

一种基于小波变换的分形零树混合编码方法

张洪英 杨长生

(浙江大学计算机系系统工程研究所, 杭州 310027)

摘要 为了降低分形编码的复杂度和提高编码效率,提出了一种基于小波变换的分形零树混合图象编码方法.该方法首先利用小波变换将图象分解为不同方向不同分辨率的子图象,然后分别在不同分辨率层将这些子图象以类似于零树的结构,构成一棵棵的小波子树(wavelet subtree).最后在编码时,对每一棵小波子树进行具体的分析,或采用分形编码(fractal coding),或采用零树编码(zerotree coding),与传统的基于小波变换的分形编码相比,此算法在充分利用子带图象间的相似性和块内存在的自相似性的同时,也充分利用了小波变换后子图象块内,特别是高分辨层的子图象块内所存在的大量局域性的冗余性.实验结果表明,此方法在较大的压缩范围内,都能够获得较好的压缩效果.

关键词 小波子树 分形编码 零树结构

中图法分类号: TN919.81 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)01-0096-04

A Wavelet Image Compression Algorithm Based on Fractal Coding and Zerotree

ZHANG Hong-ying, YANG Chang-sheng

(Computer System Engineering Institute, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract In order to achieve a high image compression ratio in fractal coding, the ability of fractal coding to predict wavelet coefficients is analyzed and the traditional way of fractal coding is found to be not able to effectively predict the entire wavelet coefficients and leads to a not very good coding result. A hybrid image compression algorithm based on wavelet transforming using fractal coding and zerotree coding that can make up for this flaw effectively is presented in this paper. First, the image is decomposed into a series of subimages in different orientations and different resolutions by wavelet transform, then the subimages in the same orientations but different resolutions are formed into wavelet subtrees, just like zerotree, at last, the wavelet subtrees are coded by the way of either fractal or zerotree coding according to the size of error when coding. This algorithm made a effective use of the redundancy within subimages as well as the self-similarities within subimages and the similarities cross scales compared with traditional fractal image coding based on wavelet transforming. The experimental with this algorithm presented in this paper also show that the proposed algorithm can obtain a good compression result in a broad compression rate scale.

Keywords Wavelet subtree, Fractal coding, Zerotree

0 引言

基于小波变换的分形图象编码和基于小波变换的零树图象编码是两种不同的图象编码方法,其中分形图象编码是基于经过小波变换后所表现出来的同方向、不同分辨率子图象间的相似性;而零树编码

则是基于经过小波变换后能量高度集中于低频子带的特点.

由于分形图象编码的基础是图象的自相似性^[1,2],因此,近年来,一些学者不断地研究利用经过小波变换后所表现出来的图象自相似性来进行编码,如1995年,Rinaldo和Calvagno提出了利用低分辨率的子带图象块作为值域块(Range Block)来

预测编码高一级的子带图象块——定义域块 (Domain Block)^[3]的方法。1998 年, Davis 提出了将 Shapiro 提出的零树结构用于小波变换中, 以便对图象进行分形编码^[4,5], 进而引出了小波子树 (Wavelet subtree) 的概念。

笔者认为, 这些基于小波变换的分形编码方法, 在注重寻找图象之间相似性的同时, 却忽略了图象在经过小波变换后的能量高度集中于低频带的特点, Shapiro 指出, 图象经小波变换后, 存在着大量的零树 (此零树不是指结构意义上的零树, 而是指小波系数为零的子树), 且越到高分辨带, 零树越密集^[6]。很显然, 以分形来对零树进行编码是非常低效的, 为此, 本文提出了一种基于小波变换的分形零树混合编码方法, 即在分形编码中加入 Shapiro 的零树思想, 以便自适应地对小波子树进行分形或零树编码。理论分析表明, 这种方法将有助于更加有效地挖掘经小波变换后的子带图象的特点, 也将有助于改善分形编码的复杂度和提高编码质量。实验结果也表明, 这种方法较单纯的基于小波变换的分形编码方法能取得更好的效果。

1 基于小波变换的分形编码

近年来, 基于小波变换的分形编码大致是围绕着如下两种结构展开研究的: 一种是 Rinaldo 等人提出的用变换后低分辨率的子带图象来预测同方向高一级的子带图象的分形编码方法^[2]; 另一种是 Davis 提出的基于小波子树结构的分形预测编码方法^[4,5]。

这两种方法的基本编码步骤大致如下:

(1) 对图象进行 N 层的小波分解 (如图 1, 图 2 所示), 即得到 N 级的子带图象, 其中最低分辨率的

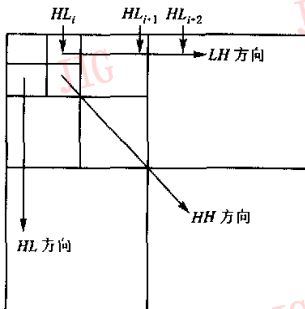


图 1 用低分辨率的子带图象预测高分辨率的子带图象

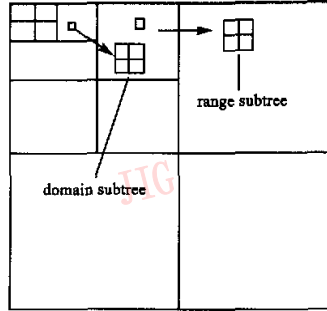


图 2 用低一层的小波子树来预测高一层的小波子树

子带图象 (the coarsest scale), 由于占原图象 90% 以上的能量, 因此应是分形预测编码的基础, 可用无损或有损很少的方法编码。

(2) 如图 1 所示的基于相邻子带图象相似性的分形编码方法, 是用低一级的子带图象 $LH_i, HL_i, HH_i (i \geq 1)$ 来对同方向、高一级的子带图象 $LH_{i+1}, HL_{i+1}, HH_{i+1}$ 子带图象进行预测编码; 对于如图 2 所示的基于小波子树结构的分形编码方法, 则是用低一层的小波子树 (Domain subtree) 来对高一层的子带子树 (Range subtree) 进行分形预测编码。

(3) 解码时, 先恢复低分辨率的子带图象, 然后由低到高逐级恢复不同分辨率的子带图象。

对这两类编码方法的详细介绍可见文献 [3]~ [5], 这里不再多述。

2 基于小波变换的分形零树混合编码

2.1 零树结构概述

小波子树的构成如下: 首先任取一方向 (LH, HL, HH 之一, 其他方向也是同样构造), 取 $a_{x,y}^l$ 位于第 l 层子带上, 坐标为 (x, y) 的节点, 称为父节点, 而称 $a_{2x+1, 2y}^{l+1}, a_{2x+1, 2y+1}^{l+1}, a_{2x+2, 2y}^{l+1}, a_{2x+2, 2y+1}^{l+1}$ 为此节点在第 $l+1$ 层上的 4 个子节点, 然后对此 4 个子节点再分别求其在下一层的子节点, 如此分解下去, 即构成了同方向、不同分辨率的小波子树 (小波子树可以从小波分解后的任意一层开始)。

一个小波系数 x , 对于一个给定的门限 T , 如果 $|x| < T$, 则称小波系数 x 是不重要的; 如果一个子带系数在一个较低分辨率层关于给定的门限 T 是不重要的, 且之后在较高分辨率层的小波子树的小波系数也关于门限 T 是不重要的, 则称小波系数形成了一个零树。

在小波系数的渐近传输中,若这种零树上的小波系数被视为零值,则不予传输.

2.2 基于小波变换的分形零树混合编码方法

Shapiro 指出,图象经过小波变换后,存在着大量的零树,且越到高分辨率层,零树越密集(零树编码的高效性正是利用此特征)^[6],这也是图象经小波变换后的能量分布特点. Davis 已指出,零树的自相似性是很弱的^[4,5],但由于自相似性是分形编码的基础,因此,用分形来预测编码零树,并非理想的办法,为此,本文引用了基于小波变换的分形编码方法,并结合零树编码的思想,提出了一种自适应的基于小波变换的分形零树混合编码方法(如图3所示). 图象经小波变换后就形成了一棵棵的小波子树(小波子树可以从小波分解后的任意一层开始),而小波子树上的每个节点根据实际情况分析,则面临着如下两种选择:(1)类似于零树渐进传输时,被置为零,则不予编码;(2)通过较低分辨率的节点对其进行分形预测编码.

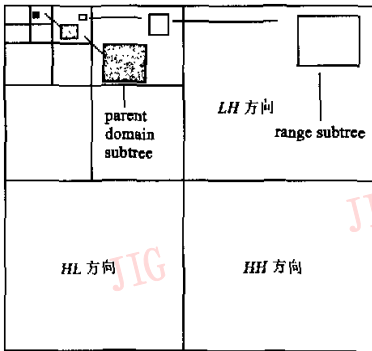


图3 小波子树结构图

2.3 核心算法

根据上面对经小波变换后的图象进行的分形分析,本文提出了一种基于小波变换的自适应分形零树混合编码方法,其核心算法如下:

(1) 对图象进行离散小波变换(DWT),通过小波变换,将图象分成 $N+1$ 个子带(N 表示图象小波分解的次数),对占有原图象 90% 以上的能量的最低分辨率子带图象(the coarsest scale),以无损或有损很少的编码方法进行编码.

(2) LH 方向按如下步骤编码:首先,从第 $k(k \geq 1)$ 层开始,以类似于零树的结构,将由不同分辨率层的 LH_k 小波系数组成的小波子树,称之为 range subtree,然后对每一棵 range subtree,则从相

应的同方向的上一层 parent domain subtree 中,寻找其相似树(如图3所示).

(3) 对每一节点,首先比较其在分形编码和零树编码两种不同编码方法下的误差之和 $\sum \epsilon$ (注意, $\sum \epsilon$ 为第 k 层小波子树中所有节点的误差 ϵ 之和,包括第 k 层及后继层上的所有节点 ($2 < k < N$)),然后采用误差和较小的方法对此节点进行编码.

(4) 参照第3步中分形编码方法的节点,继续对其高一级的分辨率($k=k+1$)层上小波子树的其他节点进行分析,同样比较在分形编码和零树编码两种不同方法下的误差之和 $\sum \epsilon$,再同样采用误差和较小的方法来对此节点进行编码,重复步骤3,4,直至 $k=N-1$. 举例来说,图4就是一个3层的小波子树可能出现的几种小波子树的编码选择(注意,此图只列出了可能的几种编码选择,还有更多的选择).

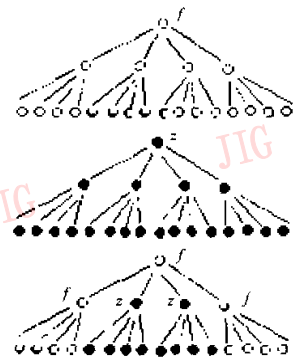


图4 可能出现几种小波子树的编码选择(以3层小波子树为例)

注:空心圆 f 代表需要编码的节点,实心圆 z 代表零树编码的节点

(5) 在 HL 和 HH 方向,则以与 LH 方向同样的方式编码.

3 实验结果

表1列出了本方法对 Lena 图象(512×512)进行编码的实验结果(采用 Spline 小波基)及其与文献[7]中的经小波变换后,再利用相邻子带相似性进行分形编码的实验结果和文献[7]中的经小波变换后,利用小波子树结构相似性进行分形编码的实验结果的对比情况.由表1可见,本文方法与文献[7]中的经小波变换后,利用小波子树相似性的分形预测编码方法相比,在基本相同的信噪比的情况下,图

象压缩比提高了8倍,在基本相同的压缩比的情况下,图象信噪比提高了0.8dB,在高倍压缩区域(压缩比大于60),本文方法也表现出了良好的性能.与文献[7]中相邻子带分形编码方法相比,本文方法也有了很大的改善.

表1 不同编码方法的编码结果比较

图象	本文方法		小波变换后分形编码方法			
	PSNR (dB)	压缩倍数	基于小波子树相似性		基于相邻子带相似性	
			PSNR (dB)	压缩倍数	PSNR (dB)	压缩倍数
	30.23	50.04	30.19	42.29	30.66	33.07
Lena	31.93	42.04	30.13	41.65	30.71	32.74
	30.10	60.11	29.93	41.50	30.44	32.25



(a) Lena 原图象

(b) 本文方法压缩后的恢复图象

($CR = 42.04, PSNR = 31.93dB$)

图5

4 结论

图象经小波变换后所表示出来的不同方向、不同分辨率的子带图象的相似性,为分形编码提供了很大的扩展空间,而图象经小波变换后所表示出来的能量分布特点同样也为零树编码打下了基石.由于传统的基于小波变换的分形编码方法尚未能充分发掘小波变换后的能量分布特点,而本文提出的方法则在充分利用子带图象间的相似性和块内存在的自相似性的同时,还充分利用了小波变换后子图象块内,特别是高分辨率层的子图象块内存在的大量局域性的相关冗余性.由实验数据可知,在压缩比为6.98时,零编码树的比例占了整个编码树的55%左右,当压缩比为44时,零编码树的比例则占

了其中的87%左右.这说明,将零树的思想加入到分形编码中是非常有效的,这不仅将大大地减少了编码开销,也降低了编码的复杂性,实验结果也证明,本文提出的方法是有效的.与分形编码类似,本方法对纹理较多图象的处理结果还有待提高,这方面将有待于继续开展工作.

参考文献

- 1 Jacquin A. Fractal image coding: A review [J]. Proceeding of IEEE, 1993, 81(10): 1451~1465.
- 2 Jacquin A. Image coding based on a fractal theory of iterated contractive image transformations [J]. IEEE Trans. on Image Processing, 1992, 1(1): 18~30.
- 3 Rinaldo R, Calvagno G. Image coding by block prediction of multiresolution subimages [J]. IEEE Trans. on Image Processing, 1995, 4(7): 909~920.
- 4 Davis G M. Self-quantization of wavelet subtrees: A wavelet-based theory of fractal image compression [A]. In: Proc. Data Compression Conf. [C], Snowbird, UT, USA, Mar. 1995: 232~241.
- 5 Davis G M. A wavelet-based analysis of fractal image compression [J], IEEE Trans. on Image Processing, 1998, 7(2): 141~154.
- 6 Shapiro J. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients [J]. IEEE Trans. on Signal Processing, 1993, 41(12): 3445~3462.
- 7 谢鑫, 马争鸣. 基于小波系数零树结构的分形预测图象编码 [J]. 中国图象图形学报, 2000, 5A(11): 920~924.



张洪英 1975年生,浙江大学计算机系计算机应用专业硕士研究生.研究方向为多媒体数据压缩技术与数字水印.



杨长生 1945年生,浙江大学计算机系教授.研究方向为多媒体数据压缩技术、控制器仿真技术及计算机体系结构.