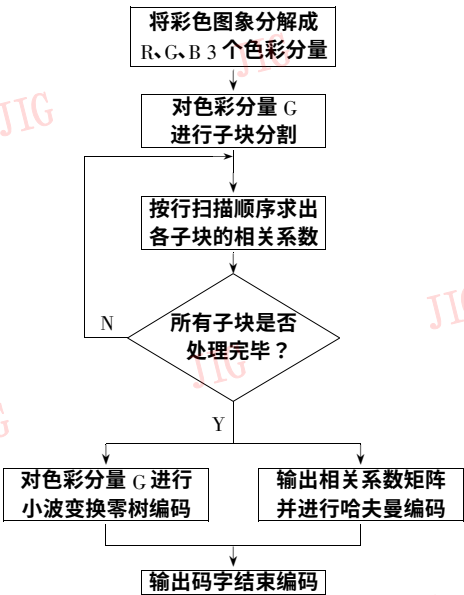


图 1 编码的程序流程示意框图

由于 24 位真彩色图象,其 $R、G、B$ 的值域为 $[0, 255]$,而相关系数矩阵 K_R 和 K_B 实质上是在一定约束条件下的彩色图象色彩分量之间的差值,其值域应为 $[-255, 255]$,但是在彩色图象(特别是色彩丰富的图象)中像素的 $R、G、B$ 值互为反向极值

的情况很少,且它们之间的差值趋于 0 的数量远远多余趋向于两个极值的数量,因而相关系数矩阵 K_R 和 K_B 中绝大部分元素值集中在 $[-100, 100]$ 之间,这使得更大幅度地提高相关系数熵编码的压缩比成为可能.

对相关系数矩阵 K_R 和 K_B 的进一步编码,当所取子块尺寸不小于 16×16 时,由于相关系数数量不多,且压缩比较大,因此可直接对相关系数采用 7bit 码字进行一致标量量化编码,其中 1bit 用来表示相关系数的符号. 如果所取子块尺寸小于 16×16 ,则在对系数进行标量量化后,再采用 DC 系数霍夫曼编码方法进行编码,并将相关系数用 DC 系数差值幅度范围分类的方法,对出现概率按由大到小进行排序,而与系数对应的码字则按由小到大排序,以此来减少码流、降低码率和提高压缩比.

对于个别彩色图象的极个别子块,色彩分量之间的相关性可能很差,例如 A 图象色彩分量 A_{nG} 的像素值分布均匀、变化平缓,而另两个色彩分量 A_{nR}, A_{nB} 的像素值分布参差不齐、变化剧烈,这时该子块编码结果的均方差可能很大,针对这种情况,则可用子块内不同条件下的任意一组 $A_{nR} - A_{nG}$ 中的最大值与最小值之差是否大于阈值 T_R 来判别,若大于 T_R ,则认为该子块内的色彩分量之间相关性不够强,此时可将该子块分割成 4 个大小相等的更小

一级子块来处理(本文实验中取 $T_R = 30$)

按上述方法所求得各子块的相关系数必须严格按照对子块进行行扫描的顺序排列,这样才能确保解码的正确性.

3 图象的解码

图象的解码是分两步完成的,即首先通过反量化和小波逆变换得到色彩分量 G 的重构图象 $\hat{A}_G$,并通过反量化和霍夫曼编码逆变换得到两个重构的相关系数矩阵 $\hat{K}_R, \hat{K}_B$.

$$\begin{cases} \hat{K}_R = [\hat{k}_{R1}(l, m), \hat{k}_{R2}(l, m), \hat{k}_{R3}(l, m)] \\ \hat{K}_B = [\hat{k}_{B1}(l, m), \hat{k}_{B2}(l, m), \hat{k}_{B3}(l, m)] \end{cases} \quad (6)$$

第二步用本文第2节提出的方法,将 $\hat{A}_G$ 分割成 32×32 的不重叠子块,假设用 $\hat{A}_{nG}$ 表示其中任意一个子块图象,由式(2)可求得 $\hat{A}_{nG1}, \hat{A}_{nG2}$,再由下式重构图象每个子块的 $\hat{A}_{nR}$.

$$\hat{A}_{nR}(i, j) = \begin{cases} \hat{A}_{nG}(i, j) + \hat{k}_{R1} | \hat{A}_{nG}(i, j) \leq \hat{A}_{nG1} \\ \hat{A}_{nG}(i, j) + \hat{k}_{R2} | \hat{A}_{nG1} < \hat{A}_{nG}(i, j) < \hat{A}_{nG2} \\ \hat{A}_{nG}(i, j) + \hat{k}_{R3} | \hat{A}_{nG}(i, j) \geq \hat{A}_{nG2} \end{cases} \quad (7)$$

用同样的方法可得到 $\hat{A}_{nB}$,进而得到 $\hat{A}_R, \hat{A}_B$,最后由 $\hat{A}_R, \hat{A}_G, \hat{A}_B$ 重构彩色图象 A . 解码的程序流程示意图如图2.

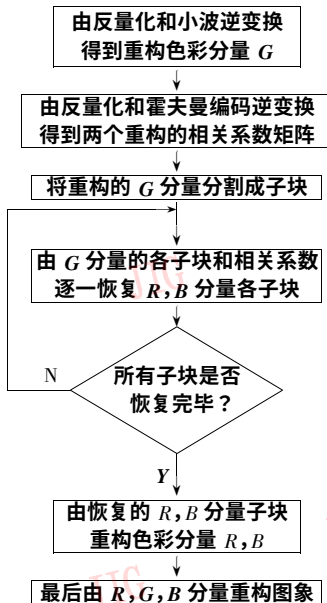


图2 解码程序流程示意图

解码过程中有以下几个问题是值得注意的:

(1) 由于重构图象 $\hat{A}_G$ 与原图象 A_G 之间的误差,会导致编码和解码过程中,对各子块像素值大小区间的划分不完全一致,即 $\hat{A}_{nG1}, \hat{A}_{nG2}$ 和 $\hat{A}_{nG1}, \hat{A}_{nG2}$, 不完全相等,但实验结果表明,这对重构图象质量的影响甚微.

(2) 尽管可把每个子块视为3种或4种可分辨颜色,但当子块的尺寸取值较大时,重构的色彩分量 $\hat{A}_R, \hat{A}_B$ 仍不可避免地存在轻度的块效应现象,然而,有趣的是重构的彩色图其块效应明显消失,这是因为 $\hat{A}_R$ 和 $\hat{A}_B$ 的失真主要来自块效应,而 $\hat{A}_G$ 的失真主要来自云彩(振铃)效应,可是这两种效应产生的失真并不是发生在图象的同一个区域,因此,当用 $\hat{A}_R, \hat{A}_G, \hat{A}_B$ 3个色彩分量合成彩色图象时,它们相互叠加的结果,则使各自存在的缺陷得到弥补,从而致使两种效应现象明显消失,因而彩图的效果大为改善,实验的结果也证实了这一点.

(3) 本编码方法产生的块效应有别于传统意义的图象块效应,本编码方法的块效应是块状的色彩偏差,它不会造成图象模糊不清,但会使图象出现不均匀块状色斑. 对这种块效应的消除,现在有许多成熟的方法,可以作为辅助手段,在需要高压缩比因而产生块效应的场合,应用块效应消除方法既能减轻图象的块效应,又能提高信噪比.

4 实验结果分析

本文选用 Lena、Girls、Barbara、Zelda 等几个图象进行了压缩编码实验,其实验的部分结果见表2、表3、和图版II彩图.

其中,

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{(MSE(R) + MSE(G) + MSE(B))/3} \quad (10)$$

$$Cr = \frac{C}{C_R + C_G + C_B} \quad (11)$$

式中, $PSNR$ 为峰值信噪比, $MSE(R), MSE(G), MSE(B)$ 分别为3个色彩分量的均方差, Cr 为压缩比, C 为原图象字节数, C_R, C_G, C_B 为3个色彩分量压缩后的字节数

从实验结果可见,本文提出的编码方法具有如下特点:

(1) 编(解)码速度快是本编码方法的一个主要特征. 由于色彩相关性编码的算法复杂度远远低于

表 2 子块取不同尺寸和不同相关系数个数时的编码结果比较

图象名称	图象尺寸	子块尺寸 32×32 相关系数 4 个		子块尺寸 16×16 相关系数 4 个		子块尺寸 8×8 相关系数 3 个		子块尺寸 4×4 相关系数 2 个	
		PSNR	Cr	PSNR	Cr	PSNR	Cr	PSNR	Cr
Lena	256×256	27.42	61.40	29.9	39.2	31.44	20.79	32.89	12.16
	512×512	30.01	111.1	32.4	43.3	33.83	29.43	35.83	13.85
Girls	512×512	31.92	108.8	35.4	49.15	38.51	17.78	42.20	13.28
Zelda	256×256	28.09	43.74	30.31	32.11	33.11	18.25	35.93	12.86
Barba	512×512	28.11	41.8	30.87	19.7	32.85	14.70	34.56	9.92

表 3 各色彩分量的编码结果比较

图象名及尺寸	子块尺寸及 相关系数个数	各色彩分量及 采用的编码方法	压缩后字节数 (Bytes)	各分量的 PSNR、Cr		图象的 PSNR、Cr	
				PSNR	Cr	PSNR	Cr
Lena 256×256	尺寸为 16×16, 相关系数 4 个	R(用系数编码)	896	29.35	73.14	29.9	33.26
		G(用零树编码)	4120	31.85	15.91		
		B(用系数编码)	896	29.00	73.14		
Lena 512×512	尺寸为 32×32, 相关系数 4 个	R(用系数编码)	896	29.63	292.57	30.01	111.14
		G(用零树编码)	5282	32.02	49.63		
		B(用系数编码)	896	28.94	292.57		

小波变换零树编码,且本文采用的是只对一个色彩分量进行小波变换零树编码,而对另两个色彩分量利用色彩相关性进行编码,因此在相同实验条件下,对同一图象编码若要获取相近的信噪比其和压缩比所花编(解)码时间,与文献[6~8]的编码方法相比,只有它们的1/3~1/2.本文在与灰度图象编码方法的速度进行比较时,是以本方法对3个色彩分量编码的平均速度为依据.的

(2)从表2的实验结果可见,大小相同而内容不同的图象,若利用色彩相关性进行编码,其结果相差甚远,其根本原因在于与相关系数对应的每组元素的均匀程度,如果所有的元素都接近平均值,则编码后的子块与原子块的均方差就小,这样的子块愈多的图象,编码后其压缩比和信噪比就会愈高,表2中Girls彩图的就属这一类型,对它编码的结果大大优于Edward J. Delp教授在文献[7]中提出的编码方法的实验结果.

(3)从表3可见,3个色彩分量R,G,B编码后的信噪比是不平衡的,G分量信噪比高于R,B分量信噪比,其压缩比则是R、B分量大大高于G分量,而彩图的信噪比略高于R、B分量而低于G分量.从视觉效果来看,其彩图的效果明显好于用其它

编码方法获得同样信噪比的彩图.这可能有两个原因 第一,人眼的视觉对彩色图象的色彩发生轻微的偏差并不敏感,其对图象的全图或局部出现扭曲变形、振铃效应等失真则特别敏感,而本编码方法造成图象失真的主要原因则正巧是轻微的块状色彩偏差,而图象扭曲变形、振铃效应等失真很小 第二,因为该方法突出了G分量的信噪比,使3个色彩分量中的一个信噪比特别高出,这对整幅图象的视觉效果有拉升作用,而G分量的振铃效应又被另两个色彩分量所掩盖,且人眼对绿色又最为敏感,因此这也是使视觉效果更好的原因.

(4)从表2,3中的结果可以看出,在中低信噪比时,该编码方法优势明显,可获得较高的压缩比,而在特高信噪比时,则这种优势减弱.本方法对棘手的小尺寸且纹理复杂的彩色图象的压缩编码也有优势,表中的结果表明,对256×256的Lena和Zelda彩图编码的结果大大优于JPEG标准及文献[6]和文献[8]提出的编码方法所获得的结果.

(5)表3中R、G、B分量编码结果之间的差异有别于其它的编码方法,前面已肯定了这种差异的有益之处,实验表明,将G分量的信噪比控制在大于R分量,而B分量的信噪比控制在1~3的范围

内,可获得比较理想的编码结果. 本文在实验中,依据图象的大小和对不同信噪比及压缩比的要求,将子块的尺寸设置为 32×32 、 16×16 、 8×8 ,将相关系数的个数设置为 4、3、2. 但如何进一步规范或自适应选择这些参数,来实现零树编码和实现相关系数编码的最佳配合尚有待进一步研究.

5 结 论

本文充分挖掘和利用了彩色图象色彩空间和相位的相似性,进而提出了一种小波变换零树编码与相关系数编码相结合的编码方法,该方法既能获得较满意的编码结果,又能提高编(解)码的速度. 该方法尤其适合于在中低信噪比场合的彩色图象编码,且对小尺寸、纹理复杂的彩色图象的编码也有明显的优势,但也存在一定的局限性. 该方法仅是对彩色图象压缩编码的一种新的初步尝试,尚有待进一步改进和完善.

参 考 文 献

1 Hunt R W G. Measuring Color(2nd edition). New York, Ellis Horwood, 1991.
2 Santisteban A. The perceptual color space of digital imageP display terminals. IBM Journal of Res. Develop, 1983,27 :127 ~ 132.
3 Van Dyck R E, Rajala S A. Sensitivity to color error intruduced by processing in different color spaces. Proc,IEEE VSPC,1991 :192 ~ 195.

4 Mallet S. A theory for multiresolution signal decomposition :The wavelet representation. IEEE Trans. ,1989,PAMI(11) :674 ~ 693.
5 Shapiro J M. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients. IEEE Transactions on signal processing, 1993, 41(12) :3445 ~ 3462.
6 郭田德,高自友. 改进的静态图象零树编码算法. 计算机学报, 1999,22(7) :692 ~ 697.
7 Delp E J, Ke Shen. Color images compression using an embedded rate scalable approach. Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing,1997(III) :32 ~ 34.
8 肖忠,刘钊. 采用树特征平面的小波变换图象编码压缩方法. 通信学报,1999,20(11) :19 ~ 24.

陈宇拓 1963 年生,华南理工大学电子与信息工程学院电子与通信工程系图象处理与模式识别研究室国内访问学者,中南林学院工业学院电子工程系计算机专业教研室副教授. 主要研究方向为计算机图形图象处理.

余英林 华南理工大学电子与信息学院电子与通信工程系图象处理与模式识别研究室教授、博士生导师. 主要研究方向为计算机图象处理与模式识别.