

一种改进的图像自适应零树编码方法

彭进业^{1,2}, 俞卞章², 张 烨¹, 刘宏兵³

(1. 西北大学电子科学系, 陕西西安 710069; 2. 西北工业大学电子工程系, 陕西西安 710068;

3. 西安电子科技大学电子工程学院, 陕西西安 710071)

摘 要: 在研究 Shapiro 零树图像编码方案的基础上, 提出了一种改进型的自适应嵌入式零树编码方法. 本算法利用自适应的小波系数, 增加了编码过程中零树个数, 提高了编码效率, 使在相同压缩率情况下, 提高 PSNR 约为 0.1 ~ 0.6 dB, 同时该编码方案仍保持零树编码产生嵌入式码流、支持多码率解码的特点.

关键词: 图像编码; 小波变换; 零树编码; K-L 变换; 图像压缩

中图分类号: TN957.53 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 04-0591-03

Improved Image Coding Method Using Adaptive Zerotrees of Wavelet Coefficients

PENG Jir ye^{1,2}, YU Biann zhang², ZHANG Ye², LIU Hong-bing³

(1. Department of Electronics, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;

2. Department of Electronics, Northwestern Polytechnic University, Xi'an, Shaanxi 710068, China;

3. Electronic Engineering School, XiDian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Abstract: An improved adaptive zerotree based embedded image coding of wavelet coefficients is put forward. With the adaptive wavelet coefficients, more zerotrees are produced in this process, and the PSNR can be improved by 0.1 ~ 0.6 dB at the same code stream. Furthermore, the code stream produced is embedded and able to support multirate image decoding.

Key words: image coding; wavelet transforms; embedded zerotree wavelet; KLT; image compression

1 引言

近年来, 利用小波变换进行图像编码的研究取得了迅速发展. 对图像的变换系数采用不同的量化和编码, 就得到了不同的压缩方案. 在各种基于小波变换的图像编码技术中, 以子带编码和块编码两类技术比较成熟. 子带编码是将处于同一频带范围内的系数作为一个集合, 采用同一种量化方案形成信源符号. 而块编码技术则将对处于同一空间位置的系数集合作为一个整体来处理, 这些系数可以形成一个树型结构. 由小波变换的空间局域性质可知, 对应于同一空间区域内的这些上下级小波系数之间存在着一定的关联, 利用这一相关性可获得较高的编码效益. 在这一方面目前公认的最成功方案之一是 Shapiro 首先提出的 EZW (embedded zerotree wavelet) 类算法^[1], 它不仅具有较高的编码效率, 而且在不损失编码效率的前提下能够产生嵌入式码流, 支持多码率解码. 这一方法引起了很多学者的关注, 从提高编码效率, 降低算法复杂度, 以及改善视觉效果等方面提出了多种改进方案^[2~5].

本文针对同一分解级的三个细节分量之间仍存在一定的相关特性, 提出了一种新的改进方案, 与 EZW 方案相比较, 提高了编码效率.

2 零树小波编码简述

EZW 方法将小波分解系数分为五类: ①无意义系数, ②零树根, ③正的有意义系数, ④负的有意义系数, ⑤孤立零点. 在设定一个阈值 T 后, 开始对系数扫描, 扫描先从最低频的 LL_J 开始, 然后按 HL_J , LH_J , HH_J 秩序扫描, 再转向下一层子带, 形成一张含有以上五类元素的主表, 然后将有意义的系数从主表中移至另外一张副表, 以其绝对值位于 $[T, T+T/2]$ 或 $[T+T/2, 2T]$ 分别编码为 0 和 1. 在一轮扫描完成后, 对主表中的符号采用熵编码形成码流. 接下来是副表码流. 然后将阈值减半, 对尚未判定为有意义的系数重复上述扫描过程. 根据保真度或压缩比的要求可随时终止编码过程.

3 自适应嵌入式零树小波编码原理

EZW 编码方法的压缩效益主要来自于引入零树的概念, 即利用一个符号“零树根”不仅对本系数而且对以它为根的所有子树上的所有系数进行编码. 因此当这种零树根数目愈多而且所处的级别愈高时, 这种编码方法的压缩率也就愈高. 根据这一分析, 我们对 EZW 提出如下改进方案 IEZW (Improved EZW).

将同一棵树中在同一级别同一空间位置的三个细节分量 $d_j^{(1)}(m, n)$, $d_j^{(2)}(m, n)$ 和 $d_j^{(3)}(m, n)$ 看成是一个三维矢量 $d_j(m, n)$, 那么 J 级分解的一棵树就有

$$K = \frac{4^J - 1}{3} \tag{1}$$

个这种三维矢量, 式中 4^J 是一棵树的全部结点数. 因此利用这 K 个矢量为样本集合可以求得一个 3×3 维的 $K-L$ 变换矩阵 U , 然后对此集合中的每一个矢量完成 $K-L$ 变换

$$d'_j(m, n) = U d_j(m, n) \tag{2}$$

得到一个新的三维矢量 $d'_j(m, n)$. 以它们为结点可构成一棵新的四叉树, 当矩阵 U 的行矢量是按照递降排序的本征值所对应的本征矢时, 根据 $K-L$ 变换的性质^[6] 可以预期: 由 $d_j^{(1)}$, $j = -1, -2, \dots, -J$ 所构成的子树将聚集大树的大部分能量, $d_j^{(2)}(m, n)$ 子树次之, 而 $d_j^{(3)}(m, n)$ 子树中将只有很少的能量. 这一结果意味着对于变换后的新树而言, 在 $d_j^{(2)}(m, n)$ 和 $d_j^{(3)}(m, n)$ 子树的高级别上出现零根的概率较变换前将明显增加. 而由 $d_j^{(1)}(m, n)$ 构成的子树的零树根数目并不会明显减少, 因为在变换之后, 各子树的上下级关系仍然是反映在同一空间域的信号中其低频成分与高频成分的关系.

4 自适应零树编码的实现

为了避免对变换矩阵的参数进行编码, 我们利用三维空间坐标变换的关系式来选定 $k = 1, \dots, 8$ 共八种“代表性”正交统一化变换矩阵. 令

$$U = \begin{bmatrix} -\sin\theta & \cos\varphi - \sin\theta\sin\varphi & \cos\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ \cos\theta\cos\varphi & \cos\theta\sin\varphi & \sin\theta \end{bmatrix} \tag{3}$$

式中, φ 表示绕 z 轴的旋转角, θ 表示绕旋转后的 y 轴的旋转角. 我们选用的 8 种“公用” $K-L$ 变换矩阵所对应的 φ, θ 值按表 1 给出.

表 1 8 种变换对应的旋转角 φ, θ

k	0	1	2	3	4	5	6	7
θ	0	30	60	45	90	90	30	60
φ	0	0	0	45	30	60	90	90

它们使变换后的 z 轴上单位矢量的端点均匀地分布在变换前坐标系的第一象限内. 由于变换矩阵的行矢量的重新排列只改变变换后系数矢量元素的排列顺序, 例如将左子树变成中子树或右子树, 而这种改变并不影响零树数目和级别. 这就意味着式(3)中的列可以作任意交换. 再考虑到如果一个矢量的各分量都取反号也不改变变换系数的能量分配, 这就意味着(3)式中每一列可以反号. 所以表 1 所规定的 8 种变换矩阵实际已将它们坐标轴的重新排列以及坐标轴的镜向反射所形成的各种正交统一化变换也都包含在内了.

当对于某一棵树求出它的本征矢矩阵 U 之后, 我们将对它的列作各种重排列以及取反号, 然后再与上述 8 种变换作比较, 根据全部分量均方误差最小原则找出一种最相近的变换. 并用 3 位等长码来标记每棵树对应的“公用” $K-L$ 变换类型.

们在文件头部只需对每棵树增加 3 位来标识. 例如对 512×512 的图像作 5 级分解, 共有 256 棵树, 共需增加 768 位. 在图像压缩比很高时, 这一增加量对效率有较明显的影响, 但在实用的压缩比范围内, 变换所带来的编码效益将抵偿这一增加量并有余, 从而使本方案获得比 EZW 更高的压缩效率.

5 实验结果

用本文提出的改进算法对 $512 \times 512 \times 8$ bits 的 Lenna 和 Barbara 等原始图像进行仿真实验. 采用常用的 9-7 双正交小波^[7]对图像进行 5 级小波分解, 其中的熵编码采用 Huffman 编码方法^[8]. 表 2 中给出了 EZW 和本文提出的 IEZW 方案在每次扫描结束时的峰值信噪比及压缩率, 表 3 给出了 EZW 和 IEZW 在各次主扫描结束时零根的数目. 从这两个对照表可以看出, 实验结果与理论上所预期的结果相一致. 图 1 是以曲线方式绘出的 Lenna 图像压缩性能对比图, 它更加清楚地表明在一定的码率以上, 本文提出的利用自适应小波系数进行零树编码的方案优于 Shapiro 直接对分解后的小波系数进行编码的方案.

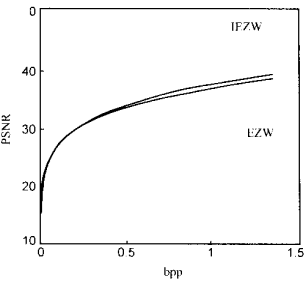


图 1 Lenna 图像的 EZW 与 IEZW 实验结果比较

表 2 EZW 和 IEZW 的压缩比以及恢复图像的信噪比

扫描次数	Lenna 图像				Barbara 图像			
	EZW		IEZW		EZW		IEZW	
	PSNR	bpp	PSNR	bpp	PSNR	bpp	PSNR	bpp
1	15.672	0.0016	15.754	0.0046	9.9178	0.0031	14.804	0.0020
2	18.476	0.0048	18.637	0.0078	16.439	0.0077	17.433	0.0056
3	21.315	0.0121	21.675	0.0153	18.286	0.0121	19.301	0.0129
4	23.715	0.0278	23.927	0.0302	19.530	0.0190	20.976	0.0315
5	26.265	0.0678	26.370	0.0680	21.142	0.0370	22.638	0.0895
6	29.280	0.1671	29.427	0.1674	22.808	0.0945	25.702	0.2997
7	32.571	0.3694	32.849	0.3759	25.942	0.3043	29.703	0.7166
8	35.899	0.7297	36.422	0.7525	30.010	0.7208	33.895	1.3681
9	39.127	1.3492	40.108	1.4018	34.593	1.3722	37.995	2.2778

表 3 各次主扫描过程中零树根的数目

扫描次数	Lenna 图像		Barbara 图像	
	EZW	IEZW	EZW	IEZW
1	298	298	324	324
2	491	497	556	556
3	1039	1069	1064	1084
4	2184	2281	2484	2634
5	5371	5671	7369	7711
6	13794	13847	23079	23208
7	27579	28503	43474	45457
8	46057	48056	63833	67413
9	69517	72329	81130	83947

6 结论与讨论

本文在采用零树进行小波图像编码的基础上,对小波分解后的系数进行相应的 K-L 变换,然后利用自适应的小波系数进行零树编码,实验证明本方法能增加零树根的数目,从而提高编码效率.值得指出的是本文算法中引入 K-L 变换,增加了算法复杂度,但由于 K-L 变换的维数很低(3 维),与 EZW 算法本身的复杂度相比是可以承受的.

参考文献:

- [1] Shapiro J M. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 41(12): 3445- 3462.
- [2] Said A, Pearlman W. A new, fast, and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees [J]. IEEE Transactions on Circuits and System Video Technology, 1996, 6(3): 243- 249.
- [3] Xiong Z, Ramchandran K, Orchard M T. Space frequency quantization for wavelet image coding [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(5): 677- 693.
- [4] 夏勇,田捷,戴汝为. 一种改进的零树小波图像压缩算法 [J]. 软件学报, 1999, 10(6): 622- 630.
- [5] 李云松,吴成柯. 内嵌小波变换的遥感图像编码 [J]. 电子学报, 2000, 28(10): 27- 30.

- [6] Devijver P A, Kittler J. Pattern recognition: A Statistical Approach [M]. London: Prentice Hall, 1981.
- [7] Cohen A, Daubechies I, Feauveau J C. Biorthogonal bases of compactly supported wavelets. Communication of Pure and Applied Mathematics [J]. 1992, 45: 485- 560.
- [8] R W Hamming. 编码和信息理论 [M]. 北京: 科学出版社, 1984.

作者简介:



彭进业 男, 1964 年出生于湖南, 副教授, 1996 年毕业于西北大学电子系, 获理学硕士学位, 毕业后留校任教至今, 现为西北大学电信工程教研室主任, 西北工业大学博士研究生, 主要研究兴趣包括数字图像处理、模式识别、小波应用研究.



俞卞章 男, 1937 年 1 月出生于浙江省, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为: 信号处理、图像处理、模式识别.