

基于矢量失真测度和自适应四叉树分割的彩色图象分形压缩方法

王绍源 王耀南

(湖南大学电气工程系, 长沙 410082)

摘要 在 Jacquin 分块分形图象压缩方法的基础上, 提出了一种基于矢量失真测度的自适应四叉树分割彩色图象分形压缩方法, 该方法充分利用了 RGB 彩色空间 24 位真彩图象的三彩色分量间相关性, 实验表明该方法比分别对三彩色分量使用分块分形压缩方法在压缩比和重构图象质量方面有很大的改善。

关键词 迭代函数系统 分形图象压缩 自适应四叉树分割 矢量失真测度

0 引言

分形几何是由美国数学家 Mandelbrot 于 1982 年创立的^[1], 由于其具有自相似性和自仿射性, 因此它为图象压缩提供了一种新的途径。自从 Barnsley 1988 年首次提出分形图象压缩方法以来^[2,3], 分形图象压缩方法引起了学术界的高度重视和广泛研究^[4,5]。分形图象压缩是一种利用图象的各部分间的自相似性和自仿射性来进行图象压缩的方法, 它的主要理论基础是迭代函数系统理论 (IFS)。Jacquin 于 1990 年提出基于块分割的分形图象压缩方法^[6], 较好地解决灰度图象压缩的问题。但是在实际应用中彩色图象的压缩显得更为重要, 一般的方法是将 RGB 彩色空间的彩色图象的三个彩色分量分别用灰度图象的分形压缩方法对其进行压缩 (Separate Fractal Compression, SFC), 因此压缩过程中不仅存在大量的重复工作, 而且三个彩色分量间的相关性得不到充分的利用。本文将灰度图象分形压缩的三维仿射变换扩充为彩色图象分形压缩的五维仿射变换, 同时采用矢量失真测度对其进行误差评判, 从而使图象压缩比和重构图象的质量得到了很大的提高和改善。

1 分形图象编码的基本方法

在块分割的分形图象编码方法中, 将整幅图象

T 首先分割成 (相互不重叠且覆盖了整个图象表面) 大小为 $B \times B$ 的序列块 R_i (Range block), $i = 1, 2, \dots, N$, 即 $T = \bigcup_{i=1}^N R_i$, 且 $i \neq j$ 时 $R_i \cap R_j = \emptyset$ 。同时将图象 T 分割为大小为 $D \times D$ 且可以相互重叠的主块 D_j (Domain block), $j = 1, 2, \dots, M$ (一般 $D = 2B$)。然后对每个序列块 R_i , 可以找到一个主块 D_j , 使得 D_j 通过某个仿射变换 w_i 最接近 R_i , 即 $R_i \approx \hat{R}_i = w_i(D_j)$ 。对灰度图象而言, 将其主块 D_j 的灰度值表示为 $z = f(x, y)$, 序列块 R_i 的灰度值表示为 $z' = f'(x, y)$, 其中 (x, y) 为象素点的平面坐标。我们可以将三维仿射变换 $w: f \rightarrow f'$ 用如下形式表示:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_i & b_i & 0 \\ c_i & d_i & 0 \\ 0 & 0 & s_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_i \\ f_i \\ o_i \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中 $a_i, b_i, c_i, d_i, s_i, e_i, f_i, o_i$ 为仿射变换参数 (分形编码)。在分形图象压缩中最常用的失真测度为均方根误差 (rms), 一般两个大小为 $n \times n$ 的序列块 R 和 \hat{R} 的均方根误差定义为:

$$d(R, \hat{R}) = \sqrt{\frac{1}{n^2} \sum_{(x,y) \in R, \hat{R}} (f(x,y) - \hat{f}(x,y))^2} \quad (2)$$

分形图象编码的过程就是对每一序列块 R_i 寻找一主块 D_j 使之通过 (1) 式定义的仿射变换后使其误差 d 为最小。

2 基于矢量失真测度的彩色图象分形编码方法

灰度图象的分形编码可以很容易地扩充到彩色图象的分形编码,通常 RGB 彩色空间的真彩图象用 24 位(3 个字节)来表示一个像素,其中三个彩色分量 R 、 G 、 B 各占一个字节。彩色图象最直接的压缩方法是将彩色图象分成红、绿、蓝三个彩色分量,然后用 SFC 方法对其进行编码,因此没有充分利用三个彩色分量之间的相关性而导致图象的压缩比不高,其结果如表 1 的 SFC 部分所示。

$$d(R, \hat{R}) = \sqrt{\frac{1}{3n^2} \sum_{(x,y) \in R, \hat{R}} [f(x,y) - \hat{f}(x,y)]^T [f(x,y) - \hat{f}(x,y)]} \quad (4)$$

同时(1)式的定义也扩充为如下形式:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ r' \\ g' \\ b' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_i & b_i & 0 & 0 & 0 \\ c_i & d_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_{r_i} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s_{g_i} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & s_{b_i} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ r \\ g \\ b \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_i \\ f_i \\ o_{r_i} \\ o_{g_i} \\ o_{b_i} \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中 $a_i, b_i, c_i, d_i, e_i, f_i, s_{r_i}, s_{g_i}, s_{b_i}, o_{r_i}, o_{g_i}, o_{b_i}$ 为变换参

实际上我们可以将 RGB 彩色空间的彩色图象的每个像素用一个三维矢量 $[r \ g \ b]^T$ 表示,令 $f(x,y) = [r \ g \ b]^T$ 为彩色图象序列块的一个像素,其中 (x,y) 为像素点的平面坐标, (r,g,b) 为该像素点的三彩色分量值。并对该空间上给定的矢量 $f(x,y)$ 和 $\hat{f}(x,y)$ 定义其欧几里德距离为:

$$d(f, \hat{f}) = \|f - \hat{f}\| = \sqrt{(f - \hat{f})^T (f - \hat{f})} \quad (3)$$

我们将(3)式作为 RGB 彩色空间的失真测度。

根据(3)式我们定义大小为 $n \times n$ 的序列块 R 和 \hat{R} 的均方根误差为:

数(分形编码),利用最小二乘法可以将它们求出。利用(4)式和(5)式对 RGB 彩色图象进行压缩,就可以利用 RGB 彩色空间彩色分量间的相关性,从而达到提高压缩比的目的。表 1 的 VDFC 部分是该方法采用固定分块方法对 512×512 的彩色 Lenna 图象进行压缩的结果,结果表明采用该方法与 SFC 方法相比在压缩比方面提高了 1.5 倍左右。

表 1 两种不同压缩方法的结果

	序列块	$\Delta h, \Delta v$	bpp	PSNR (dB)
SFC	8×8	16	0.811	27.40
		8	0.903	27.97
		4	0.984	28.32
	4×4	16	3.175	30.75
		8	3.559	32.11
		4	3.928	32.46
VDFC	8×8	16	0.517	27.01
		8	0.551	27.45
		4	0.578	27.81
	4×4	16	2.051	30.21
		8	2.204	31.17
		4	2.321	31.78

3 自适应四叉树分割的彩色图象分形编码方法

表 1 中的结果表明如果将图象划分成较大的序列块 R , 图象的压缩比可以得到进一步的提高,但重构图

象质量将会明显下降。相反如果将图象分割成较小的序列块 R , 那么重构图象的质量改善非常明显,但图象的压缩比也会明显地减小。为了获得较好的重构图象质量和较高的图象压缩比,本文采用了基于矢量失真测度的自适应四叉树分割的分形图象编码方法。四叉树算法是 Fisher 等人首先应用于分形图象编码^[7]。图

象首先被分割为互不重叠大小为 $B \times B$ 的序列块 R_i 和大小为 $2B \times 2B$ 的主块 D_j , 对每一个序列块 R_i 搜索最佳匹配主块 D_j 的过程如下:

- (1) $E = \min(d(R_i, D_j^*)) \quad \forall D_j$
- (2) $E \leq E_p \quad \text{Goto (5)}$
- (3) $B = B/2$



图1 Lenna 原图(512×512)

- (4) $B > 2 \quad \text{Goto (1)}$
- (5) End

其中 $D_j \xrightarrow{\downarrow 2 \times 2} D_j^*$, E_p 为预定的门限误差。

图2是应用该方法对图1所示的 512×512 的 Lenna 彩色图象进行压缩后的重构图象。



图2 自适应四叉树分割方法
bpp=0.871, PSNR=30.17dB

4 结束语

基于矢量失真测度的分形彩色图象压缩方法充分地利用了 RGB 彩色空间彩色分量的相关性, 可以有效地提高彩色图象的压缩比。从上述的几种基于矢量失真测度的分形彩色图象压缩方法的仿真结果可以看出, 匹配主块和序列块时采用自适应四叉树图象分割算法取得了较为满意的结果, 是图象压缩比和重构图象质量的一个较好的折衷。

参考文献

1 Mandelbrot B B. The Fractal Geometry of Nature. California:

Freeman company, 1982.

2 Barnsley M F. Fractal Any Where. New York: Academic Press, 1988.
 3 Barnsley M F *et al.* Fractals Image Compression. Wellesley: AK Press, 1992.
 4 吴金敏. 分形与图象压缩编码. 通信学报, 1993, 14 (2): 78~83.
 5 Jacquin A E. Fractal image coding: A review. In: Proceedings of the IEEE, Oct 1993, 1451~1465.
 6 Jacquin A E. Fractal image coding based on a theory of iterated contractive image transformations. SPIE: Visual Communications and Image Processing, 1990, 1360: 35~61.
 7 Fisher Y *et al.* Iterated Transformation Image Compression. NOSC Tech Rep, 1991.



王绍源 1992年毕业于湖南大学计算机科学系, 获学士学位, 1995年毕业于湖南大学电气工程系, 获硕士学位, 现为该系博士研究生。主要研究方向是图象处理、计算机视觉和模式识别。



王耀南 1957年生, 博士, 现为湖南大学电气与信息工程系教授, 博士生导师。主要从事人工智能、计算机控制、智能控制与信息处理、卫星遥感图象处理、计算机视觉方面的研究工作。

Fractal Color Image Compression Based on Vector Distortion Measure and Adaptive Quadtree Partition

Wang Shaoyuan, Wang Yaonan

(Department of Electrical Engineering, Hunan University, Changsha 410082)

Abstract In this paper, based on the method of block-coding fractal image compression proposed by Jacquin, a new fractal color image compression method based on Vector Distortion Measure and Adaptive Quadtree Partiton is presented. This method fully exploits the correlation between the three color components of 24-bits true color image in RGB color space, experiments show that both compression ratio and reconstructed image quality are much better than that of separate fractal coding in RGB color images.

Keywords Iterated function system (IFS), Fractal color image compression, Adaptive quadtree partition, Vector distortion measure

富士 MX-1500 数码相机 能置入口袋中的 150 万像素

富士公司除了推出 230 万像素数码相机 MX-2900, 还同时推出一部 150 万像素的薄身数码相机 MX-1500。它采用横式机身设计, 厚度仅有 31mm, 而且更有三款颜色的选择, 分别是银色、金色及兰以, 适合喜欢外表包装的用户, 亦是初学者的入门机首选。

它是至今生产出的最小、最轻的百万像素数码相机——特别适合放置于口袋与手袋之中, 它依据人体力学设计的机壳使你拿起来更舒适、更牢固。镜头护盖会在打开相机时自动开启, 当你关闭电源里, 镜盖会自动关闭, 充分保护了高清晰镜片。

MX-1500 采用一块 1/2.2 英寸的 150 万像素 CCD、最高解象度为 1280×1024 , 镜头采用 38mm 定焦镜头, 可再加两倍数码的变焦, 而光圈会有两级自动调校。快门可作手动调校, 速度由 1/4 秒到 1/2000 秒。存储依然是采用 Smartmedia 卡, 支援最高的 32M 容量。

此外, 富士 MX-1500 保留了富士独有的四种内置式滤镜功能, 包括彩虹闪光、银色闪光、黑白及怀旧, 可及时改变相片效果。而相片的原来影像亦会自动被储存至另一个档案名称, 避免因相片影像被更改后而不能还原或失掉原来档案问题。特别设计的拍摄向导——风景模式、群像模式、人像模式使构图更为方便。

许多百万像素相机都在拍摄第一张相片和处理拍摄照片时花费大量的时间, 1500 对解决这个问题是非常成功的, 它选用了高速的 RISC 处理器和一本 DRAM 富士公司独创的函数使处理速度更快, 集成电路的工作更为高效。启动速度比以往的百万级像素快得多, 拍摄间隔比以往短 50%, 因此, MX-1500 能将你的精彩瞬间片片保留。

MX-1500 有两节 AA Ni-mH 电池提供电源, 使你的使用更经济更环保, 只需使用附带的充电器, 充电 12 到 13 个小时, 在 LCD 关闭的情况下, 可拍摄 400 张。