

一种基于小波变换的图象分形编码压缩算法的研究

谢永华 傅德胜

任卫华

(南京气象学院计算机科学系, 南京 210044) (江苏省气象台信息网络中心, 南京 210008)

摘要 有效的编码压缩算法是图象数据存储和传输的关键。为了更方便地进行图象存储和传输, 在分析基本分形编码(FCC)压缩算法优缺点的基础上, 提出了一种新的结合小波变换的图象分形编码(DWT-FCC)压缩算法, 该算法首先对图象进行二级小波变换分解, 然后对分解后的高层子图象进行基本分形编码, 并根据不同层子图象结构间的相似性, 通过高层分形编码来构造低层子图象分形编码, 以实现图象的编码压缩。实验结果表明, 该算法在缩短图象编码时间和提高压缩比方面, 均取得了良好的效果。

关键词 图象处理(510·4050) 离散小波变换 多分辨率分析 基本分形编码

中图分类号: TN919.81 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2003)07-0839-04

A Fractal Image Coding Algorithm Research Based on Wavelet Transformation

XIE Yong-hua, FU De-sheng

(Computer Science Department of Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044)

REN wei-hua

(Information Network Center, Jiangsu Meteorology Station, Nanjing 210008)

Abstract Efficient encoding algorithm is the key factor for image to store and transmit. In order to make it more convenient and efficient for image to store and transmit, several kinds of methods have been practised in the past. Among these methods, wavelet transform algorithm and fractal encoding algorithm are the two main methods for image processing and have recently received considerable attention. In this paper, with analyzing the merit and disadvantage of basic fractal encoding algorithm, a new fractal encoding method based on wavelet transform has been proposed. Through the two algorithm, a digital image is firstly decomposed into four subband images with two-scale wavelet transform, one of them is high frequency part and the others are low ones, then according to the likeness of structure between different level subband image, we apply the basic fractal coding to the decomposed high-level subband image and construct the low-level fractal codes with the high ones. Satisfactory and effective results have been obtained by analyzing the course of the experiments with the two related algorithm, especially in shortening the encoding time and improving the compression rate.

Keywords Discrete wavelet transform(DWT), Multi-resolution analysis, Fractal compression coding(FCC)

0 引言

信息技术的发展给图象压缩和传输技术带来了更多的机遇和挑战, 由于庞大的图象数据量给图象的存储和传输带来了很大困难, 因此必须探索一些新的图象编码压缩方法。图象分形编码以其潜在的高压缩比已经越来越受到重视。但由于分形编码对于诸如如何获取更高的压缩比, 尤其缩短编码时间

等问题并不能很好地解决, 所以必须考虑把分形编码压缩技术和其他的图象处理技术结合起来, 才能是解决这些问题的一个重要途径。

小波变换是一种新兴的数学分析方法, 已经受到了人们广泛的重视。小波变换是一种全局变换, 其在时域和频域同时有良好的定位能力, 由于它对图象的高频分量采用逐渐精细的时域和空域步长, 且可以使高频分量聚焦到被处理图象的任何细节, 因而很快在图象处理领域得到了广泛的应用^[1]。

本文在分形编码理论的基础上,提出了一种结合小波变换和分形理论的新的图象编码压缩方法.实践证明,采用这种编码方法,不仅能够得到更高的图象压缩比,而且可以大大缩短编码时间.

1 基本分形编码压缩算法

1.1 基本描述^[2]

定义1 设 D 为欧氏空间 E^n 上的一个闭集, $T(D)$ 为 D 上的紧致集族. $\psi_j (j=1, 2, \dots, N)$ 是从 $T(D)$ 到 $T(D)$ 上的压缩映射族, 满足条件: 存在一个最小的收缩率 $\lambda_j \in (0, 1)$, 使得

$$|\psi_j(x)| \leq \lambda_j |x|, \forall x \in T(D) \quad (1)$$

成立. 若存在收缩率 λ , 且满足 $0 < \lambda = \sup \{\lambda_j\} < 1$, 则把集合变换

$$\psi(x) = \bigcup_{0 \leq j \leq N} \psi_j(x), \forall x \in T(D) \quad (2)$$

称为 D 上的分形变换. 其中, F 为分形仿射变换算子.

定义2 设 φ 是从欧氏空间 E^n 到 E^n 的点变换, 并存在收缩率 $\lambda (0 < \lambda < 1)$ 使得

$$d(\varphi(x), \varphi(y)) \leq \lambda d(x, y), \forall x, y \in E^n \quad (3)$$

其中, $d(\cdot, \cdot)$ 为欧氏距离, 则称 φ 为压缩映射, 而称 λ 为 φ 的压缩比. 如果 E^n 上的压缩映射族 $\psi = \{\varphi_j, 1 \leq j \leq N\}$, φ_j 的压缩比为 λ_j , $0 < \lambda = \sup \{\lambda_j\} < 1$, 而且对应每一个 φ_j , 都有一个伴随概率 $p_j, 0 < p_j < 1, \sum_{j=1}^N p_j = 1$, 则称 φ 为一个压缩型迭代函数系统或分形仿射变换组, 记为 (E^n, φ, ρ) , λ 称为该系统的压缩比.

但在实际应用中, 由于直接构造分形变换 ψ 非常困难, 因此一般采用分形仿射的方法来构造^[3,4], 即

$$\psi(X_{\text{org}}) = \bigcup_{0 \leq j \leq N} \psi_j(S_j) \quad (4)$$

其中, N 为紧缩分形仿射变换的个数, 若 $S_j \subset X_{\text{org}}$, X_{org} 为原图象, 则称 $\psi_j (0 \leq j \leq N)$ 为原图象 X_{org} 的分形压缩数据.

1.2 基于分形变换的图象编码压缩算法

基于分形变换的图象编码是在分形理论的基础上发展起来的模型编码技术. 其编码算法主要步骤如下:

(1) 将待编码的图象分割成互不重叠的小块, 即分类块(Range 块), 简称 R 块, 同时将图象分割

成可以相互重叠的大一些的块, 即重叠块(Domain 块), 简称 D 块. 所有分类块的组合就是原图象, 而所有重叠块的组合, 恰好是寻找仿射压缩变换的图象块的“源”. 文献[2]给出了具体的图象分割原理和方法.

(2) 对分割后的分类块和重叠块进行分类. 由于一幅图象可以分为变化平缓的平滑区域、变化突然的边缘区域和变化缓和的中间型区域, 而且相匹配的块具有相同的区域性质. 因此, 为了加快编码过程, 并实现对具有相同区域性质的块间进行匹配搜索的过程, 必须首先将分割块分成平缓分类块和重叠块, 边缘分类块和重叠块, 以及过渡分类块和重叠块^[4].

(3) 对分类后相同区域的每一个分类块 R_j , 通过寻找一个可以匹配的重叠块 D_j , 使得 D_j 通过压缩映射族 ψ_j 可以近似于 R_j , 这样就可以找到一组仿射变换组 $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_N$, 即为分割迭代系统, 只要该系统的变换是收缩的, 且比原系统简单, 那么就可以实现分形压缩^[3].

综上所述, 基本分形压缩算法主要是对图象分割后的分类块和重叠块进行搜索匹配的过程. 这种算法的特点是压缩率高(比经典编码高 1~2 个数量级), 而且运算速度与提高图象分辨率的关系不大, 但由此带来的问题是压缩时的计算量大, 致使编码压缩时间很长. 为此, 本文提出了一种新的基于小波变换的图象分形编码压缩技术.

2 基于小波变换的分形编码压缩算法 (DWT-Fractal)

2.1 小波多分辨率图象分解算法

基于小波多分辨率分析的图象分解算法的基本思想是, 在选定合适的正交小波基的基础上, 对图象进行二维小波分解.

设信号 $\{C_{i+1, m, n}; m, n \in \mathbf{Z}\}$ 是二维图象 $f(x, y)$ 在分辨率 $i+1$ 上的近似表示, 则二维信号 $\{C_{i+1, m, n}; m, n \in \mathbf{Z}\}$ 的有限正交小波分解公式为

$$\begin{cases} c_{i+1, m_1, m_2}^1 = \sum_{k_1, k_2} h_{k_1-2m_1} h_{k_2-2m_2} C_{i+1, k_1, k_2} \\ d_{i+1, m_1, m_2}^1 = \sum_{k_1, k_2} h_{k_1-2m_1} g_{k_2-2m_2} C_{i+1, k_1, k_2} \\ d_{i+1, m_1, m_2}^2 = \sum_{k_1, k_2} g_{k_1-2m_1} h_{k_2-2m_2} C_{i+1, k_1, k_2} \\ d_{i+1, m_1, m_2}^3 = \sum_{k_1, k_2} g_{k_1-2m_1} g_{k_2-2m_2} C_{i+1, k_1, k_2} \end{cases} \quad (5)$$

由此可见, 图象信号经过式(5)的二维小波分解, 被分解为 c^1, d^1, d^2, d^3 4 个部分, 其分别对应于图象的一个低频分量和 3 个高频分量. 图象信号的主要能量集中在低频区域, 它反映图象的平均亮度, 对这一部分可以重复进行多级小波分解, 文献[1]给出了图象小波变换的多级分解方法, 因为细节边缘信息主要集中在高频区域, 所以必须对高、低频分量根据人类的视觉生理特性分别作不同的编码处理.

2.2 基于小波变换的分形编码压缩方法

基于离散小波变换 DWT (Discrete wavelet transform) 的分形压缩的基本思想是, 由于小波变换把图象分解为不同空间频带上的子图象, 而且不同层的对应的子图象结构之间存在着很大的相似性, 因此分形压缩算法主要是利用图象空间结构信息来进行压缩. 这样就可以在小波变换后的高层子图象内进行基本分形压缩, 并根据分形的特点, 利用不同层子图象之间的相似性来求得更高的压缩比, 同时由于是在小波变换后的高层子图象内进行压缩, 图象分割后的分类块域和其相应的重叠块域内的图象块数目大大减少, 所以匹配的寻找时间也就相应大幅度减少, 这就达到了缩短编码压缩时间的目的.

图 1 给出了基于小波变换的分形编码压缩算法流程图, 其具体步骤为:

(1) 对图象进行二级小波分解. 首先对原图象进行一级小波分解, 即得到一级高、低频 4 个图象分

量 $D_{10}, D_{11}, D_{12}, D_{13}$, 然后对低频分量 D_{10} 进行二级小波变换, 即得到二级高、低频分量 $D_{20}, D_{21}, D_{22}, D_{23}$. 其中, 图象分量中的前一个数字代表小波变换的级数, 后一个代表分量的个数标号;

(2) 分别对小波变换二级高频子图象 D_{21}, D_{22} 和 D_{23} 进行分割和分类, 然后利用具有相同区域性质块搜索匹配的方法来对它们进行基本分形压缩, 即得到二级子图象的分形编码;

(3) 根据不同层对应子图象结构间的相似性, 通过二级子图象的分形编码来构造一级子图象的分形编码.

3 实验仿真结果及算法性能比较

3.1 实验结果及仿真

本文选取了如图 2(a)所示的大小为 256×256 , 每像素 8bit 的“Camera”图象. 本文选取了双正交小波滤波器组^[1,5], 其阶数为分析 9 阶和合成 7 阶, 滤波器系数列于表 1. 其中, 小波变换的级数选为 2, 这是为了既考虑到图象的大部分低频部分, 同时又有利于分形方法对有关图象空间结构的分析. 对于通过小波变换得到的每一个二级子图象, 本文中分类块的大小取为 8×8 , 重叠块的大小为 16×16 . 由于低频部分在图象中占据大部分能量, 也是人眼的主要观察区域, 因此为了很好地保证低频信息的完整, 低频子块 $D_{2,0}$ 不参与分形编码, 而是采用传统的离散余弦变换 Discrete cosine transform (DCT) 编码. 图 2 给出了不同条件下的仿真显示, 实验结果见表 2.

表 1 双正交小波滤波器组的系数

N	0	± 1	± 2	± 3	± 4
$h[n]$	0.812 269	0.383 502	-0.109 536	-0.021 489	
$h_1[n]$	0.765 386	0.407 392	-0.040 268	-0.062 359	0

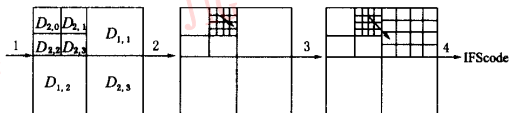


图 1 DWT-Fractal 方法编码压缩示意图



(a) 原图象



(b) $PSNR=29\text{dB}$, $C_R=0.34\text{bpp}$



(c) $PSNR=29.83\text{dB}$,
 $C_R=0.35\text{bpp}$



(d) $PSNR=36.83\text{dB}$,
 $C_R=0.38\text{bpp}$

图 2 不同条件下“Camera”的仿真显示结果

表2 实验参数及仿真结果

编码结果	解码迭代次数	峰值信噪比 (dB)	时间 (s)	比特率 C_R (bpp)	压缩比
图2(b)	10	29.00	88	0.34	22.9
图2(c)	10	29.83	72	0.35	23.6
图2(d)	10	36.83	56	0.38	24.8

3.2 结果分析与性能比较

在硬件环境为 P III 733 的微机, 采用 Visual C++ 与 Matlab 混合编程的方法, 对本文编码方法与基本分形编码方法、基于离散余弦变换 DCT 的分形压缩方法^[3,6]作了实验比较(见表3)。从对比结果可以看出, 基于小波变换的分形压缩方法具有如下优点: 可以只在原始图象的 3/16 的子图象块内进行分形代码的构造过程, 而且该构造过程是在每个较小的子图象内完成, 从而使得编码时间较其他两种方法缩减了 1~2 个数量级; 在压缩比方面, 首先只有 3/16 的子图象块需分形编码, 而一级变换后的 3 个子图象块 $D_{1,1}$, $D_{1,2}$, $D_{1,3}$ 只需要很少的重构信息来重构原始图象; 其次, 由于在每个进行分形编码的二级小波变换的子图象内, 其分形代码中的匹配重叠块位置信息也因重叠块域的减少而只需要较少的比特数, 从而使得图象的压缩比也有很大的提高。

表3 压缩结果性能比较

编码方法	时间 (s)	峰值信噪比 (dB)	比特率 (bpp)	压缩比
基于小波变换分形压缩算法	88	29.00	0.34	22.9
基本分形压缩算法	3 826	29.42	0.45	17.8
基于 DCT 的分形压缩算法	935	26.16	0.43	18.4

4 结 论

本文提出的基于小波变换的图象分形压缩编码算法, 首先对图象进行多尺度分解, 然后根据不同频带子图象结构间的相似性来对高层子图象进行分形编码, 接着用高层子图象的分形编码来构造低层子

图象的分形编码, 实验证明, 该算法在保证重构图象质量的前提下, 不仅使得编码时间得以大幅度缩减, 而且压缩比也得到了很大的提高, 因此在图象处理领域具有非常广阔的应用前景。下一步需要研究的内容是如何将该算法运用于彩色序列图象的编码压缩。

参 考 文 献

- 1 秦前清. 实用小波分析[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1998年.
- 2 Li Yu-ying, Santosa Fdil. A computation algorithm for minimizing total variation in image restoration [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1996, 5(6): 987~995.
- 3 Monro D M, Dudbridge F. Fractal block coding of image [J]. Electronics Letters, 1992, 28(11): 1053~1055.
- 4 Nasrabadi N M. Image coding using vector quantization [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1998, 36(8): 957~971.
- 5 吴敏金. 分形与图象压缩编码[J]. 通信学报, 1993, 14(2): 78~83.
- 6 Ramanurthy B, Gersho A. Classified Vector Quantization of Images [J]. IEEE Transactions on Communication, 1986, 34(11): 1105~1115.



谢永华 1976年生, 1999年获南京气象学院电子系工学学士学位, 现为南京气象学院计算机系99级系统分析与集成专业硕士研究生。主要研究方向为数字图象处理与模式识别。已发表论文3篇。



傅德胜 1951年生, 南京气象学院计算机科学系主任, 副教授, 硕士生导师。现主要从事数字图象处理与模式识别、人工智能等方面的研究。发表论文40余篇。

任卫华 1977年生, 1999年获南京气象学院电子系工学学士学位, 现为江苏省气象台信息网络中心助理工程师。主要从事卫生气象云图处理与系统集成等方面的研究。