

文章编号:1000-582X(2005)02-0070-04

# 减少分形编码方块效应的一种解决方案\*

蒋海军,何传江,黄席樾

(重庆大学自动化学院,重庆 400030)

**摘要:**分形图像编码方法通常把输入图像分割成小块,这在图像中引入了人为边缘,从而产生了恼人的块效应(特别是高压缩率下)。这种块效应限制了基于块的编码方法的广泛应用,因此必须探索减少块效应的方法。目前已有2种方法,一种是构造分形变换时使用块重叠方案,另一种是结合小波分解方法。这里提出一种新的可选方法,主要利用双线性插值方法和分形编码的分辨率独立性,即解码可以按高于或低于原图像分辨率进行。实验表明,该方法能够减少方块效应。

**关键词:**分形编码;图像压缩;分辨率独立性;双线性插值

**中图分类号:**TN 919.81

**文献标识码:**A

分形图像编码是有损压缩技术中一个相对较新的压缩技术。它把现实图像近似视为分形集(局部自相似),源于Barnsley及其研究小组对迭代函数系统(IFS)的研究<sup>[1]</sup>。特别是自Jacquin<sup>[2]</sup>提出分形块编码以来,分形图像压缩以其新颖的思想、潜在的高压缩比、分辨率独立性等优点受到技术界广泛关注<sup>[3-4]</sup>。

与其它的图像编码方法(如DCT编码)一样,分形编码首先要将图像分割成小块,然后利用图像自身的相似性编码每个小块,而不同小块之间的误差是不相关的。因此,在较高的压缩率下(即分的块较大时),解码还原的图像中方块效应比较明显,压缩率越大,方块效应越严重。

在分形编码中,2个可能的解决方案被提出以减少方块效应,一个是重叠块分割<sup>[5-6]</sup>,另一个是基于小波的方法<sup>[7-8]</sup>。

重叠块分割方案虽然对减少方块效应有一定的效果,但它有2个缺点:一是有悖于压缩的宗旨,因为图像中的某些区域(即块重叠部分)被重复编码;二是它不是对每个R块分别极小化拼贴误差,而是极小化所有R块拼贴误差之和,这样就必须求解一个很大的线性方程组<sup>[7]</sup>。基于小波的方法是前述方法的改进,例如,文献[8]提出的方法就融合了小波分解,从而避免了前述缺点。因此,基于小波的方法是减少方块效应的一个很有希望的方法。

笔者提出一种新的候选方法,对原编码算法不作丝毫改动的前提下,就可以有效地减小解码还原图像的方块效应。基本想法是利用分形编码中解码还原时可解析到不同分辨率图像的性质(分辨率无关性<sup>[3]</sup>),先将图像解码至低分辨率下,再利用几何运算的方法将图像还原至同分辨率下,其灰度值计算采用双线性插值的方法,从而减小了方块效应。

## 1 基本分形图像编码

分形图像压缩是利用自然图像中不同区域间存在的跨尺度相似性来实现图像数据压缩的。基本想法是寻求一个使图像近似不变的适当的压缩变换,一方面,因为表达图像的变换是压缩的,Banach压缩映射原理保证变换的不动点 $x_T$ 是存在唯一的,且可以从任何初始图像 $x_0$ 迭代生成: $x_T = \lim_{n \rightarrow \infty} T^n x_0$ ;另一方面,因为变换使图像近似不变,拼贴定理<sup>[1]</sup>

$$d(Tx_{\text{org}}, x_{\text{org}}) < \varepsilon \Rightarrow d(x_T, x_{\text{org}}) < \frac{\varepsilon}{1-s} \quad (1)$$

$\forall \varepsilon > 0, s \in [0, 1)$

保证不动点 $x_T$ 是待编码图像 $x_{\text{org}}$ 的一个近似图像,其中 $s$ 是 $T$ 的压缩因子, $d$ 是图像空间的度量。于是,待编码图像近似为 $T^N(u)$ , $N$ 是迭代次数。

\* 收稿日期:2004-09-20

基金项目:重庆市科委攻关项目(2003-035-02)

作者简介:蒋海军(1975-),男,重庆江津人,硕士,主要研究方向:分形编码和图像处理。

如何寻求一个使图像近似不变的适当的压缩变换,是分形图像编码技术最基本的问题。PIFS (partitioned IFS)<sup>[3]</sup>是解决这个问题的基本理论,基于 PIFS 的分形编码是利用自然图像中不同区域间存在的跨尺度相似性来实现图像压缩的。基本分形算法可描述如下:首先将图像分割成一系列互不重叠且覆盖整幅图像的  $B \times B$  小方块(称为 range 块,以下简称  $R$  块),然后对每个  $R$  块在图像中搜索与之最(仿射)相似的大方块(称为 domain 块,以下简称  $D$  块)。 $D$  块一般是  $2B \times 2B$  块,也源于原图像,它可以在图像中以步长  $D_x$  从左到右、自上而下滑动一个  $2B \times 2B$  窗口来生成,其集合称为  $D$  块池。

对于每个  $D$  块,采用四邻域像素值平均或欠采样(decimation)得到  $B \times B$  像素块,然后对收缩后的  $D$  块考虑 8 种等度变换(90°倍数旋转与水平、垂直、主次对角线对称反射),这样每个  $D$  块产生 8 个子图像。这样的子图像的全体称为匹配池(码书),记为  $\Delta$ 。

每个小图像块由某一码书块  $D \in \Delta$  的亮度变换来  $s \cdot D + o \cdot 1$  近似(需要匹配搜索), $s$  和  $o$  为亮度变换系数,它们以分片方式定义了一个使图像近似不变的压缩变换  $T$ 。这里,为了度量量子图像之间的相似性,需要一个相似性测度,一般选取为 MSE(这里图像块  $R$ 、 $D \in \Delta$  看成向量):

$$\forall R, D \in R^n, n = B \times B,$$

$$MSE(R, D) = \frac{1}{n} E(R, D)^2 = \frac{1}{n} \|R - D\|_2^2 \quad (2)$$

编码阶段,对于每个  $R$  块  $R_i$ ,要在匹配池  $\Delta$  中找一个匹配块  $D_{m(i)}$ ,以及参数  $s, o$ ,使得  $R_i$  与  $s \cdot D_{m(i)} + o \cdot 1$  之间的差异最小,即

$$E^2(R_i, D_{m(i)}) = \min_{|s| < 1, |o| < 1} \|R_i - (s_i \cdot D_j + o_i \cdot 1)\|_2^2 \quad (3)$$

这是一个 NP-难的优化问题<sup>[4]</sup>。因此,只能寻求次优解,一般是把问题(3)分成 2 个问题来求解:

问题 I 固定  $j, D_j \in \Delta$ ,求最优参数  $s, o$ :

$$E(R_i, D_j)^2 = \min_{|s| < 1, |o| < 1} \|R_i - (s \cdot D_j + o \cdot 1)\|_2^2 \quad (3a)$$

问题 II 设  $s, o$  是解问题 I 得到的 2 个实数,求最优参数  $j = m(i)$ (记  $N_d = |\Delta|$ ):

$$E(R_i, D_{m(i)})^2 = \min_{1 \leq j \leq N_d} \|R_i - (s \cdot D_j + o \cdot 1)\|_2^2 \quad (3b)$$

一种方法<sup>[2]</sup>是预先设

$s \in \{s_0, s_1, \dots, s_{q-1}\}, s \in [0, 1]$ , 参数  $o$  则由:  $o =$

$\bar{R} - s \cdot \bar{D}$  计算( $\bar{X}$  表示均值)。求解(全搜索)问题 II。另一种方法<sup>[3]</sup>采用最小二乘法求解问题 I 的 2 个参数  $s, o$ (忽略对  $s$  的约束),代入式(3b)与前一方法一样求解问题 II。

## 2 问题的提出

由于分形编码是利用局部与局部之间的自相似性来编码的,这就要求编码时必须把原图划分成不同的块区域,以获得分形编码的仿射变换系数(称为分形码)。分形编码中解码还原的质量与图像子图的划分有着密切的关系。划分的块越小(笔者以固定块划分为例,以二叉树划分时情形一样),生成的分形文件就越大(即压缩率越小),解码还原的图像与原图就越接近;反之,则分形文件越小(压缩率越大),还原的图像失真就越严重,即所谓的方块效应越严重,如图 1 所示。因此,解码还原图像的质量与压缩率成了分形编码中一对不可调和的矛盾体。如何在较高的压缩率下减小解码图像的方块效应就成了一个有意义和具挑战性的问题。同时,解码还原图像还和原图像本身有关,图像中子图间自相似性越好,在相同分块方式下,解码还原的图像的方块效应就会越小。



(a)4×4编码后解码恢复图像 (b)10×10编码后解码恢复图像

图 1 高压缩率下的方块效应

## 3 问题的一种解决方法

在分形编码中,分形系数反映的只是图像中各个子图之间的相互关系,因此分形编码有一个与别的编码方法不同的特点,即解码还原时,可以将图像还原到任意分辨率的图像上,也即分辨率独立性<sup>[3]</sup>。利用这个特性,就可以实现分形放大和分形缩小。

由前述讨论可知,分形解码时的方块效应是因为在对原图编码时把图像分块造成的,分块越大方块效应越明显。解码时,根据分形编码解码时与分辨率无关的特性,可以将图像解码至低分辨率上,这时,看起来方块效应就不是那么明显,如图 2 所示。

从图 2 的 3 幅图可以看出,当分辨率越小,图中的方块效应就越不明显。因此,笔者提出一种可以减小



(a) 按5×5的块解码图



(b) 按4×4的块解码图



(c) 按3×3的块解码图

图2 按不同分辨率解码的图像效果图

(编码时R块尺寸都为8×8)

方块效应的方法,即先将图像解码至一幅低分辨率的图像上,再利用图像几何变换的方法将低分辨率的图像还原到原分辨率下,其中灰度值的计算用平滑性很好的双线性插值的方法,因此减少了解码图像的方块效应。

具体做法如下:设初始低分辨率的图像为 image1,最后所得的图像为 image。2幅图中都令图像左上角为坐标原点,水平方向为  $x$  轴,垂直方向为  $y$  轴。image1 中点的坐标为  $(x, y)$ , image 中点的坐标为  $(X, Y)$ ,则用下面的图像变换:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_x \cdot \cos\theta & -s_y \cdot \sin\theta \\ s_x \cdot \sin\theta & s_y \cdot \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} o_x \\ o_y \end{pmatrix}$$

可以将 image1 扩展到 image 上,其中  $s_x, s_y$  是  $x$  方向和  $y$  方向的尺度扩张因子,  $\theta$  是旋转的角度,令  $\theta=0$ 。  $o_x, o_y$  是位移量,也为 0。

$$s_x = \frac{w}{w_1}, \quad s_y = \frac{h}{h_1}$$

其中  $w, h$  和  $w_1, h_1$  分别是 image 和 image1 的宽和高。

在上面的计算中,最后确定  $(X, Y)$  点的灰度值时,是在原图 image1 中进行的,但通过上面运算的逆运算,并不能保证整数点的  $(X, Y)$  一定能映射到 image1 中的整数点  $(x, y)$ ,如果 image 中  $(X, Y)$  的点通过计算映射到 image1 中的整数点  $(x, y)$ ,则点  $(X, Y)$  就取该点  $(x, y)$  的灰度值,如不是(见图3),就要用双线性插值的方法进行计算。

设点  $(x, y)$  四周 4 个点分别为  $(x_1, y_1), (x_2, y_2),$

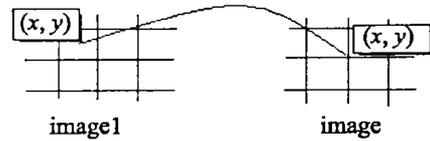


图3 灰度插值

$(x_3, y_3)$  和  $(x_4, y_4)$ , 它们可以确定一个曲面,设为:

$$f(x, y) = a * x + b * y + c * x * y + d$$

由已知的 4 个点,就可以求得  $a, b, c, d$  的值,从而可得到点  $(x, y)$  (也即点  $(X, Y)$ ) 的值。如此,通过逐点计算,就可以得到图像 image。

## 4 实验结果

图4、表1是本算法与对应的传统算法进行对比的实验结果(主客观评价)。实验对象是 2 幅 8 bit 量化  $256 \times 256$  灰度图像。

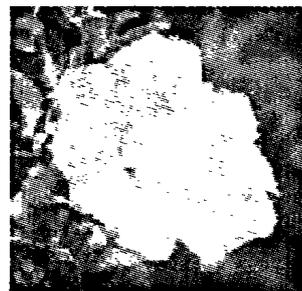
图4(a)、(b)、(c)、(d)都是  $10 \times 10$  编码后再解码还原的图像,其中图4(b)、(d)是用本文方法的解码图,图4(a)、(c)为传统解码方法的解码图。



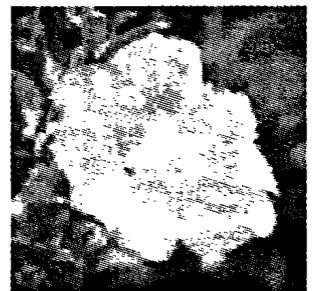
(a) 传统方法解码图



(b) 本方法解码图



(c) 传统方法解码图



(d) 本方法解码图

图4 利用传统方法和本文方法解码后的效果对比图

同时,在比较主观质量的情况下,笔者也计算了这 2 种方法解码后的客观质量,见表 1。

表1 用传统方法和本文方法解码后与原图的峰值信噪比

图像	PSNR(传统方法)	PSNR(本文方法)
Lena	23.04 dB	22.80 dB
Flower2	5.69 dB	24.42 dB

由上面的主客观分析可以看出,在高压缩率下,用笔者介绍的方法解码还原图像后,客观质量有所下降,

但主观质量却有明显提高。而图像最终是供人们使用,所以主观评价更能反映出图像质量。

## 5 结 语

块效应是块编码方法(如分形编码、DCT 编码等)的一个共同特征。在解码图像质量(主观或客观)基本不变的前提下,如何尽量减少恼人的块效应是图像工作者面临的一个重要课题。

本方法采用了分形编码的独有特点——分辨率独立性,结合传统的灰度插值的方法,在 PSNR 下降不大的情况下,有效地改善了还原图像的主观质量。本文的方法为减少块效应提供了一个可选的方案。

### 参考文献:

- [1] BARNESLEY M F. Fractals Everywhere [M]. San Diego, USA: Academic Press, 1988.
- [2] JACQUIN A E. Image Coding Based on a Fractal Theory of Iterated Contractive Image Transformations [J]. IEEE Trans

Image Process, 1992, 1(1):18-30.

- [3] FISHER Y. Fractal Image Compression [M]. New York: Springer-verlag, 1994.
- [4] WOHLBERG B, JAGER G. A Review of the Fractal Image Coding Literature [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1999, 8(12):1 716-1 729.
- [5] REUSENS E. Overlapped Adaptive Partitioning for Image Coding Based on the Theory of Iterated Functions Systems [A]. Speech and Signal Processing [C]. Adelaide, Australia: [s. n.], 1994. 569-572.
- [6] BONE D J. Orthonormal Fractal Image Encoding Using Overlapping Blocks [J]. Fractals, 1997, 5 (Suppl): 187-199.
- [7] FORTE B, VRSCAY E R. Solving the Inverse Problem for Function/image Approximation Using Iterated Function Systems [J]. Fractals, 1994, 2(3):335-346.
- [8] VAN DE WALLE A. Merging Fractal Image Compression and Wavelet Transform Methods [J]. Fractals, 1997, 5 (Suppl):150-159.

## A New Solution to Reduce Blocking Artifacts Introduced by Standard Fractal Methods

JIANG Hai-jun, HE Chuan-jiang, HUANG Xi-yue

(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** Fractal image coding techniques usually partition the input image into small range blocks. This artificially introduces boundaries into the image resulting in the unpleasant blocking artifacts in the decoded images especially at high compression rate. Because the effect is especially responsible for the restrictions of the block-based coders, the solutions must be sought to reduce this blockiness. Recently two possible schemes have been proposed by other researchers: One may try to use overlapping blocks in the fractal transform, and the other to employ the combined fractal wavelet approach. An alternative solution is proposed, which employs the bilinear interpolation techniques and the resolution independence of fractal coding, in the sense that an image can be decoded at higher or lower resolutions than the original. Experiments show that the proposed scheme can eliminate the blocking artifacts.

**Key words:** fractal image coding; tile effect; resolution independence; bilinear interpolation

(编辑 张 苹)