

基于小波二重树编码的彩色图像压缩¹

肖 忠 刘 钊 陈 钺 然

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

摘 要 该文提出了一种利用小波变换对彩色图像进行编码的算法。该算法在对 Y, C_r, C_b 分量进行小波分解的基础之上, 结合人眼视觉系统特性对各子带进行量化, 采用全新的二重树编码, 有效地对高频子带进行压缩。实验结果表明, 本算法实现简单, 可达到很好的压缩效果。

关键词 彩色图像, 小波变换, 标量量化, 二重树编码

中图分类号 TN919.8, TN911.31

1 引言

近年来小波变换^[1,2]的数学理论和方法越来越引起人们的重视。因为小波变换具有频率分析和尺度分析的双重特性、每级分解后能量集中于低频子带等优点, 运用小波变换进行图像压缩编码成为一个研究热点。对灰度图像相应也出现了多种编码方法, 如零树编码和矢量量化编码等, 而对彩色图像的编码则研究较少。

本文提出了一种利用小波进行彩色图像编码的算法。在对亮度分量 Y 和色度分量 C_r 、 C_b 分别进行小波分解和结合人眼视觉系统特性的标量量化之后, 采用本文提出的二重树编码, 将高频子带进行有效的压缩。实验结果表明本算法实现简单且压缩效果和质量明显好于 JPEG 标准^[3]。

2 彩色图像的编码算法

下面以 256×256 的彩色图像为例对编码算法进行分析。

2.1 Y 、 C_r 、 C_b 分量的小波分解 首先采用 Mallat 塔形算法, 对 Y 、 C_r 、 C_b 分量分别进行小波分解。

我们对色度 C_r 、 C_b 分量先进行一级小波分解再丢掉三个高频子带 LH1、HL1 和 HH1, 即通过仅保留色度分量的低频 LL 带来代替 JPEG 中的下抽样预处理, 并用小波恢复滤波运算代替 JPEG 中的插值恢复。经过这样的预处理后, 对 Y 分量和 C_r 、 C_b 分量的两个低频 LL 子带都进行四级小波分解。对更大的图像可以进行更多级的分解。

最低分辨率的四个子带 (LL4、LH4、HL4 和 HH4) 对图像恢复质量影响很大, 但数据量又很小, 所以不进行量化, 直接采用自适应算术编码进行压缩。

2.2 高频子带的量化方法 高频子带是指 Y 、 C_r 、 C_b 分量的 LH3~HH1 各子带。Philippe Desarte 等^[4]利用人眼的视觉特性对灰度图像设计了一种加权量化方案以减小加权量化噪声 $(P_N)_w$:

$$(P_N)_w = \sum_{n_1} \sum_{n_2} \frac{1}{N_{n_1} N_{n_2}} W_{n_1, n_2} \sigma_{n_1, n_2}^2, \quad (1)$$

其中

$$W_{n_1, n_2} = k \int \int w(u, v) |F_{n_1, n_2}(u, v)|^2 du dv. \quad (2)$$

¹ 1998-12-04 收到, 1999-06-04 定稿

σ_{n_1, n_2}^2 是子带 (n_1, n_2) 量化误差的方差, N_{n_1} 、 N_{n_2} 是子带的下采样因子, $F_{n_1, n_2}(u, v)$ 是重构滤波器的传输函数, $w(u, v)$ 是加权曲线:

$$w(u, v) = 15.32 \times \left(1 + \frac{u^2 + v^2}{3.952 \times \arctg(\text{in degree})(1 + 2L)} \right)^{-1.5}. \quad (3)$$

在文献 [4] 中已证明, 对后续的熵编码, 当量化步长正比于 $\sqrt{W_{n_1, n_2}}$ 时可达到最优量化. 本文将文献中给出的加权系数转化为各子带量化步长的比例因子. 取基本量化步长为 S , 表 1 列出了各级子带量化步长.

表 1 灰度图像各级子带量化加权系数和量化步长

子带	LL3	LH3	HL3	HH3	LH2	HL2	HH2	LH1	HL1	HH1
加权系数	1.0	0.738	0.738	0.596	0.584	0.584	0.411	0.355	0.355	0.230
量化步长	S	$1.36S$	$1.36S$	$1.68S$	$1.71S$	$1.71S$	$2.43S$	$2.82S$	$2.82S$	$4.35S$

在本文量化方案中, 利用该表的量化步长对亮度分量 Y 的九个高频子带进行量化. 以 0 对称利用量化步长均匀划分量化间隔, 划归某量化级的系数采用该量化区间的频度加权均值 \bar{m} 来代表. 这样可使在该区间内的均方误差达到最小. 然后把这些均值用符号表示, 以便进行算术编码.

因为人眼对色度信号的敏感性较差, 对 C_r 、 C_b 分量采用两倍于 Y 分量的量化步长. 量化方法与亮度分量的量化方法相同.

2.3 高频子带的编码算法——二重树编码 对 Y 、 C_r 、 C_b 分量进行分解和量化后, 再采用二重树编码对高频子带进行压缩.

我们把压缩图像所需的比特数分为两个部分: 非零系数压缩后的比特数和保存非零系数位置的比特数. 算法中, 对每个高频子带先各形成一个相应大小的 0-1 比特平面用于代表子带中非零系数的位置信息. 二重树编码算法的实现可分为三步: (1) 利用子带内的相关性采用二叉树编码压缩位置信息; (2) 利用子带间的相关性再采用特征树自适应算术编码压缩位置信息; (3) 利用小波系数的尖峰分布特点采用自适应算术编码压缩小波非零系数.

位置信息的子带内压缩采用二值图像的二叉树编码, 根据小波多级分解中子带内相关性逐渐减弱的特点, 对不同分辨率子带的位置信息进行不同大小的分块二值图像二叉树编码, 最低分辨率的子带采用 2×2 的分块, 其它较高分辨率的子带分别用 4×4 , $8 \times 8, \dots$ 逐步增大的分块.

第 2 步采用特征树自适应算术编码的方法对各子带的位置信息再进行带间的编码压缩.

首先将位置信息二叉树编码结果按照完全二叉树顺序存储方式, 从根结点开始逐层存放, 从而将其转换为一维数组, 则可推出, 对任一下标 i 的结点, 其父结点在数组中的下标位置可由以下公式求得

$$\text{Pos} = \left\lceil \left(i - \frac{4^{n-1} - 1}{3} \right) / 4 \right\rceil + \frac{4^{n-2} - 1}{3}, \quad (4)$$

其中 n 表示该结点在完全二叉树中的层数:

$$n = \lceil \log_4(3i + 1) \rceil, \quad i = 2, 3, \dots, \quad (5)$$

式中 $\lceil \cdot \rceil$ 表示求最小上整数.

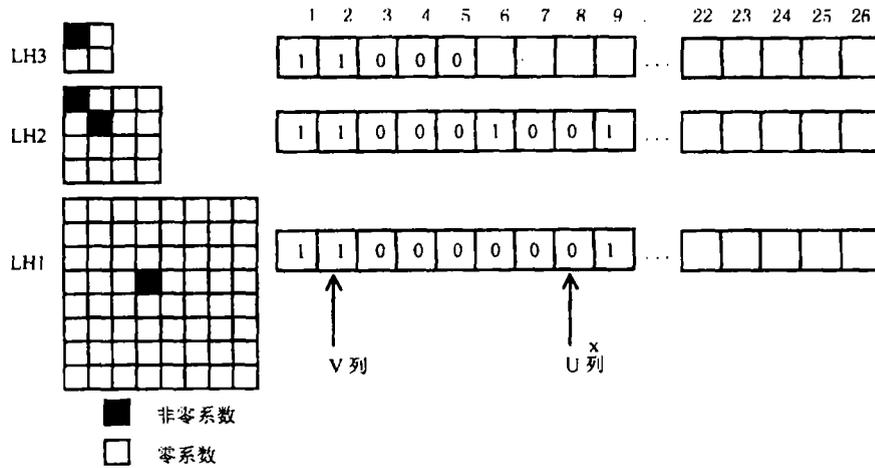


图 1 特征树示意图

将对应原始图像相同位置的不同分辨率各子带二叉树编码的结果排列在一起,如图 1 所示。要特别指出的是,在同一列上的元素代表不同子带中大小不同的分块但都对应于原始图像中的同一位置,这些元素值表示了各子带分块中有无非零值这一特征,我们称之为特征树。在特征树中 0、1 的出现有较大的相关性,这是我们进行带间位置信息压缩的基础。把一棵特征树作为一个符号,则共有三类有效符号的集合:

$$A^i = \{2^i \text{ 个符号的集合}\}, \quad i = 1, 2, 3. \quad (6)$$

对垂直方向上任意第 U 列的符号 x , 它是否是需编码的有效符号, 以及如果是有效符号该符号属于哪一符号集, 由二叉树编码中其父结点第 V 列的元素值和元素中是否有叶结点来共同确定。

$$k = V_{LH3} + V_{LH2} + V_{LH1}, \quad \text{且 } V_{LH3}, V_{LH2}, V_{LH1} \text{ 不是叶结点.} \quad (7)$$

若 $k=0$, 该符号不是有效符号, 对它不编码; 否则 $x \in A_k$ 。

由于子带间小波系数分布位置的相关性, 子带间相同二叉树编码结果产生的符号 (如 000, 111 等) 出现的概率较大。并且由于各级间不同的量化步长, 低分辨级为 1 高分辨级为 0 的符号 (如 100, 10 等) 出现概率也比较大。在判断符号所属的集合 A_i 后, 对它进行 2^i 符号的自适应算术编码, 可以进一步提高位置信息的压缩比。

对位置信息进行编码后, 按逐行逐列的次序将非零系数顺序排列, 采用自适应算术编码进行压缩, 并串接在位置信息编码之后。

2.4 彩色图像编码框图 整个编码框图如图 2 所示。

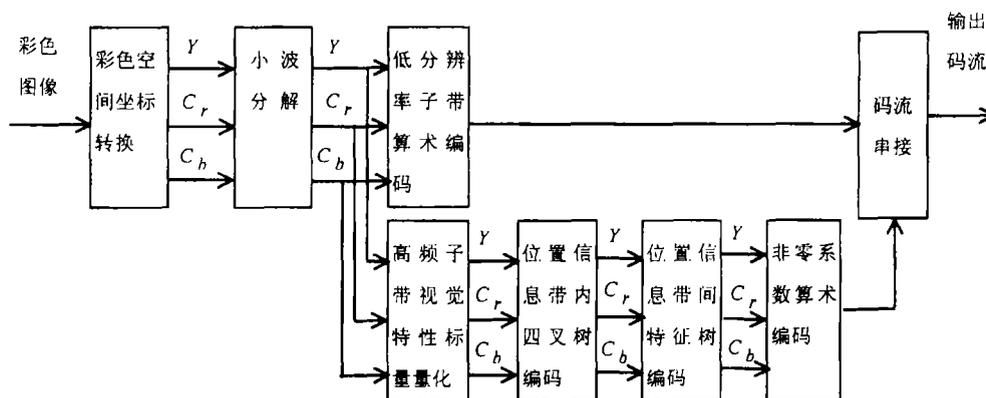


图 2 彩色图像编码框图

3 实验结果和讨论

我们采用本算法对 256×256 的彩色标准图像 Lena 进行压缩实验。小波变换采用文献 [2] 中的 8 阶滤波器参数。对不同的基本量化步长 S ，压缩结果如表 2 所示。表 2 中同时给出了与 JPEG 基线系统 (Baseline System) 在相近信噪比时压缩结果的对比。其中编码时间为在 K6-266 上的运行时间。

表 2 本算法和 JPEG 基本系统算法图像压缩结果

量化步长	本算法						JPEG 基本系统						
	压缩字节数 (byte)	码率 (bpp)	信噪比 (dB)			编码时间 (s)	量化因子	压缩字节数 (byte)	码率 (bpp)	信噪比 (dB)			编码时间 (s)
			R	G	B					R	G	B	
2.0	8435	1.03	32.76	34.59	31.98	1.06	0.5	12340	1.51	32.94	34.35	31.03	0.76
3.5	5673	0.69	30.89	32.24	30.21	0.97	1.0	8456	1.03	31.35	32.07	29.56	0.73
5.0	3993	0.49	29.63	30.31	28.83	0.88	2.0	5800	0.71	29.61	29.95	28.10	0.68

图 3 所示的是本算法在量化步长为 3.5 时和 JPEG 算法在量化因子为 1 时恢复图像局部放大的结果。两幅恢复图像信噪比相似，但从图中可以看出，JPEG 算法在图像边缘部分方块效应较为明显；而本算法对图像的边缘部分保存较好，且具有比 JPEG 算法更大的压缩比。

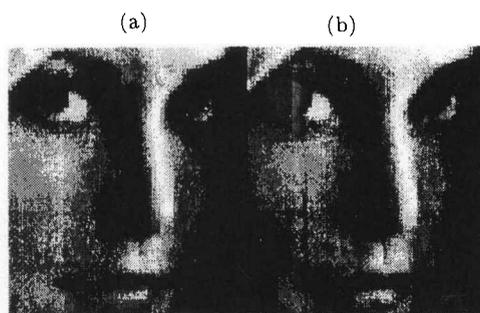


图 3 本算法和 JPEG 算法局部放大结果
(a) 本算法, (b) JPEG 算法

参 考 文 献

- [1] Daubechies I. Orthonormal bases of compactly supported wavelets. *Commu. Pure Appl. Math.*, 1988, 41(7): 909-996.
- [2] Mallat S. Multifrequency channel decomposition of images and wavelet models. *IEEE Trans. on ASSP*, 1989, 37(12): 2091-2110.
- [3] Wallace G K. The JPEG still-picture compression standard. *Commu. ACM*, 1991, 34(4): 30-44.
- [4] Desarte P, Macq B. Singal-adapted multiresolution transform for image coding. *IEEE Trans. on Information Theory*, 1992, IT-38(2): 897-904.

COLOR IMAGE COMPRESSION BASED ON
WAVELET DUPLICATE TREE CODING

Xiao Zhong Liu Zhao Chen Qinran

(Dept. of Electronic Engineering, UESTC of China, Chengdu 610054)

Abstract This paper presents a new algorithm that utilizes wavelet for color image coding. After wavelet decomposing and scalar quantization, Y, C_r, C_b components are coded separately using duplicate tree coding algorithm which can compress the high frequency subbands effectively. Experimental results show that the new algorithm is very practical and with good performance for color image coding.

Key words Color image, Wavelet transform, Scalar quantization, Duplicate tree coding

肖 忠: 男, 1973 年生, 博士生, 主要从事图像分析处理和传输领域的研究.

刘 钊: 男, 1943 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事模式识别、语音和图像传输与处理领域的研究.

陈侵然: 男, 1974 年生, 硕士生, 主要从事图像处理和传输领域的研究.