

基于 Fisher 分类和自适应阈值的分形图像编码方法*

Fractal Image Coding Based on Fisher Classification and Adaptive Threshold

王海涛, 董浩

WANG Hai-tao, DING Xuan-hao

(桂林电子科技大学数学与计算科学学院, 广西桂林 541004)

(College of Mathematics and Computational Science, Guilin University of Electronic Technology, Guilin, Guangxi, 541004, China)

摘要: 根据分割的迭代函数系统 (PIFS) 理论, 在 Fisher 分类方法的基础上, 依据分类后图像块的特征使用自适应阈值搜索与 range 块属于同一类的相匹配的 domain 块来进行分形图像编码, 并对典型测试图像进行实验, 与传统的固定阈值方法的性能进行比较。结果, 在相同比特率上, 相对于传统固定阈值方法, 自适应阈值方法极大地提高了压缩比, 减少了编码的时间, 自适应阈值方法得到的解码图像质量明显好于传统的固定阈值方法。

关键词: 分形图像编码 自适应阈值 二叉树分割 Fisher 分类

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2008)03-0285-03

Abstract Based on the theory of Partitioned Iterated Function Systems (PIFS, for short) and Fisher's classification, this paper proposes a new adaptive method in fractal image compression. The method changes the MSE threshold linearly, to search the best-match domain block in the same class as range block. Finally, the proposed method enhances largely the compression ratio and reduces the encoding time at the same bit rate, as compared with that of the constant threshold method. Meanwhile, the perceptual quality of the decoded image is better than that of the latter.

Key words fractal image coding, adaptive threshold, quadtree partition, Fisher classification

分形图像编码方法以迭代函数系统 (IFS) 理论为基础, 利用自然图像的自相似性进行压缩。为了寻找这种自相似性, 就必须在图像的不同区域上执行大量搜索和比较, 这使得算法的复杂度比较高, 不能迅速地找到图像中的相似部分, 编码过程较慢。目前已有的分形图像编码方法都是低执行时间、高恢复图像质量、低比特率这三种指标的折中方案。M. F. Barnsley^[1] 首先提出并实现分形图像压缩方法, 但耗时太长, 压缩一幅图像需要几个小时甚至几天的时间。他的学生 Jacquin^[2] 将 IFS 理论做实质性修改, 第一个提出基于方块划分的、全自动的分形图像编码方法。此后, 许多学者对此方法进行了改进和完善。提出了多种分割方法, 例如矩形分割法、三角形分割法、区域分割法、二叉树分割法等, 运用这些方法进行分块

取得了很好的效果。其中二叉树分割法因其具有分块灵活、压缩比高、算法简单等优点而成为目前最流行、最实用的分割方法之一。二叉树是一棵每个非叶子结点都有 4 个子结点的树。二叉树分割就是用一棵二叉树表示一幅图像, 树根是原始图像, 树的每个结点 (除树根外) 对应一个图像块, 这个图像块又是其父块的四等分子块之一。在分形编码中, 原始图像对应于二叉树的树根, 当匹配误差超过预定阈值时, 将原始图像等分为 4 个子块, 分别对应于二叉树树根的 4 个子节点。依次考虑 4 个子块中的每一块, 当匹配误差超过预定阈值时, 再将此块等分成 4 个子块。重复这一过程直至图像中的任意一块都能找到合适的匹配块为止。Y. Fisher^[3] 提出了基于分类的二叉树分割的图像压缩算法。在这个算法中, 根据 range 块和 domain 块的四分之一块的均值被分为 3 个主类, 然后再根据方差, 每个主类又被分为 $24(4^3)$ 个子类。这样, range 块和 domain 块都被分为 72 个类。这个算法的压缩比大为提高, 但是由于图像块的分类导致的搜索空间减

收稿日期: 2008-05-05

作者简介: 王海涛 (1981-), 男, 硕士研究生, 主要从事分形、小波分析与图像处理方面的研究工作。

* 广西研究生创新基金项目 (2007105950701M04) 资助。

小,使得 range块不能找到最匹配的 domain块,导致恢复图像质量很差。

本文在 Y. Fisher^[3]的基础上,根据分割得到的图像块的特征,采用自适应的阈值方式来搜索与给定 range块同类的相匹配的 domain块,并对两种典型测试图像进行实验,与传统的固定阈值方法的性能进行比较。在相同比特率上,本文提出的方法提高了恢复图像的质量,同时也减少了编码的时间。

1 自适应阈值分形图像压缩方法

1.1 算法的基本思想

自适应阈值分形图像压缩方法是在四叉树分割过程中,当一个图像块不能由 domain块很好覆盖时,它将被分成4个大小相同的子块。这个过程从原始图像开始重复、递归进行到子块足够小,使得均方根(Root Mean Square, RMS)在指定的容许阈值内覆盖。这个指定的容许阈值由于图像的相近像素高度相关,所以小的图像块比大的图像块要覆盖得好。对于大的图像块,需要保证重构图像的保真度高,以保持整幅图像的解码质量;对于小图像块可以增大阈值,获得令人满意的压缩比,即大 range块的容许误差比小的 range块要求要严格。

为了从根本上改善编码的性能和质量, S. Poobal^[4]指出,随着误差阈值 T 的增大,相应地改变搜索 range块最佳匹配 domain块的逼近标准,使得压缩比增大,比特率减小。E. Shusterman 和 M. Feder^[5]提出一种适应阈值的四叉树分解方案,在相同条件下与固定阈值的四叉树分割法相比,编码质量明显好于后者。其做法是,设第 n 层的 MSE阈值为 e_n ,则下一层 ($n+1$) 层的阈值由 $e_{n+1} = ke_n$ 确定,当取 $k=2$ 时最优,而且当各叶子结点的失真分布均匀时,可以得到最佳的 MSE。与文献 [4] 采用的 RMS阈值不同,文献 [5] 采用的是 MSE阈值。Shen^[6] 在基于非搜索的分形图像压缩方法中使用过 $T_{n+1} = 2T_n + 1$ 来改变 MSE阈值,这种选择阈值的微调方法比文献 [5] 的方法更能提高压缩比,并减少压缩时间。基于以上考虑,我们使用 $T_{n+1} = 2T_n + 1$ 改变 MSE阈值,这里 n 表示分解的层数, T_n 表示第 n 层的误差阈值。

1.2 编码和解码过程

自适应阈值的 CSA 算法编码过程如下。

(1) 设定四叉树的最大深度 M 和最小深度 m , 选择初始误差阈值 T ;

(2) 四叉树的最大深度 M 最小深度 m , 为尺度因子和偏移因子量化的比特数分别设置为 4 5 6 7;

(3) 将原图像进行四叉树分割,分成互不重叠且

覆盖整幅图像的 range块的集合,将每层中的 domain块分为可互相重叠的 domain块的集合,采用 4邻域像素平均法进行收缩变换(长、宽均收缩为原来的二分之一),然后进行“反射-旋转”变换,根据其四分之一块的均值排列分为三大主类,对每个主类又按四分之一块的方差排列分为 24个副类,从而把 domain块库分为 72类,记录每个块的类别;

(4) 对 range块进行“反射-旋转”变换,按 (3) 中方法分为 72类,然后在同一类中,搜索 range块的最佳匹配 domain块:

1) 设定 $R_i = f$, 并设定它未被覆盖;

2) 当前 R_i 块没有被覆盖时,搜索与其同类中的 domain块,分别用 (9) 计算 s, o , 对称变换编号 k 和误差 $E(R, D_i)$, 进而比较得到最小误差和最佳匹配的 domain块

3) 如果 $best_rms > T$ 且 $depth < max_part$, 则标记 R_i 已被覆盖,并在分形码文件中记录对称变换 W_i (最佳匹配的 domain块位置,量化的 s ,量化的 o 和对称变换编号);

否则,按照 $T_{n+1} = 2T_n + 1$ 线性增加误差阈值 T , 把 R_i 块四等分成更小的区域,标注其未被覆盖,从没有被覆盖的 range块列表中删除 R_i , 转到步骤 (3)

(5) 结束

算法解码时,通过对与原始图像相同大小的任意图像迭代 W 得到,直到收敛到吸引子。迭代次数可以事先指定,一般迭代 10次即可。

(1) 对于 R_i 块,对应的 $D_{m(i)}$ 通过四像素平均法收缩到 R_i 块大小;

(2) 收缩的 $D_{m(i)}$ 的像素值乘以 S_i , 加上 O_i , 放到由旋转信息确定的位置上;

(3) 当达到最大迭代次数,而且逼近到不动点,迭代终止

2 实验结果与分析

2.1 实验参数设定

将该算法在灰度图像 (256×256, 8bpp) 上进行实验。5 bit 用于存储亮度调整因子 s , 7bit 用于亮度偏移量 o 。对所有的标准测试图像,最大的 range块大小是 16×16 (对应最小的四叉树分解层数 4), 最小的 range块大小是 4×4 (对应最大的四叉树分解层数 6), 也就是说,对原始图像使用 3层分解产生 domain块池时的步长因子为 4, 即相邻的定义块的距离为 4。MSE 初始误差阈值可变,分别取 1 3 5 7 9 11 13 15 17 和 19, 它们对应了越来越高的压缩比;相应地,恢复图像的比特率降低。恢复图像质量由峰值信噪比

(PSNR)来衡量

2.2 实验环境及结果

算法在 Visual C++ 6.0编译器上使用 C语言编程实现。计算机配置为 Intel Pentium(R)双核处理器, CPU时钟主频为 2.8GHz, 1G内存。

从图 1可以看出使用本文提出的自适应阈值的 CSA算法,极大地降低了比特率,提高了压缩比,降低了编码时间; PSNR虽然有减小(最多降低 0.91dB),但是不影响解码图像质量。从图 1a的解码图像的 PSNR随比特率变化曲线可以看出,在低比特率时(对应高压缩比),本文提出的自适应阈值方法得到的解码图像质量明显好于传统的固定阈值方法;从图 1b的编码时间随比特率变化曲线可以看出,随着比特率的减小,两种方法编码的时间都减小,但是自适应阈值方法的处理时间几乎是线性减少,而传统方法的处理时间则有小的波动。说明在低比特率时,自适应阈值方法相对传统固定阈值方法来说,在比特率(或压缩比)恢复图像质量、编码时间都得到了改进。

图 2结果显示,原始图像为 Baboo时的解码图像尽管含有细节较多,但是自适应阈值方法得的解码图像的视觉质量较好。

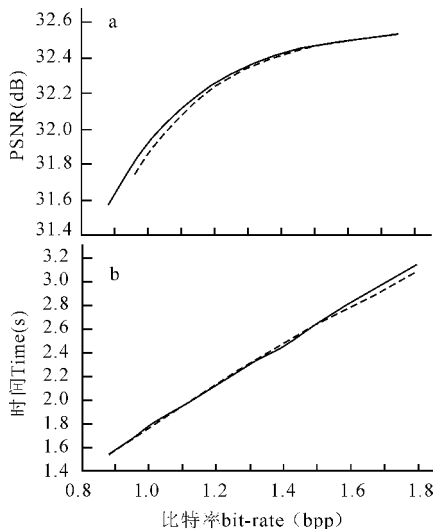


图 1 自适应阈值方法与传统固定阈值方法^[5]的比较(原始图像为 Lena, 256×256, 8bpp)

Fig. 1 Comparison of proposed adaptive scheme with traditional constant tolerance scheme(Original Lena, 256×256, 8 bpp)

a. PSNR随比特率变化的曲线, b. 编码时间随比特率变化的曲线;— 自适应阈值方法, ·····: 固定阈值。

a. The PSNR vs bit-rate curve, b. The encoding time vs bit-rate curve, — adaptive threshold scheme, ·····: constant threshold scheme.



图 2 原始图像与两种比特率下的解码图像

Fig. 2 Original image and decoded image at two bit-rates

a. 原始图像 Baboo; b. 比特率为 0.93bpp, PSNR 为 22.64dB; c. 比特率为 1.83bpp, PSNR 为 24.13dB

a. original Baboo; b. Decoded image 1, bit-rate 0.93bpp, PSNR 22.64dB; c. decoded image 2, bit-rate 1.83bpp, PSNR 24.13dB.

3 结束语

在基于 Fisher分类的四叉树分割方法中,以前主要采用的是固定阈值方法。本文在 Y. Fisher^[5]的基础上,根据分割得到的图像块的特征,采用自适应阈值的方式来改变进一步分割的判据来搜索与给定 range块同属一类的相匹配的 domain块。本文提出的自适应阈值算法对测试灰度图像进行实验,并与传统的固定阈值方法进行比较的结果是,它在不影响图像质量的前提下,降低了比特率,提高了压缩比,同时也减少了编码时间。对于含细节较多的图像,自适应阈值算法恢复图像的 PSNR仍然较低,因此,如何提高这类图像的解码图像质量还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] Barnsley M, Hurd L. Fractal image compression [M]. Wellesley MA: AK Peters, 1993.
- [2] Jacquin A E. Image coding based on a fractal theory of iterated contractive image transformations [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1992, IP-1(1): 18-30.
- [3] Fisher Y. Fractal image compression SIGGRAPH 92 course notes 12[M]. New York: Springer-verlag, 1992.
- [4] Sumathi Poobal, Ravindran Dr G. Analysis on the effect of tolerance criteria in fractal image compression [J]. IEEE CNF Imaging Systems and Techniques, 2005, 13(14): 119-124.
- [5] Shusterman E, Feder M. Image compression via improved quadtree decomposition algorithms [J]. IEEE Trans Image Process, 1994, 3(2): 207-215.
- [6] Shen Furoo, Osamu Hasegawa. A fast no search fractal image coding method [J]. Signal Processing: Image Communication, 2004, 19: 393-404.

(责任编辑: 邓大玉)