

小波域分形压缩方法的改进

薛晓暄¹, 郭春良²

(1. 上海师范大学 计算机与电子工程系, 上海 200234; 2. 空军第一研究所, 北京 100076)

摘要:为消除空间域分形压缩算法在图像恢复后的块效应, 讨论了对图像经过小波分解后, 根据小波域的子带相似性进行分形压缩的算法及其实现和改进, 实验结果表明小波域分形压缩算法较好的消除了块效应。

关键词:分形; 均值; 小波变换

中图分类号: TP301.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2001)04-58-61

分形压缩算法是近年来图形图像压缩研究的一个热点^[1-4], 它利用图像自身局部的自相似性进行压缩, 关键在于找出图像局部的吸引子, 解码时对各吸引子进行迭代展开恢复图像。分形压缩算法的特点是压缩比高, 但运算量大, 耗费时间长, 解码图像的质量也不能很好的保证。所以减少运算量、提高解码图像质量成为研究的方向。

Jackquin 的灰阶分类算法大大减少了分形编码运算量, 而后的一系列进展包括二叉树分形编码, 矢量分类编码都对空间域分形编码做了一定改进。将分形编码与余弦傅里叶变换和小波变换相结合的研究也已展开。小波变换由于自身的优良性能在各方面得到大量的应用研究。图像经小波分解后在不同分辨率的小波域有很强的自相似性, 可以设想象空间域一样, 对分解后的图像的小波域进行分形压缩, 因为小波域为高频空间, 相当于图像的边缘部分, 在搜索相似块时减小了范围, 加快速度, 而压缩时只需对边缘信息丰富的部分进行精细的编码, 就可以提高解码的图像质量。

1 空间域分形压缩算法

1.1 空间域的分形压缩算法原理

在分形压缩图像的算法中, 一般是先对图像划块分割, 然后寻找不同块的自相似块, 对目标块和相似块之间的映射进行编码。这种划块分割算法的缺点是运算量很大, 要进行大量搜索以找到与子块相匹配的父块, 现在虽然有一些对父块预先进行分类减少搜索范围的算法, 但是仍需要对大量父块进行分类, 因为无法预先确定子块的自相似块在什么位置。且恢复图像的质量和划块的精细度密切相关, 划块越精细, 恢复图像的质量越好, 但是运算量指数级增加。

1.2 空间域分形压缩编码过程

采用一种灰阶分类方法对图像进行分形压缩。该法利用父块的灰阶特征进行分类, 然后搜索与子块灰阶特征相同的父块, 大大地减少了计算量。它利用图像的均值和方差把父块分成平坦类, 边缘类和中间纹理块三类。平坦类的特征是块中象素灰度值近似可以看作均值。边缘类特征是块中包含了边缘分布, 灰度在边缘部分变化剧烈。纹理类介于两类之间, 方差不是很大, 但是象素之间灰度差仍比较大。对于每一个父块计算出它的方差 v 和均值 u 以及 w , 如下式

$$u = (b_1 + \dots + b_n) / m$$
$$v = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n (b_i - u)^2$$

$$w = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (b_i - b_j)^2$$

定义三个阈值 T_1, T_2, T_3 , 使满足 $T_1 < T_3, T_2 < T_3$ 。当 $v < T_1$, 且 $w < T_2$, 为平坦类。当 $T_1 < v < T_3$, 且 $w > T_2$ 时为纹理类。当 $v > T_3$ 且 $w > T_2$ 时为边缘类。在编码过程中, 对于子块先计算其分类, 如果遇到平坦类, 可以用其均值近似, 而不用搜索父块, 这样就进一步减少了计算量。当遇到边缘类或纹理类时, 则在相应类的父块中进行搜索。

1.3 灰阶分类法实验

图1是采用这种方法进行的实验。从左到右分别为第一次、第二次、第三次和第四次迭代所产生图像。可以看到这种方法解码产生的图像有明显的方块效应。为了提高图像解码质量可以采用多分辨率的压缩算法, 针对子块的特征进行划块, 如果子块灰阶变化复杂则对子块进一步分块, 然后对分辨率更高的子块寻找匹配父块。这对于提高恢复图像质量效果较好, 但是增加了运算量。采用一种波域的分形压缩算法可以较好地解决以上问题。

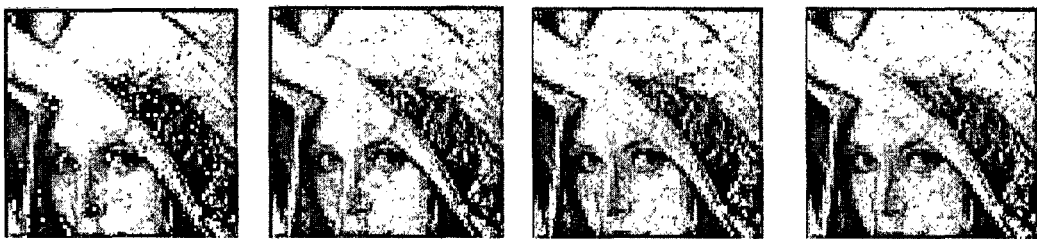


图1 灰阶分类法实验

2 小波域分形压缩算法

2.1 图像的小波分解

小波分析可以用不同尺度对信号进行时域和频域分析, 在高频时小波基自动变窄, 而在低频时自动变宽。用小波变换对信号进行频域的分割, 将信号分割成为低频信号和多尺度的小波空间的组合。这些小波空间具有一定的自相似性, 为利用分形方法压缩图像提供了方便。

图2是对图像进行的二维小波分解。从左到右为原图, 第一次小波分解图像, 第二次小波分解图像。一次分解将图像分解成低频部分和三个方向上的小波系数, 从分辨率为 $(j+1)$ 的图像得到分辨率为 j 的四个子图像。可以进行多次分解, 将原图像分解成为低分辨率的小图(位于左上角)和多阶的三个方向上的不同尺度的小波系数。

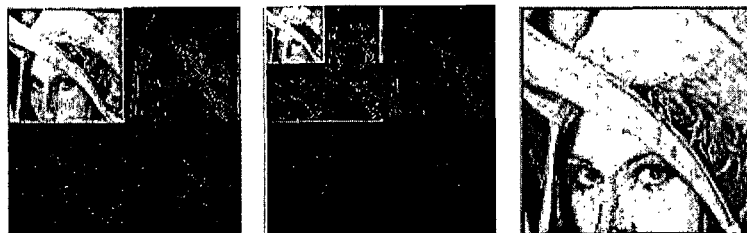


图2 二次 Haar 小波分解的图像对比

2.2 小波域分形压缩原理及过程

不同尺度的小波分解反映了不同尺度的边缘信息, 这些信息有一定的相似性, 图像分形压缩时, 可利用这种相似性在高分辨率的小波系数中选择子块, 其相应的父块可以在低分辨率的小波系数中选择匹配。由于不同方向的小波系数的相关性, 所以在寻找相似父块时要同时考虑三个方向的小波系数。在原图中取一边长为 2^j 的方块, 每次分解后, 这个方块相应的被分解成为低频部分和三个方向上的小波系数, 经过 j 次分

解后,这个方块的低频和三部分小波系数成为一个点。这样就把小波域上的分形压缩操作和空间域上的分形压缩操作一一对应起来。

定义小波域分形操作算子:取块算子 $B(j,v,k,1)$ 表示取出原始图像中位于 $(k,1)$ 边长为 v 的方块在原图小波域的 j 级分辨率对应的三个小波系数块。放块算子 $F(j,v,k,1)$ 表示将恢复出的三个小波系数块放入原始图像中位于 $(k,1)$ 边长为 v 的方块在原图小波域的 j 级分辨率的对应位置上。旋转变换算子 L 表示同时对三个子块进行的八种仿射变换,包括:恒等变换,垂直中线反射,水平中线反射,主对角线反射,副对角线反射,旋转 90° ,旋转 180° ,旋转 270° 。

对父块与子块之间的自相似性的搜索可以表达成寻找一个近似的匹配。 $B(j,r,k,1)U = CLB(j-1,d,k,1)U$,此式的意义是对于原图某个边长为 r 的子块,在小波域中分辨率为 j 上对应小波系数块的自相似块,应该在小波域中分辨率为 $j-1$ 上的小波系数中搜索等长的块。使搜索到的块经过一定仿射变换再乘某个系数后与目标块最相似。记录下所找到的小波系数块的位置以及旋转变换和 C 就完成了分辨率 j 的编码。这里和空间域的压缩不同的是不记录偏差系数,因为小波系数不保留直流信息,所以找到的匹配块只相差一个倍数。编码的过程是先对原图像进行多级小波变换,然后根据要求选定要保留的小波系数的分辨率,从高分辨率的分辨率到最高级逐层进行编码。恢复时从低分辨率的系数开始逐层恢复高分辨率的小波系数。最后进行多级小波反变换,就完成了解码过程。

2.3 小波域分形编码实验及改进

图3是对 256×256 的 lena 头像进行的三级小波变换,保留了第三级小波系数,左图为原图,中图为解码后的图像,右图为灰阶分类法解码出的图像。从图3可以看出,解码的图像消除了灰阶分类方法中的方块效应。还可以采取对子块进行分类和多分辨率结合的方法对算法进行改进,先对要编码的小波域子块进行分类。对父块进行分类的方法与灰阶法相同,只是阈值要重新调整。在编码过程中,对于子块先计算它的分类,如果遇到平坦类,也就是零信息块可以用零值代替,当遇到边缘类或纹理类时把每个子块划分成为四个新的子块,然后搜索与新的子块自相似的父块。图4是运用改进后的算法得到的结果(左图为原图)。



图3 三次二维小波分解的图像对比

图4 改进的小波域分形压缩算法对比

新的方法一方面提高了边缘信息块的编码精细度,从实验结果可以看到解码后图像的边缘效果好一些。另一方面,对于零信息块不进行编码,提高压缩比和编码速度,减少了计算量。

2.4 实验数据分析

实验环境:windows 98 平台,delphi 编程,p II 300,32M RAM。实验图像: 256×256 的 lena 头像。

编码参数:空间域灰阶分类算法采用 4×4 子块, 8×8 父块。改进的小波域分形压缩算法采用3级小波变换,保留0级小波系数。

表1是三种算法的性能比较,从中可以看出,小波域压缩算法各项性能指标都要好于灰阶分类法。

表1 压缩算法性能对比表

压缩算法	压缩比	信噪比	压缩时间/s
空间域灰阶分类压缩算法	10.43	33.7	78
小波域分形压缩算法	12.72	27.7	46
改进的小波域分形压缩算法	13.55	28.5	36

3 结论

本文利用小波域的特征对分形压缩算法作了改进,较好地消除了空间域压缩算法带来的块效应。小波

变换作为一种新的数学工具在分形压缩算法的改进上还有需进一步探讨之处。如在空间域自相似块的搜索上,可以对空间域的块相对应的小波域块进行预搜索,使搜索范围大大缩小,减少运算量,提高搜索速度。在消除分形压缩算法的块效应方面,可以保留原图小波域的模极大值来调整分形解码后的小波域的相应值,在经过小波反变换后恢复的图像可以消除一些块效应。

参考文献:

- [1] 陈守吉,张力明. 分形与图像压缩[M]. 上海:上海科技教育出版社,1998.
- [2] 程正兴. 小波分析算法与应用[M]. 西安:西安交通大学出版社,1998.
- [3] 齐车旭. 分形及其计算机生成[M]. 北京:科学出版社,1994.
- [4] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M]. 北京:科学出版社,1999.

Improvement of Fractal Image Compression in Wavelet Domain

XUE Xiao-xuan¹, GUO Chun-liang²

(1. Dept. of Computer Science and Electronical Engineering, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China;
2. The First Research Institute of Aircraft, Beijing 100076, China)

Abstract: In order to eliminate the block effect of the fractal image compressing in space domain after restoring the image, an improved approach of Fractal Image Compressing in wavelet domain is proposed in this paper. Experiments show that the new way attains this goal.

Key word: Fractal; mean; wavelet transformation

敬 告

我部已搬迁,新办公地点和通信地址为:

陕西省西安市长乐东路甲字一号 邮编:710038
电话:(029)7685427

空军工程大学学报编辑部

二〇〇一年八月