

基于快速分形的 DCT 补偿图像压缩编码算法

张爱华, 杨 培, 盛 飞, 常康康
(南京邮电大学理学院, 江苏 南京 210046)

摘 要:针对分形编码时间过长和离散余弦变换(DCT)在高压比下出现方块效应的两点不足,文中提出了一种基于快速分形的 DCT 补偿图像压缩编码算法,通过对子块和父块特征值排序,使得子块只搜索那些特征值符合条件的父块,从而降低了搜索的复杂度,进而加快了搜索速度。为了提高恢复图像的质量,将图像进行分形编码后,再对灰度误差块 8×8 作离散余弦变换。仿真试验的结果表明,结合两者的长处可以达到高质量和高压比的目的,从而达到很好的编码效果。

关键词:DCT 变换;分形图像压缩;迭代函数系统

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)05-0153-04

A Fast Fractal Image Compression Coding Algorithm on DCT

ZHANG Ai-hua, YANG Pei, SHENG Fei, CHANG Kang-kang

(College of Science, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210046, China)

Abstract: Because of longer fractal encoding time and blocking effect of DCT with high compression ratio, propose a fast fractal image compression coding algorithm based on DCT. By sorting the eigenvalues of sub-blocks and father blocks, it makes the sub-blocks search only those eigenvalues eligible parent blocks, thereby reducing the complexity of the search and speeding up the search speed. In order to improve the quality of reconstructed images, this algorithm implements the fractal image coding and then carries on DCT on all of the 8×8 grey error blocks. The simulation result shows this can achieve higher image quality and higher compression ratio and can get a good coding result with combining the advantage of the two algorithms.

Key words: DCT transform; fractal image compression; iterated function system

0 引 言

分形图像压缩技术是最近几年发展起来的一种新的图像压缩技术^[1],它主要利用图像的自相似性对其进行分割重建,去除了图像中的高度仿射冗余度,使其能够在保证图像质量的前提下,获得很高的压缩比,这使得基于分形的图像压缩编码方法得到快速的发展^[2-7]。

离散余弦变换(DCT)是1974年由N. Ahmed等人提出的一种正交变换方法^[8],目前它是对语音和图像信号处理的最佳方法。其重要的作用体现在近几年来对数字信号芯片的处理和对专用集成电路的设计上。

分形图像压缩方法虽然具有很高的压缩比,但由于其计算复杂性高和编码时间长的缺点,使它的实用性受到了一定的限制。而离散余弦变换方法(DCT)由于其本身在高压比时,具有十分明显的方块效应,因

而在一些存储量较高的图像信息压缩和低码率的图像通信中,显现出质量不高的缺陷。所以利用DCT与分形各自的优点,将它们相结合,可以提高图像的质量和压缩比^[9]。文中对一种基于分形与离散余弦变换结合的混合编码算法进行改进,结果显示可达到更好的编码效果。

1 以分形为主的离散余弦变换补偿算法

二叉树分割的方法是分形编码中最常用的方法之一。此方法在实际应用中存在以下不足:

1) 当对图像质量有很高的要求时,所需要的编码时间过长,虽然可以用硬件来完成,但付出的代价很大;

2) 压缩质量与最小子块的大小有很大的关系,当最小子块取得很小时压缩质量较高,但压缩比无法提高,当最小子块取得很大时,压缩比虽然很大但压缩质量不高;

3) 在通过容许误差 ε 来调节压缩比和压缩质量时,不太容易控制图像质量和压缩比。

分形与离散余弦变换(DCT)相结合的方法,就是

收稿日期:2011-10-06;修回日期:2012-01-11

基金项目:国家自然科学基金(61070234);南京邮电大学校科研基金(NY210018)

作者简介:张爱华(1969-),女,山西广灵人,副教授,研究方向为非线性分析与动力系统。

先用四叉树的分形编码方法对图像进行处理,如果图像的质量不高,则对经过四叉树分形编码后还没有达到要求的误差部分,再继续用 DCT 方法进行编码和补偿,可以通过对 ε 和 Q_p 两个量的控制来调节图像的质量和压缩比。而图像在解码时可以把误差作为迭代函数系统中的偏移量处理即可,具体做法如下:

假设图像 I^2 被分成为 R_{\max} 的子块,每个 R_{\max} 的尺寸为 $2^{R_{\max}} \times R_{\max}$, R_{\max} 是可考虑的最大尺寸的子块,与它相匹配的父块 D_{\max} 有尺寸 $2^{D_{\max}} \times D_{\max}$ 。按式 $(B_{K,L}^R A) \approx C_{K,L} L_{P(K,L)} A + h_{K,L} B_{K,L}^R \cdot I$, 要寻找一个与位置在 K, L 上的与子块相匹配的父块和参数 $C_{K,L}, h_{K,L}$, 满足

$$B_{K,L}^{R_{\max}} I^2 \approx C_{K,L} L_{P(K,L)} A^{D_{\max}-R_{\max}} B_{\pi(K,L)}^{R_{\max}} I^2 + h_{K,L} B_{K,L}^{R_{\max}} \cdot I = W_{K,L}(B_{\pi(K,L)}^{D_{\max}} I^2) \quad (1)$$

如果

$$E_{\min} = \| B_{K,L}^{R_{\max}} I^2 - W_{K,L}(B_{\pi(K,L)}^{D_{\max}} I^2) \|^2 < \varepsilon \quad (2)$$

ε 为预定的阈值,则记下 $C_{K,L}, h_{K,L}, L_{P(K,L)}$ 和 $\pi(K, L)$, 这时在 K, L 位置上的 R_{\max} 编码就完成了。此时的编码效率最高,压缩比也最大。但是,不是所有的最大尺寸的子块都能找到与它相匹配的父块,因此,对于不满足(2)式的子块,必须通过四分法得到 $R_1 = \frac{R_{\max}}{4}, D_1 = \frac{D_{\max}}{4}$, 仍按(1)式搜索,即

$$B_{K,L}^{R_1} \approx C_{K,L} L_{P(K,L)} A^{D_1-R_1} B_{\pi(K,L)}^{R_1} I^2 + h_{K,L} B_{K,L}^{R_1} \cdot I$$

只要 E_{\min} 不满足 $E_{\min} < \varepsilon$, 则 $R_2 = \frac{R_1}{4}, D_2 = \frac{D_1}{4}$, 继续划分和搜索,其结果会造成前面所提到的三个不足^[10]。

设 R_{\min} 为一个给定的最小子块。一般地,可以利用现有的 DCT 算法中的 8×8 尺度,当用四叉树分割方法到 $R = R_{\min}$ 时,如果仍然不满足 $E_{\min} < \varepsilon$ 的条件,就不再继续分割,记下此时满足 E_{\min} 时的参数 $C_{K,L}, h_{K,L}, L_{P(K,L)}$ 和 $\pi(K, L)$, 不满足部分用一个误差块来补偿,假设

$$E_{\min} = \| B_{K,L}^{R_{\min}} I^2 - W_{K,L}(B_{\pi(K,L)}^{D_{\min}} I^2) \|^2 > \varepsilon$$

令其误差块为

$$E_{K,L}^{R_{\min}} = B_{K,L}^{R_{\min}} I^2 - W_{K,L}(B_{\pi(K,L)}^{D_{\min}} I^2) \quad (3)$$

具有 R_{\min} 尺寸 8×8 。令 $F(E_{K,L}^{R_{\min}})$ 为 $E_{K,L}^{R_{\min}}$ 的 DCT 变换, $F_q(E_{K,L}^{R_{\min}})$ 为 DCT 变换系数的量化系数,所以在以分形编码为主的离散余弦变换(DCT)方法中,对于那些能找到与其匹配父块的子块都用分形编码方法进行处理,而对那些找不到与其匹配父块的子块,则不再继续用四叉树方法,而是保留其匹配误差,改用离散余弦变换(DCT)进行匹配误差块的编码^[11]。这样既可以缩短编码时间,又可以提高图像质量。同时,由于分割的阈值 ε 和 DCT 的量化因子 Q_p 的调节,使图像的

质量和压缩比得到了控制。

分形与 DCT 结合的解码方法也是一个迭代过程。它的步骤为:

1) 读入各误差块的 DCT 变换参数,并根据参数先解出 DCT 部分的编码,得到误差数据 $F(E_{K,L}^{R_{\min}})$, 为逆余弦变换的误差块。

2) 其分形迭代公式为

$$B_{K,L}^R = C_{K,L} L_{P(K,L)} A^{D-R} B_{\pi(K,L)}^R I^2 + h_{K,L} \cdot I + F(E_{K,L}^{R_{\min}}) \quad (4)$$

因为 $F(E_{K,L}^{R_{\min}})$ 完全与伸缩因子无关,仅是一个平移因子,所以不影响迭代的收敛性,而 $F(E_{K,L}^{R_{\min}})$ 也只有对那些 $E_{K,L}^{R_{\min}}$ 误差不为 0 的 R_{\min} 大小的子块进行,因而计算量不大。再由于迭代式自仿射形式,它对整个图像的恢复起了很重要的作用。图 1 表示其编码和解码的示意图。

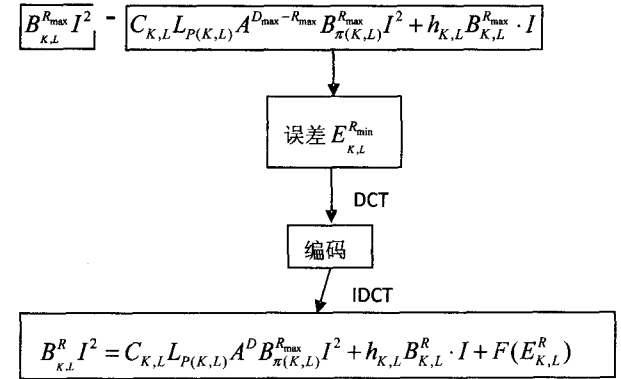


图 1 编码解码示意图

由于 DCT 本身具有较快的编码速度,加上分形编码本身具有很高的压缩比,可以通过调节四叉树分割阈值和 DCT 量化得到比较好的综合结果。

文献[12]考虑了 DCT 方法、分形编码算法、以分形为主的 DCT 补偿编码这三种方法在压缩比和质量上的关系。在低压缩比时,DCT 方法最佳;但当压缩比超过 35~40db 后,分形编码和“以分形为主的 DCT 补偿编码”占了优势,而“以分形为主的 DCT 补偿编码”方法又优于纯分形编码的方法。从所花费的时间上来看,以分形为主的 DCT 补偿编码方法虽然没有单纯的 DCT 方法快,但比起单纯的分形编码方法要快得多。

其实,如果适当地调节 ε 和 Q_p , 可以使压缩比和质量的关系达到更好的效果^[13]。因为当 ε 取的很小时,会出现任何子块都不能找到与其相匹配的父块,于是所有的子块与最佳匹配父块的误差都需要用 DCT 进行补偿,此时编码的结果与 DCT 相当。即在低压缩比时可用这种方法,使其编码质量与经典的 DCT 方法一样,只是因在初始时需要先用分形搜索,其时间略长,因而需要多保留一些分形编码系数,因而压缩比略低于 DCT 方法。当 ε 取的略大时,分形编码成分多

了,只有少量的子块找不到匹配父块,这样压缩比可提高,而又因DCT对误差的补偿,使图像质量高于纯分形方法,只要找到 ε 和DCT量化因子的关系就可使图像编码时自动达到最优的状态^[14]。

纯分形的方法在低压缩比时反而需要更长的时间,这是因为低压缩比需要存储更多的子放射变换系数,这意味着二叉树分割得越细。而分形为主的DCT补偿方法的编码时间与压缩比无关。

2 基于分形的DCT补偿图像压缩编码算法的改进

为了提高分形图像压缩编码速度,文中给出了一种改进搜索匹配块的方法,通过对子块和父块特征值的排序,使得子块只搜索那些特征值符合条件的父块,从而降低了搜索的复杂度,也即加快了搜索速度。将此搜索算法加入到基于分形的DCT补偿图像压缩编码算法中,获得较好的编码效果。

2.1 改进匹配块的搜索算法

匹配搜索问题可以简化为:对于子块 f ,寻找适当的“平均-抽样”后的父块 g ,使得

$$d_{\text{sup}}(g, w(f)) \leq \varepsilon \quad (5)$$

成立,其中 $w(f) = w(x, y, f(x, y))$, d_{sup} 为 d_p 的上确界, ε 为给定的误差范围。LIFSMD的定义没有规定其中的变换,为了方便讨论,将采用仿射变换,在不考虑父块的旋转变换时,有

$$w \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ d \end{pmatrix}$$

其中 $|s| = s_i < 1$,令

$$w^{-1} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{s} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -\frac{d}{s} \end{pmatrix},$$

$$w_1 \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix},$$

$$ww^{-1}(f) = w^{-1}w(f) = f,$$

$$ww_1(f) = w_1w(f)$$

K_1 为子块 g 中两点像素差绝对值的最大值, K_2 为父块 f 中两点像素差绝对值的最大值,则有 $K_2 \times s_i \geq K_1 - 2\varepsilon$ 。定义子块为

$$d_{\text{sup}}(g, w(g)) \leq \varepsilon' \quad (6)$$

由(5)和(6)可知

$$d_{\text{sup}}(w_1(g), w(f)) \leq \varepsilon + \varepsilon',$$

$$d_{\text{sup}}(w^{-1}w_1(g), f) \leq (\varepsilon + \varepsilon')/s_i \quad (7)$$

又由公式(5)可知

$$d_{\text{sup}}(w^{-1}(g), f) \leq \varepsilon/s_i + \varepsilon',$$

$$d_{\text{sup}}(w_1w^{-1}(g), w_1(f)) \leq \varepsilon/s_i \quad (8)$$

由公式(7)、(8)可得 $d_{\text{sup}}(f, w_1(f)) \leq (2\varepsilon + \varepsilon')/s_i$,

即有

$$d_{\text{sup}}(f, w_1(f)) \leq d_{\text{sup}}(g, w_1(f)) + 2\varepsilon/s_i$$

又因为 $K_2 \times s_i \geq K_1 - 2\varepsilon$,有

$$\frac{d_{\text{sup}}(f, w_1(f))}{K_2} \leq \frac{d_{\text{sup}}(g, w_1(f)) + 2\varepsilon}{K_1 - 2\varepsilon} \quad (9)$$

在进行匹配搜索之前,先分别计算出公式(9)两边的值,在编码过程中子块只搜索那些符合该公式的父块,从而可以降低搜索的范围和复杂度,加快了编码速度。当 $K_1 \leq 2\varepsilon$ 时,所有的父块均可与其匹配。

以16个像素点的父块与子块为例,将父块上的16个像素点看作是均匀分布在同一个圆上不同角度的16个点;然后依次将这个父块顺时针旋转 45° ,将得到旋转变化后的图像 f' 再与子块匹配,这时 $\frac{d_{\text{sup}}(f, w_1(f))}{K_2} = \frac{d_{\text{sup}}(f', w_1(f'))}{K_2}$,即如果旋转前 f 不满足公式(9),那么旋转后的 f' 也不满足该公式。

2.2 改进的编码过程

步骤1 把图像 I^2 被分成为 R_{max} 的子块,每个 R_{max} 的尺寸为 $2^{R_{\text{max}} \times R_{\text{max}}}$, R_{max} 是可考虑的最大尺寸的子块,与它相匹配的父块 D_{max} 有尺寸 $2^{D_{\text{max}} \times D_{\text{max}}}$;

步骤2 搜索其相应的父块。按式(9),要寻找一个与位置在 K, L 上的子块相匹配的父块和参数 $C_{K, L}$, $h_{K, L}$,满足(1)。即子块父块各自计算出公式(9)两边的值,在编码过程中只搜索那些符合该公式的父块。 ε 为预定的阈值,若 $E_{\text{min}} < \varepsilon$,则记下 $C_{K, L}$, $h_{K, L}$, $L_{P(K, L)}$ 和 $\pi(K, L)$,这时在 K, L 位置上的 R_{max} 编码就完成了;

步骤3 对于 $E_{\text{min}} \geq \varepsilon$ 的子块,用四分法可得 $R_1 = \frac{R_{\text{max}}}{4}$, $D_1 = \frac{D_{\text{max}}}{4}$,仍按步骤2的方式搜索。定义 R_{min} 为给定的最小子块,不失一般性,可以利用现有的DCT算法中的 8×8 尺度。若此时仍不满足 $E_{\text{min}} < \varepsilon$,则继续划分和搜索;

步骤4 当二叉树分割到 $R = R_{\text{min}}$ 时,仍不满足 $E_{\text{min}} < \varepsilon$,则记下参数 $C_{K, L}$, $h_{K, L}$, $L_{P(K, L)}$ 和 $\pi(K, L)$,不满足部分用一个误差块 $E_{K, L}^{\text{min}}$ 来补偿。 $E_{K, L}^{\text{min}}$ 具有 R_{min} 尺寸 8×8 。令 $F(E_{K, L}^{\text{min}})$ 为 $E_{K, L}^{\text{min}}$ 的DCT变换, $F_q(E_{K, L}^{\text{min}})$ 为DCT变换系数的量化系数。对不满足 $E_{\text{min}} < \varepsilon$ 的误差块用DCT进行匹配误差块的编码。

2.3 仿真结果

选择灰度图像 256×256 Lena图像作为实验对象,由于考虑到各种因素对实验结果的影响,将20次编码后的平均结果作为整个实验的最终结果。

试验结果显示,平均编码时间大约为20秒,这

说明在编码速率方面本算法比基本分形编码算法有很大的提高。

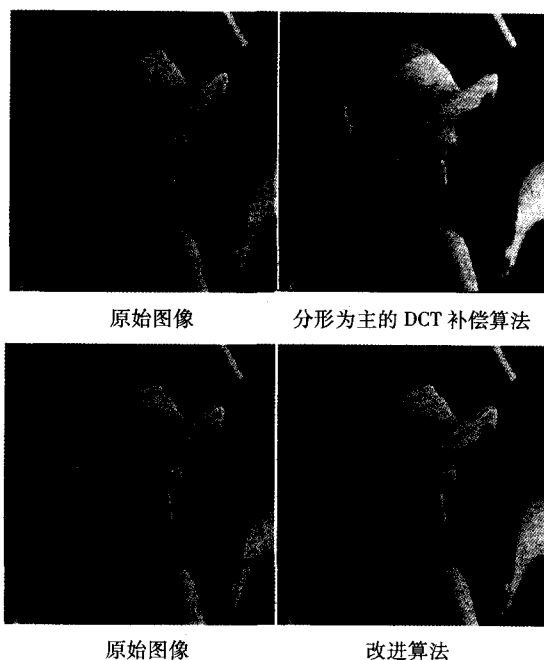


图 2 图像质量对比

3 结束语

分形图像编码是现代数学应用最成功的例子之一,它涉及现代数学的诸多分支。文中通过对子块和父块特征值的排序,使得子块只搜索那些特征值符合条件的父块,从而降低了搜索的范围和复杂度,也即加快了搜索速度。将此搜索算法加入到基于分形的 DCT 补偿图像压缩编码算法中,结合算法提出了基于快速分形的 DCT 补偿方法。

仿真实验显示出,基于快速分形的离散余弦变换补偿图像编码算法明显比传统的分形块编码算法优越。它的编码时间比全搜索算法快 100 倍以上,比基于分形为主的离散余弦变换补偿方法快 10 倍多,虽然图像质量略有降低,但通过主观判断没有明显的失真。如何将这种算法应用于其他分块方法中,以及进一步提高编码时间将是以后研究的重点。

参考文献:

- [1] 陈守吉,张立明. 分形与图像压缩[M]. 上海:上海科技教育出版社,1998.
- [2] Barnsley M F. Iterated function systems and the global construction of fractals[J]. Proc. Roy. Soc. London, 1985, 399 (1817): 243-275.
- [3] 张爱华,江中勤,张 华. 基于粒子群优化算法的分形图像压缩编码[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(2): 21-24.
- [4] 朱艳秋,初练禹,陈贺新. 一种基于二维 DCT 的分形静止彩色图像压缩编码[J]. 中国图象图形学报, 1997(7): 486-487.
- [5] 王毅刚,金以文. 在小波分解下的分形块方法图像编码[J]. 中国图象图形学报, 1996(3): 201-204.
- [6] 刘 勋,张在峰,马义德,等. 基于分形理论的图像压缩编码技术[J]. 信息与电子工程, 2004, 2(4): 246-250.
- [7] 房育栋,余英林. 基于分形的混合图像压缩方法[J]. 信号处理, 1996, 12(3): 202-208.
- [8] Saupe D. Acceleration fractal image compression by multi-dimensional nearest neighbor search [C]//Proceedings DCC '95. Snowbird, UT, USA: [s. n.], 1995.
- [9] Lee C K, Lee W K. Fast fractal image block coding based on local variances[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 1998, 7 (6): 888-891.
- [10] Polvere M, Nappi M. Speed-up in fractal image coding: comparison of methods[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(6): 1002-1009.
- [11] Popeseu D C, Dimca A, Yan Hong. A nonlinear model for fractal image coding[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(3): 372-382.
- [12] Hurtgen B, Stiler C. Fast hierarchical codebook search for fractal coding of still image [C]//EOS/SPIE Visual Communication and PACS for Medical Application '93. Berlin: [s. n.], 1993.
- [13] Thomas L, Deravi F. Runing of the transform space in block based image compressing [C]//Proceedings of IEEE ICASSP -93. Minneapolis, Minnesota: [s. n.], 1993: 27-30.
- [14] Lai Cheung-Ming, Lam Kin-Man. An efficient algorithm for fractal image coding using kick-out and zero contrast conditions[J]. Circuits and Systems, 2003, 2(5): 480-483.

(上接第 152 页)

- [7] Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector [C]//Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference. [s. l.]: [s. n.], 1988.
- [8] 蔡丽欢,廖英豪,郭东辉. 图像拼接方法及其关键技术研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(3): 1-4.
- [9] Kuglin C, Hines D. The phase correlation image alignment method [C]//Proc of IEEE Conference on Cybernetics and Society. New York: [s. n.], 1975.
- [10] de Castro E, Morandi C. Registration of translated and rotated images using finite Fourier Transforms[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1987, 9(5): 700-703.
- [11] 邵向鑫,郭树旭,王 朗. 基于边缘扩展相位相关的图像拼接算法[J]. 吉林大学学报, 2010, 28(1): 95-99.
- [12] 田裕鹏. 红外检测与诊断技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2006.