

# 基于局部方差和 DCT 变换的混合分形图像编码算法<sup>\*</sup>)

周一鸣 张超 张曾科  
(清华大学自动化系 北京 100084)

**摘要** 分形图像编码技术是一种很有发展前途的新型图像编码技术,相对于已有的其它图像编码算法,分形图像编码算法能够在取得高压缩率的前提下,较好地保持解码图像的质量。本文根据图像内部的图像子块特征,提出了一种基于局部方差和 DCT 变换的混合分形图像编码算法,该算法在大幅提高分形编码速度的同时,很好地改善了解码图像的质量,进一步增进了分形图像编码的实用性。实验结果表明,混合编码算法的编码时间与方差算法的编码时间相当,解码图像的质量甚至好于基本分形图像编码算法。

**关键词** 分形图像编码,方差,DCT 变换

## Combined Fractal Image Compression Based on DCT and Variance

ZHOU Yi-Ming ZHANG Chao ZHANG Zeng-Ke  
(Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084)

**Abstract** The fractal image compression is a promising technology. In contrast with other compression methods, fractal image compression can obtain good decoding quality with high compression ratio. This paper proposes a combined fractal image compression algorithm based on DCT and variance, and the novel algorithm obtains good quality of the decoded images and need much less time than the baseline fractal algorithm. Experimental results show that the proposed algorithm has an excellent performance.

**Keywords** Fractal image compression, Variance, DCT transformation

## 1 引言

计算机图像编码是当今信息科学的研究热点之一,与之相关的各种图像、视频编码技术在消费类电子产品中有着很广泛的应用。随着计算机和电子设备信息处理量的急剧增长,信息存储和传输的压力越来越大,因此,发展高效高压缩率的图像编码算法已经成为一个热点的研究问题。

分形图像编码是一种很有发展前途的新型数字图像压缩技术,可以大幅提高消费电子类产品中的图像存储和图像传输效率。相对于其它图像编码方法,分形图像编码可以在高压缩率的前提下,比较好地保持解码图像的质量。然而,基本的分形图像编码(BFC)算法<sup>[1,2]</sup>存在着编码时间复杂度过高,难以实用化的问题。为了解决这个问题,一些学者提出了基于方差的快速分形图像编码(VFC)算法<sup>[3~9]</sup>。这一类方法基于匹配搜索策略的一个必要条件,利用图像子块的方差值对图像的区块集 $\{R\}$ 和域块集 $\{D\}$ 进行预分类,从而避免对每个区块进行全局遍历搜索,因此可以极大地提高编码速度。但另一方面,这类方法依然难以克服分形编码的质量瓶颈问题,即图像子块受到固定自仿射映射结构的限制,方差值较大的区块会带来比较大的解码质量下降。

本文提出了一种基于图像子块局部方差和 DCT 变换的混合分形编码算法。该方法根据分形编码过程中的误差分布特点,设置了一个最小化误差阈值参数。在编码过程中根据每个区块-域块对的最小均方误差,对不适于采用分形编码的子块选择 DCT 变换编码,一方面在加快了编码的速度,另一方面较好地改善了解码图像的质量。

## 2 分形图像编码算法概述

### 2.1 基本分形图像编码(BFC)

基本分形图像编码算法基于图像中存在的自相似结构,利用一组收敛的仿射变换来重建与原图像高度逼近的吸引子图像,其主要流程如图 1 所示。其中的 8 种对称变换包括:旋转  $0^\circ$ , 旋转  $180^\circ$ , 旋转  $-90^\circ$ , 旋转  $+90^\circ$ , 关于水平中轴线对称, 关于垂直中轴线对称, 关于第一对角线对称和关于第二对角线对称。

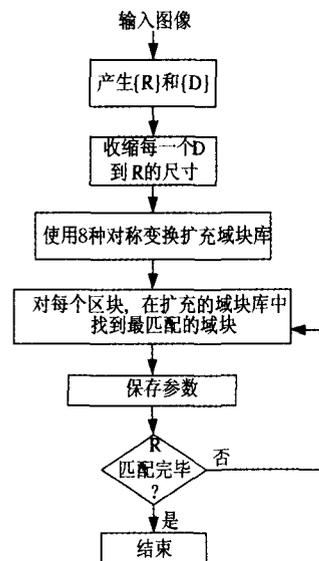


图 1 基本分形图像编码流程图

<sup>\*</sup> 本课题得到了国家重点自然科学基金(60432030)、国家杰出青年自然科学基金(60525111)的资助。周一鸣 博士生,研究方向:分形图像编码。

对于每个区块,匹配映射函数采用自仿射映射结构,区块和域块间的最优匹配搜索需要最小化以下等式:

$$E(R, D) = \|R - (s \cdot D + oI)\| \quad (1)$$

其中  $\|\cdot\|$  是二范数。

当所有区块都完成以上最优搜索过程后,保存对应每个区块的对称变换、对应域块位置、 $s$ 、 $o$  就完成了分形图像的编码过程。由于这些参数需要的存储量很小,因此分形图像编码算法可以获得很高的图像压缩率。

### 2.2 基于方差的快速分形图像编码(VFC)

为了解决基本算法中编码过长的问题,由等式(1)可以推导出等式(2),这样就可以建立一个保持图像子块匹配质量的必要条件:当一个区块和一个域块是最优匹配时,它们的方差应当是接近的。由此提出了一类基于方差的快速分形图像编码算法。

$$E^2(R, D) = \|R - \bar{r}I\|^2 - s^2 \|D - \bar{d}I\|^2 \quad (2)$$

其中  $\bar{r}$  是区块  $R$  的平均值,  $\bar{d}$  是域块  $D$  的平均值。

由式(2),可以在图像子块的最优匹配搜索前增加一个预搜索的步骤,在预搜索中,对每一个区块,根据方差的匹配条件,将那些不适合的域块排除到最优匹配搜索之外,由此可以将参加最优搜索的域块库限制在一个比较小的尺寸上,大大加快编码速度。

### 2.3 传统分形图像编码算法的局限

对于 BFC 算法和 VFC 算法,由于采用了如下的固定单一的自仿射映射结构,不难得出以下结论:当匹配的区块-域块对的内部像素值波动较小时,自仿射变换会得到一个比较好的匹配结果;而当匹配的区块-域块对的内部像素值波动较大时,自仿射的映射结构就会变得不适应,并可能产生很大的匹配误差。

$$W(D) = s \cdot D + o \quad (3)$$

实验结果也表明了这一点,虽然 VFC 算法相对于 BFC 算法可以大幅度提高编码速度,但却明显地降低了解码图像的质量。

## 3 基于方差和 DCT 变换的混合编码算法

针对上述传统单一分形图像编码中存在的问题,我们提出了一种基于局部方差和 DCT 变换的混合编码算法,该算法将两种算法的特点结合起来,在图像分块之后,对适合于分形编码的区块采用自仿射分形结构编码方法以保持高压压缩率;对不适合于分形编码、匹配误差较大的区块采用 DCT 变换编码方法,以保持解码图像质量。这种混合编码算法可以充分发挥两种编码方法的优势,有效地克服了传统单一分形编码算法的解码图像质量瓶颈问题,采用的 DCT 变换编码流程框图如图 2 所示。

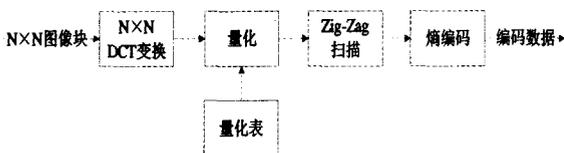


图 2 DCT 变换编码流程图

在设计编码器时,预先设计一个阈值  $\epsilon$ ,对每一个区块  $R$ ,首先采用基于方差的快速编码算法进行编码。当找到最佳匹配的域块  $D$  后,将  $E(R, D)$  与阈值  $\epsilon$  进行比较,如果  $E(R, D) > \epsilon$ ,则说明虽然  $D$  在整个图像中已经是  $R$  的最佳自仿射匹

配域块,但使用域块  $D$  经过单一自仿射结构来表达  $R$  的效果并不理想,因此对这样的区块采用 DCT 变换方法进行编码,该算法的主要流程如下:

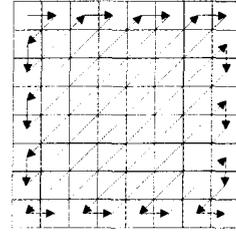


图 3 Zig-Zag 扫描顺序

步骤 1:设定方差预搜索窗口参数  $w\%$  和最小化均方误差阈值  $\epsilon$ 。

步骤 2:利用滑动窗口的方法得到大小为  $N \times N$  的区块集  $\{R\}$  和大小为  $M \times M$  的域块集  $\{D\}$ ,其中  $M=2N$ 。

步骤 3:利用像素平均的方法,将每个域块搜索至区块的尺寸。

步骤 4:计算所有区块和域块的方差值。

步骤 5:对区块  $R$ ,根据  $R$  的方差值和搜索窗口  $w\%$  进行匹配预搜索,得到  $R$  对应的局部域块库。

步骤 6:对区块  $R$ ,在其对应的局部域块库中搜索得到经过 8 种对称变换扩展的最佳匹配域块  $D$ ,并记录对应的  $E(R, D)$ 。

步骤 7:对区块  $R$ ,比较  $E(R, D)$  和  $\epsilon$ 。当  $E(R, D) < \epsilon$  时,保存步骤 6 中得到的自仿射映射结构参数,完成  $R$  的编码;当  $E(R, D) > \epsilon$  时,采用 DCT 变换进行编码,并保存依照 Zig-Zag 扫描顺序扫描得到的 DCT 系数完成  $R$  的编码。

步骤 8:重复步骤 5~步骤 7,完成对所有区块的编码。

解码过程非常简单,首先将采用 DCT 变换编码的区块采用 DCT 反变换完成解码,结果帖进解码图像中的对应位置;再对其它区块采用分形自仿射映射结构系数进行 8~10 次迭代解码,结果也帖进解码图像中的对应位置。

基于局部方差和 DCT 变换的混合编码算法具有一些很好的优点:首先,由于自仿射映射结构本身的限制,对于内部像素值波动较大的区块-域块对,  $E(R, D)$  会很大,而这些区块-域块对又是造成解码图像质量下降和不稳定的主要组成部分,因此对这些区块-域块对采用 DCT 变换编码,可以有效提高解码图像的质量和稳定性;其次,对于大部分图像子块来说,像素值都是临域相关的,这样的子块内部像素值波动不大,对这些区块采用自仿射映射结构,可以较好地保持编码的快速性和高压压缩率。

## 4 实验结果

实验采用了  $256 \times 256$  的 Lena 和 Peppers 测试图像验证方差和 DCT 变换混合编码算法的性能,其中,解码图像的质量用如下定义的 PSNR 来衡量,所有的实验运行在奔四 2.8G 的电脑上,采用 VC++ 6.0 编程语言。

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{255^2}{(1/N^2) \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (x_{i,j} - \hat{x}_{i,j})^2} \right) \quad (4)$$

其中,  $N$  是图像的宽度,  $x_{i,j}$  和  $\hat{x}_{i,j}$  分别是原图像和解码图像的像素值。

实验中设置了 2 个参数来控制编码时间和解码图像的质量:最小化均方误差阈值  $\epsilon$  用来做区块编码算法分类,  $w\%$  表

示方差编码算法中取局部块库的窗口大小。在实验中,我们通常设置  $\omega\%$  为 5%。

表 1 和表 2 揭示了方差与 DCT 变换混合分形编码的优秀性能。可以看到,混合编码算法相对于 VFC 快速算法时间增加很少,说明大多数图像区块是符合自相似特征的,适用分形映射编码结构;但解码图像质量获得了很大提高,甚至高于 BFC 算法,这又说明,少数不适用分形映射编码结构的区块是造成解码图像质量下降的主要因素,对它们采用 DCT 变换编码,可以在保持高压缩率的前提下有效地提升解码图像的质量。当  $\epsilon=2500$  时,两幅测试图像的解码质量达到最大值。

表 1 对 Lena 图像,混合编码算法与 VFC、BFC 的性能比较

$\epsilon$	编码时间/s	PSNR/dB
0	0.76	33.85
500	0.73	34.70
1500	0.73	34.99
2500	0.72	35.02
3500	0.72	34.94
6000	0.72	34.59
10000	0.71	33.94
VFC	0.70	32.39
BFC	11.95	33.86

表 2 对 Peppers 图像,混合编码算法与 VFC、BFC 的性能比较

$\epsilon$	编码时间/s	PSNR/dB
0	0.78	33.30
500	0.76	34.37
1500	0.74	34.79
2500	0.73	34.89
3500	0.73	34.87
6000	0.72	34.68
10000	0.71	34.23
VFC	0.71	32.00
BFC	15.19	33.61

图 4 揭示了最小化均方误差阈值  $\epsilon$  对混合编码算法性能的影响,其中  $\omega\%=5\%$ ,根据结果,当  $\epsilon$  在 2500 附近时,混合编码的性能较好。

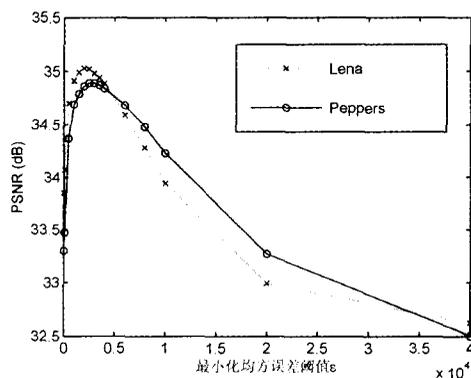


图 4 学习率对混合编码算法的性能影响

图 5 为实验所用的测试图像及解码图像,其中  $\omega\%=5\%$

$\omega\%=5\%$ , $\epsilon=2500$ 。

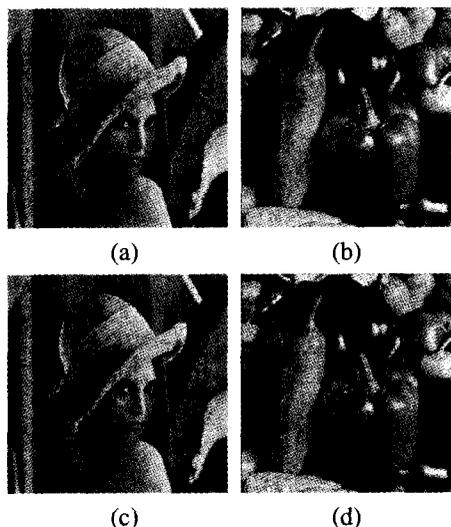


图 5 (a)和(b)为原图像,(c)和(d)为解码图像

**结论** 针对方差快速分形图像编码的解码质量下降较多的问题,我们提出了一种方差与 DCT 变换混合的快速分形图像编码算法。该方法根据匹配的区块-域块对的最小化均方误差对区块编码进行分类,对每个区块选择适当的编码结构,可以较好地克服传统分形编码中单纯依靠自仿射结构所造成的解码图像质量瓶颈。实验结果表明,该算法可以在大幅度加速分形编码的同时,很好地保持解码图像的质量。

此外,该算法还可以有进一步改进,如采用平均块<sup>[4]</sup>的思想优化编码过程,以提高压缩率和编码速度。

### 参考文献

- 1 Fisher Y. Fractal image compression-theory and application. New York: Springer-Verlag, 1994
- 2 Jacquin A E. Fractal image coding: a review. Proceedings of the IEEE, 1993, 81(10): 1451~1456
- 3 Lee C K, Lee W K. Fast fractal image block coding based on local variances. IEEE Trans. Image processing, 1998, 7(6): 888~891
- 4 He C, Yang S X, Huang X. Variance-based accelerating scheme for fractal image encoding. Electronics Letters, 2004, 40(2): 115~116
- 5 何传江,蒋海军,黄席樾. 快速分形图像编码局部方差算法的改进. 计算机仿真, 2004, 21(6): 141~144
- 6 Lai C M, Lam K M, Siu W C. Improved searching scheme for fractal image coding. Electronics Letters, 2002, 38(25): 1653~1654
- 7 Wu Y G, Huang M Z, Wen Y L. Fractal image compression with variance and mean. In: Proc. of IEEE ICME. Maryland, USA, 2003. 353~356
- 8 Saupe D, Jacob S. Variance-based quadrees in fractal image compression. Electronics Letters, 1997, 33(1): 46~48
- 9 Lee S M. A fast variance-ordered domain block search algorithm for fractal encoding. IEEE Trans. Consumer Electronics, 1999, 45(2): 275~277