

一种基于图像纹理分析的分形和 SPIHT 混合编码

何奇 韩国强 张见威 林少丹

(华南理工大学计算机科学与工程学院, 广州 510641)

摘要 从研究分形图像编码和零树编码各自的优缺点以及它们之间的结合点出发, 寻找了一种基于图像纹理分析的分形和 SPIHT 混合编码, 目的在于充分利用景物特征和人眼的视觉特性, 提高分形变换和零树在图像编码领域内的协同能力。该方法利用 SPIHT 算法位平面编码的渐进特性, 用基于灰度模型的统计特征分类方法将分形和 SPIHT 相结合, 得到更符合人眼视觉特性的编码方案。实验结果表明, 该方法能进行较好的图像块分类, 并取得较高的压缩比, 而且在人眼视觉允许的范围且同时又要求高压缩比的情况下具有优势。

关键词 混合图像编码 分形图像编码 SPIHT 零树编码 小波变换 图像纹理分析

中图法分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2005)12-1485-06

A Hybrid Image Coding Based on Image Texture Analysis of Fractal and SPIHT

HE Qi, HAN Guo-qiang, ZHANG Jian-wei, Lin Shao-dan

(School of Computer Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641)

Abstract Starting off the research of respective advantages and disadvantages of fractal image coding and zerotree image coding and their bonding points, a hybrid image coding based on image texture analysis of fractal and SPIHT (Set Partition in Hierarchical Trees) is presented to make full use of scenery characteristics and eye's vision features and then improve the cooperation ability of fractal and zerotree in the area of image coding. The prominent feature of this method is that it makes full use of the progressiveness of bit plane coding used in SPIHT coder and combine the fractal and SPIHT with statistical characteristic taxonomy based on grey-model and then get the coding scheme that is more suitable for eye's vision features. The result shows this method can classify the image block clearly and get high compression rate. And this method gains a better effect when generally considers the recovery image quality and compression rate, under the condition of the permission of eyes and high compression rate.

Keywords hybrid image coding, fractal image coding, SPIHT zerotree coding, wavelet transform, image texture analysis

1 引言

小波变换作为一种时-频域信号分析工具, 在图像处理中取得了成功应用。借助小波变换, 可以把图像信号分解成许多具有不同空间分辨率、频率特

性和方向特性的子带信号, 实现低频长时特征和高频短时特征的同时处理, 使得图像信号的分解更适用于人的视觉特性和数据压缩的要求。由 Mallat 提出的多分辨率分析方法^[1], 能以有效的信号表示方式来处理非平稳信号, 其产生的多分辨率塔式数据结构符合人类视觉系统特性, 已被有效地用于图像编

基金项目: 国家自然科学基金项目(10171033); 广东省“千百十工程”优秀人才基金项目(Q02052); 广东省自然科学基金项目(31340); 广州市科技计划项目(2004J1-C0081); 广东省计算机网络重点实验室开放基金项目(CN200401)

收稿日期: 2004-12-03; **改回日期:** 2005-03-21

第一作者简介: 何奇(1978 ~), 男。2000年和2003年于华南理工大学分别获得学士、硕士学位。主要研究方向包括图像编码与处理、分形及小波变换。E-mail: vela1027@yahoo.com.cn

码领域。Shapiro 在小波分解的基础上提出的嵌入式零树小波系数编码算法 (EZW) 被认为是静态图像变换编码领域迄今为止较好的算法之一^[2], 该算法的思想已被 JPEG-2000 采用。Said 提出的 SPIHT 算法则是迄今最好的零树编码改进方案之一^[3]。

零树编码算法要对系数进行多次重复扫描, 时间复杂度较高, 编码和解码速度较慢, 而且, 当压缩比很高的时候 (50 倍左右), 零树编码会出现边缘模糊现象 (Gibbs 效应)。

在提高编码质量和缩短解码时间方面, 分形技术有其巨大的先天优势。Barnsley 早期实验^[4]论证了在人工干预方式下, 图像经分形编码后压缩比相当高, 可达到几万比一, 而且解码几乎是实时操作, 解码时可任意缩放尺寸, 并保持精细结构 (无锯齿效应)。分形和小波的混合编码, 被有些学者认为是分形编码的主要出路之一^[5], 因为它弥补了分形编码在图像常量区域的不足以及编码时间过长的缺点。本文将通过将分形和 SPIHT 算法混合, 采用 SPIHT 的算法流程, 保证编解码的渐进性, 实现了分形和零树的混合编码 (简称 FS 混合编码, Fractal-SPIHT hybrid image coding)。实验结果表明, 该方法能较好地进行图像块分类, 并取得较高的压缩比, 而且在人眼视觉允许的范围内且同时又要求高压缩比的情况下具有优势。

2 图像纹理与编码

所谓纹理就是图像的条纹。这里采用 Pratt 关于纹理的定义^[6]。图像纹理具备两种基本属性: 图像在空间上有明确的分块; 图像灰度值在空间上随机地分布 (瓦片结构)。

针对图像的特点, 对纹理的描述有两种不同的方法。一种称之为结构法, 认为纹理是由一些纹理基元组成的, 这些基元是一些变化的形状, 也可以是不变的形状, 纹理图像被认为是由这些基元按某种规则排列而成的; 另一种称之为统计法, 认为纹理是 2 维随机场的一次实现, 而纹理特征就由它的统计特性所决定。基于以上对纹理的基本描述, 就产生了两种常见的纹理分析方法: 基于多通道滤波的特征分类方法和基于灰度模型的统计特征分类方法。

本文沿用 Jacqin 模式分形编码^[7]采用的 Ramamurthi 的基于灰度模型的统计特征分类方法^[8], 对图像块进行一个简单的分类, 以体现分形

和零树各自的优越性。该算法将原始图像分为光滑块、边块和处于两者之间的适度块 3 种, 其中边块又可分为简单边块、混合边块和对角边块, 每条边又有正极和负极之分等。

由于图像光滑块在特定门限下对应于一棵零树 (zero tree), 故而对光滑块采用 SPIHT 零树编码。图像的简单边块之间可以完全用分形的 8 种几何变换进行互相转换。由于块的大小限制, 具备明显简单边特性的图像块一般不具备其他几何特性, 因而用一个类似的简单边块映射另一个简单边块是可行的, 故简单边块采用分形编码。图像的混合边块分两种情况, 一种是正负极共存的水平边块, 另一种是正负极共存的垂直边块。水平边和垂直边可以通过旋转互相转换, 正负极之间可以通过对折互相转换, 因而混合边块采用分形编码。由于对角边实际上是由水平边和垂直边复合合成的, 因而对角边相互之间也可以通过分形变换得到。适度块由于图像的纹理特性不明显, 因而彼此之间难以用分形变换互相转换。根据实验可知, 适度块是图像中数量最多的一种类型块。如果将 Ramamurthi 算法中的门限提高, 大量的适度块都会转换为光滑块。由此可见, 适度块与光滑块之间的界限是模糊的。因而, 适度块采用 SPIHT 零树编码。

3 FS 混合编码算法

3.1 编码算法

原始图像 P , 大小为 $N \times N$ 。 $p_{i,j}$ 表示小波分解后, 位于第 i 行第 j 列的小波系数。用一个空间压缩变换将一个大的图像映射到另一个小的图像块, 其中映射块称为 D 块 (Domain 块), 被映射块称为 R 块 (Range 块)。

3.1.1 小波分解和小波系数分块

小波分解级数为 $1 + \log_2(B)$ 。其中, B 是最高分辨率下 R 块的大小。

小波系数分块: 对各个分辨率下的小波系数的 LH, HL, HH 分量进行分块, 每一个分量的分块方法相同。最高分辨率下 R 块大小为 $B \times B$, 最高分辨率下 D 块大小为 $2B \times 2B$ 。其中 D 块每次向右或者向下平移 B 个像素。如果 R 块的个数是 $C_r \times C_r$, 那么 D 块的个数便是 $(C_r - 1) \times (C_r - 1)$, 其中 $C_r = N/(2B)$ 。

3.1.2 对原始图像进行块分类

将原始图像中的所有 R 块 ($2B \times 2B$ 大小) 分为 5 个列表:光滑块列表 R_s ;适度块列表 R_m ;简单边块列表 R_{se} ;复杂边块列表 R_{me} ;对角边块列表 R_{de} 。 D 块 ($4B \times 4B$ 大小) 类似处理。

3.1.3 分形编码和 SPIHT 零树编码的预处理

(1) 计算 SPIHT 零树编码的分析级数

分析级数 = $\lfloor \log_2 \text{最大系数值} \rfloor$ 。

(2) 初始化 SPIHT 算法中的 LIP (不重要系数表), LIS (重要系数表), LSP (不重要集合表):

$$LIP = LL3 + LH3 + HL3 + HH3$$

$$LIS = LH3 + HL3 + HH3$$

其中, $LL3$ 、 $LH3$ 、 $HL3$ 和 $HH3$ 分别为第 3 级小波分解的 4 个分量。

(3) 根据 Ramamurthi 算法, 将边块 (R_{se} , R_{me} , R_{de}) 抽取出来进行分形编码, 即屏蔽 LIS 中的相关点。同时定义 $fetched_R$ 数组用来记录进行分形编码的 R 块。

(4) 初始化 SPIHT 中 $sign_array$, bit_array 数组, SN 数组为空。

$sign_array$: 记录有意义的小波系数的符号流。

bit_array : 记录 3.1.4 节第 3 步编码精化过程中小波系数的位流。

SN : 记录小波系数或者 LIS 在不同门限下的意义。

如果 (i, j) 是 LIP 中的点, 那么 $SN(i, j)$ 表示 (i, j) 处的小波系数有意义。如果 (i, j) 是 LIS 中的点, 那么 $SN(i, j)$ 表示以 (i, j) 为根的小波子树 (不含根) 有意义。赋值中, 0 表示无意义 (“零点” 或者 “零根”), 1 表示有意义。

(5) 初始化分形编码中的刻度因子范围

刻度因子为 $\{0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0\}$ 。

3.1.4 排序扫描

(1) for LIP 中的每一个 (i, j)

{ 输出 $SN(i, j)$;

if ($SN(i, j) = 1$)

将 (i, j) 移到 LSP , 并输出 (i, j) 的符号至 $sign_array$;

}

(2) for LIS 中每一个 (i, j)

{ if ((i, j) 未被屏蔽)

{ if ((i, j) 是 A 类型)

{ 输出 $SN(D(i, j))$;

if ($SN(D(i, j)) = 1$)

for 每一个属于 $O(i, j)$ 中的 (k, l)

{ 输出 $SN(k, l)$;

if ($SN(k, l) = 1$)

将 (k, l) 移到 LSP , 并输出 (i, j) 的符号至 $sign_array$;

else 将 (k, l) 移到 LIP ;

}

if $L(i, j)$ 不为空

将 (i, j) 作为 B 类型移到 LIS ;

else 将 (i, j) 从 LIS 中清除;

}

if ((i, j) 是 B 类型)

{ 输出 $SN(L(i, j))$;

if ($SN(L(i, j)) = 1$)

将所有属于 $O(i, j)$ 的 (k, l) 作为 A 类型移到 LIS , 并将 (i, j) 从 LIS 中清除;

}

}

else

{ 计算出当前需要分形编码的 R 块, 并确定该 R 块的类型;

对于该 R 块的每一个分量: LH, HL, HH

计算该 R 块分量的平均灰度值 $E(R)$ 。

for 每一个与该 R 块同类型的 D 块

{ 计算 D 块的平均灰度值 $E(D)$;

计算 6 种刻度因子情况下的灰度补偿因子 g_error

for 分形变换中的 8 种几何变换中每一种

{ 对 D 块进行 LH/HL 的转换或者 $LH/HL/HH$ 系数符号的取反, 得到 D_L ;

对 D 块进行块变换 $D_T = \text{刻度因子} \times D_L \lfloor L \rfloor + g_error(s)$;

计算每一个刻度因子下 R 块分量和 D_T 的均方差 $RD_error = (R - D_T)^2$;

}

}

选出均方差最小时的 D 块, 以及对应的刻度因子, 几何变换和灰度补偿因子。

}

}

(3) 精化过程

对于 LSP 中每一个 (i, j) , 如果它的系数值大于 $2^{(\text{当前SPIHT分析级数} + 1)}$, 则输出它第 n 个高位到 bit_array 。

(4) 将当前 SPIHT 分析级数 - 1, 跳转至第 2 步。

3.2 编解码之间传递的参数

编解码之间传递的参数由文件头、SPIHT 算法传递的参数和分形编码传递的参数组成。其中文件头占用 20bits, 包括原始图像大小 14bits, 小波分解级数 3bits, SPIHT 算法分析级数 3bits。

SPIHT 算法传递的参数包括 $SN(i, j)$ 、 $sign_array$ 和 bit_array 。

分形编码传递的参数包括 $Fetched_R$ 数组 (如果原始图像被分成 r 个 R 块, 则占用 r bits) 和用来记录每个分形变换的 D 块位置 (占用 12bits)、几何变换种类 (占用 3bits)、刻度因子值 (占用 3bits)、灰度补偿因子值 (占用 6bits) 的数组。

3.3 解码算法

3.3.1 重新初始化 LIP, LIS, LSP

LIP, LIS, LSP 重新初始化后, 预留了所需恢复系数的坐标值, 系数值则全部设为 0。另外还要根据 $fetched_R$ 更改 LIS 。

3.3.2 SPIHT 的排序扫描

流程和编码算法一样, 除了不用做分形解码。只要用“输入”简单地代替“输出”即可。

3.3.3 分形解码

(1) 根据 SPIHT 算法解码结果恢复部分小波系数。

(2) 对于每一个分形编码的 R 块, 根据分形变

换参数恢复该 R 块对应的 D 块 (位于比 R 块分解级数更高一级的小波子带)、几何变换类型、刻度因子和灰度补偿因子。

(3) 渐进式地恢复 (从分辨率次低级到最高级) 编码时用分形编码的 R 块。

(4) 将恢复的 R 块填补到 SPIHT 恢复后的小波系数中。

4 实验结果分析

图 1 是本文算法与 SPIHT 算法在各自迭代扫描 5 次后的重建图像。图 2 是本文算法与 SPIHT 算法在压缩比 113.314 (位比特率 0.070 6bpp) 下的重建图像。

从图 1 可知, 在高压压缩比的情况下, 本文算法在重建图像质量 (本文采用峰值信噪比 PSNR 来度量) 上虽然有所下降 (人眼难以觉察到这种失真), 但压缩比性能上却提高很多 (从 50.955 提高到 75.330)。在人眼是图像最终接受者的情况下, 本文算法是实用的。随着压缩比的进一步提高, 如图 2 所示, SPIHT 算法和本文算法都出现了“方块”效应, 但是, SPIHT 算法在图像质量上的性能下降更为迅速, 而本文算法却由于对图像质量保持较好, 峰值信噪比反而超过了 SPIHT 算法 1.38dB (压缩比 = 113.314)。

实验结果表明, 本文的 FS 混合编码在人眼视觉允许的范围且同时又要求高压压缩比的情况下图像质量和压缩比的综合性能较 SPIHT 算法优。



图 1 本文算法与 SPIHT 算法在各自迭代扫描 5 次后的重建图像

Fig. 1 Reconstructed images after 5 iterative scans using this algorithm and SPIHT algorithm



图 2 本文算法与 SPIHT 算法在压缩比 113.314 下的重建图像

Fig. 2 Reconstructed images with compression ratio 113.314 using this algorithm and SPIHT algorithm

5 结 论

分形理论作为当今热门的一个非线性科学研究方向,在图像处理领域已经得到了广泛的应用。本论文从图像的纹理分析角度出发,将分形和小波应用于图像压缩方面的研究,取得了一些新的结果,提出了一种新的混合编码方案,该算法在人眼视觉允许的范围内同时又要求高压缩比的情况下图像质量和压缩比的综合性能较 SPIHT 算法优。

然而,实验也表明,分形编码可以针对图像的纹理区域克服零树编码中位比特率过高的瓶颈。但是,由于自相似性的不够充分,分形编码难以得到具有较高信噪比的恢复图像。这是因为,分形编码除了具备解码时间快以及位比特率较低的特点以外,在信噪比性能以及编码时间上通常很难与当前最先进的编码方案相比较。这一点在分形编码近十年的进展过程中一直没有得到突破。究其原因,最重要的一点在于图像的纹理分析没有得到突破。随机的纹理分布,通常使得其中的数学规律不明显。这种数学规律类似随机布朗运动^[9],有时候可以用能量的集中度或者某一数学因子的统计概率来表达^[10]。然而,这种表达往往是基于特定的一些实验而缺乏普遍性。因而,全面综合地认识图像纹理,通过对图像的分析理解后再进行区域分割,区域形状也不再局限于简单的分块,使分割区域与原始图像某些部分之间在视觉意义下的相似度有所提高,对于图像压缩编码具有非常重要的意义。另外,由于小波系

数具备非常好的空间特性和能量特性,任何图像的灰度值统计特性理论上应该都可以转化到小波系数之间的关系上来。如果小波系数或者经过某种变换的小波系数能够体现出图像的纹理特性,那么一种同时具备高信噪比,低位比特率的编码方案也将产生。许多学者已经在这方面进行了许多有意义的研究^[11-13]。这是图像编码的一个重要发展方向。

参考文献 (References)

- 1 Mallat S G. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989, 11(7): 674 ~ 693.
- 2 Shapiro J M. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 41(12): 3445 ~ 3462.
- 3 Said A, Pearlman W A. A new, fast, and efficient image coded based on set partitioning in hierarchical trees [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1996, 6(3): 243 ~ 250.
- 4 Barnsley M F, Sloan A D. A better way to compress images [J]. BYTE, 1988, 13(1): 215 ~ 223.
- 5 Zhao Y, Wang H X, Yuan B Z. Advances in fractal image coding [J]. Acta Electronica Sinica, 2000, 28(4): 95 ~ 102. [赵纛,王红星,袁保宗. 分形图像编码研究的进展 [J]. 电子学报, 2000, 28(4): 95 ~ 102.]
- 6 Pratt W K. Digital Image Processing [M]. New York: John Wiley and Sons, 1991.
- 7 Jacquin A E. A novel fractal block-coding technique for digital image [A]. In: Proceeding of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing [C]. Albuquerque, New Mexico, USA, 1990: 2225 ~ 2228.
- 8 Ramamurthi B, Gersho A. Classified vector quantization of images

- [J]. IEEE Transactions on Communication, 1986, 34(11): 1105~1115.
- 9 Pentland A. Fractal-based description of natural scenes[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1984, 6(6): 661~673.
- 10 Flandrin P. Wavelet analysis and synthesis of fractional Brownian motion[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1992, 38(3): 910~917.
- 11 Ryan T W, Sanders L D, Fisher H D, *et al.* Image compression by texture modeling in the wavelet domain[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1996, 5(1): 26~36.
- 12 Nadenau M J, Reichel J, Kunt M. Visually improved image compression by combining a conventional wavelet-coded with texture modeling[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 11(11):1284~1294.
- 13 Huang P W, Dai S K. Image retrieval by texture similarity[J]. Pattern Recognition, 2003, 36(3): 665~679.