

· 学术论文与技术报告 ·

分形快速高效图像数据压缩

尹忠科* 杨绍国[✓] 顾德仁
(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

①
97, 26(2)
113-116

A 【摘要】 研究了分形图像压缩编码和分形图像插值方法,提出了综合利用分形插值和分形图像编码方法进行图像数据高效压缩的方法。实验结果表明,该法在恢复图像信噪比为 28.7 dB 时,压缩倍数可高达 76 倍。

关键词 分形; 插值; 图像编码; 迭代函数系统

中图分类号 TN919.8 TN919.8

自然界具有标度不变的自相似结构,图像是自然界的反映,因此图像也存在分形特征^[1]。图像的分形特征表明图像数据存在着以前尚未认识利用的信息冗余。为了利用这种信息冗余进行图像的数据压缩, M. Barnsley 于 1988 年提出了分形图像压缩编码方法^[2], 1990 年 A. Jacquin 提出了全自动的可行的分形图像压缩编码方法^[3]。分形图像压缩编码的物理依据是自然界具有标度不变性的自相似结构,即分形特征。分形图像压缩编码的数学基础是迭代函数系统(IFS),分块迭代函数系统(PIFS),不动点原理和拼贴原理^[2~4]。

应用分形图像压缩编码方法对图像进行压缩编码时,其算法复杂性和压缩比与图像的大小有关^[4]。一方面算法复杂性随图像尺寸的增大而急剧提高。另一方面,一般分形图像编码方法是基于分块迭代函数系统的,当图像子块大小选定后,图像尺寸的大小决定图像含有图像子块的多少,因此在每一图像子块的代码变化不大的情况下,图像尺寸的大小决定了整幅图像压缩后的代码长度即压缩比。从这两点出发,自然想到用插值方法和分形编码方法结合起来对图像进行先抽样再编码,从而进行快速的高压缩比的图像压缩。恢复图像时先进行分形图像解码,得到小的恢复图像,然后利用插值得到图像的恢复图像。进行通常的内插值时,常会丢失纹理特征,利用分形插值方法插值可以产生高分辨率图像,而能保持原图像的纹理特征。对于方块效应等人工干扰,由于不具备分形特征,分形内插对其有良好的抑制作用。

本文研究了 DCT 域分形图像压缩编码方法和分形插值方法,把两者相结合,提出了一种压缩速度快、压缩比高的分形综合图像压缩方法。

1 DCT 域分形图像压缩编码方法

空间域分形图像压缩编码的过程为:对于原图像上任一子块 $f_{i,j}$ (i, j 代表该子块的位置),在收缩图像上寻找某一同样大小的子块 $g_{k,l}$ (k, l 代表子块 g 在收缩图像上的位置),使得 $g_{k,l}$ 经过式(1)的变换后得到的 $\hat{f}_{i,j}$ 与 $f_{i,j}$ 最相似

$$\hat{f}_{i,j} = a \cdot g_{k,l} + b \cdot 1 \quad (1)$$

1996年5月27日收稿

* 男 26岁 博士生

式中 a, b 为待求实数; 1 代表象素值均为 1 的一个子块。对于原图像子块 $f_{i,j}$ 来说, 量化后的 a, b 和 $g_{k,l}$ 的位置即为该子块的压缩后的代码。

把式(1)变换到 DCT 域得(子块大小 8×8)

$$\begin{bmatrix} \hat{F}_{i,j}^{0,0} & \hat{F}_{i,j}^{0,1} & \cdots & \cdots \\ \hat{F}_{i,j}^{1,0} & \hat{F}_{i,j}^{1,1} & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \end{bmatrix}_{8 \times 8} = a \begin{bmatrix} G_{k,l}^{0,0} & G_{k,l}^{0,1} & \cdots & \cdots \\ G_{k,l}^{1,0} & G_{k,l}^{1,1} & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \end{bmatrix}_{8 \times 8} + \begin{bmatrix} b_0 & 0 & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \end{bmatrix}_{8 \times 8} \quad (2)$$

式中 $\hat{F}_{i,j}$ 是 $f_{i,j}$ 子块经过 DCT 变换后的系数; $G_{k,l}$ 是 $g_{k,l}$ 子块经过 DCT 变换后的系数; 子块 $b \cdot 1$ 经过 DCT 变换后的系数, 只有直流项不为 0, 即 b_0 。

DCT 域分形图像压缩编码的过程为: 对于 DCT 域原图像上的任一子块 $F_{i,j}$, 在 DCT 域收缩图像上寻找一同样大小的子块 $G_{k,l}$, 使得 $G_{k,l}$ 经过式(2)的变换后得到的 $\hat{F}_{i,j}$ 与 $F_{i,j}$ 最相似。

事实上, 无论怎样选取 $G_{k,l}$ 和 a, b_0 , 最相似的 $\hat{F}_{i,j}$ 与 $F_{i,j}$ 仍不是足够相似, 这是造成分形图像压缩编码方法恢复图像质量不高的原因。为此进行如下改进, 使 $\hat{F}_{i,j}$ 与 $F_{i,j}$ 足够相似

$$\begin{bmatrix} \hat{F}_{i,j}^{0,0} & \hat{F}_{i,j}^{0,1} & \cdots & \cdots \\ \hat{F}_{i,j}^{1,0} & \hat{F}_{i,j}^{1,1} & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \end{bmatrix}_{8 \times 8} = a \begin{bmatrix} 0 & Z_1 G_{k,l}^{0,1} & G_{k,l}^{0,2} & \cdots \\ Z_2 G_{k,l}^{1,0} & Z_3 G_{k,l}^{1,1} & G_{k,l}^{1,2} & \cdots \\ G_{k,l}^{2,0} & G_{k,l}^{2,1} & G_{k,l}^{2,2} & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \end{bmatrix}_{8 \times 8} + \begin{bmatrix} F_{i,j}^{0,0} & T_1 F_{i,j}^{0,1} & 0 & \cdots & \cdots \\ T_2 F_{i,j}^{1,0} & T_3 F_{i,j}^{1,1} & 0 & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \end{bmatrix}_{8 \times 8} \quad (3)$$

式中 $T_1, T_2, T_3, Z_1, Z_2, Z_3$ 可取 0 或 1, 且 $T_1 \neq Z_1, T_2 \neq Z_2, T_3 \neq Z_3, F_{i,j}$ 为子块 $f_{i,j}$ 经过 DCT 变换后的系数。

2 分形插值方法

2.1 图像的特征量提取

特征提取按如下步骤进行:

- 1) 计算图上空间距离为 ΔX 的象素亮度差的期望值 $E|B_H(X+\Delta X) - B_H(X)|^2$ 。
- 2) 确定尺度极限参数 $|\Delta X|_{\min}, |\Delta X|_{\max}$ 。

如果图像是完全理想分形的, 则在任何尺度下分维均保持为常数。但实际图像并不是完全理想分形的, 所以要确定一个尺度范围, 在此范围分维保持常数。确定方法为: 画出分维图, 即 $\lg E|B_H(X+\Delta X) - B_H(X)|^2$ 相对 $\lg |\Delta X|$ 的曲线。由图中可见在一段范围内保持为直线, 该范围的上下限即为 $|\Delta X|_{\min}$ 和 $|\Delta X|_{\max}$ 。

- 3) 计算参数 H 和象素亮度正态分布的标准差 σ 。

根据图像的分式布郎随机场模型^[5], 有

$$\lg E|B_H(X+\Delta X) - B_H(X)|^2 - 2H \lg |\Delta X| = \lg \sigma^2 \quad (4)$$

式中 $\sigma^2 = E|B_H(x+1) - B_H(x)|^2$ 。采用最小二乘法解上述方程, 即可计算出参数 H 和 σ 。

2.2 分形内插方法

分形内插实质上是一种递归中点位移的过程,其递推公式按如下方式进行,对点 (i, j) ,假定当 i, j 均为奇数时,它的亮度值 B_H 已经确定,则对 i, j 均为偶数时

$$B_H(i, j) = \frac{1}{4} \{B_H(i-1, j-1) + B_H(i+1, j-1) + B_H(i+1, j+1) + B_H(i-1, j+1)\} + \sqrt{1-2^{2H-2}} \|\Delta X\| H\sigma G \quad (5)$$

而当 i, j 中有且仅有一个偶数时

$$B_H(i, j) = \frac{1}{4} \{B_H(i, j-1) + B_H(i-1, j) + B_H(i+1, j) + B_H(i, j+1)\} + 2^{-H/2} \sqrt{1-2^{2H-2}} \|\Delta X\| H\sigma G \quad (6)$$

式中 G 是 Gauss 随机变量,服从 $N(0, 1)$ 分布; $\|\Delta X\|$ 是样本的间距。由此可见插值点的亮度完全由描述原始数据的分式布朗函数的 H 和 σ 决定。

3 综合利用分形技术进行图像数据压缩

3.1 分形内插法图像压缩编码

对原图像,本文首先采用固定式内插法编码,即被传输的那部分像素是固定的,未被传输的像素在解码时利用已传输的像素经分形内插计算而恢复。

3.2 DCT 域分形图像压缩编码

对原图像经抽样得到的图像,采用上面提出的分形图像压缩编码方法进行进一步的压缩,以便进一步提高压缩比。

分形内插编码和分形图像压缩编码的结合,不仅可以极大地提高计算速度和压缩比,而且还能有效地抑制方块效应,提高恢复图像的质量。

4 实验结果分析

实验中采用标准的 $512 \times 512 \times 8$ 的 Lena 图像。编码时首先对 Lena 图像进行 $4:1$ 抽样即每隔一行抽取一行、每隔一列抽取一列像素。对于抽样后的 Lena 图像,采用上面提出的分形图像压缩编码方法进行进一步的压缩。解码时,先用分形图像压缩编码方法进行解码,得到抽样的恢复图像,然后再用分形内插的方法,得到原始图像的恢复图像。图1为原始 Lena 图像,图2为压缩后恢复图像。从恢复图像看,没有明显的失真,虽然头发等细节部分变得模糊了,但我们认为在70多倍的压缩比的情况下,这样的图像质量是令人满意的。

表1给出了用 PC486 微机对 512×512 的 Lena 图像进行压缩和恢复的实验结果,在信噪比大致相同的条件下,本文提出的方法和文献中原分形方法(快速 LIFS)相比较,压缩比提高到76倍,压缩速度提高140多倍。

本文提出的方法,其突出优点是压缩比高,这对图像通信的实现是非常有益的。

表1 实验结果

	PSNR/dB	压缩比/倍	压缩时间/小时	备注
LIFS	30.9	24.8	25	引自文献[4]
快速 LIFS	29.0	25.2	7	引自文献[4]
新方法	28.7	76.4	0.05	



图1 原始 Lena 图像,图像大小为 512×512



图2 恢复图像,信噪比为 28.7 dB,压缩比为 76 倍

参 考 文 献

- 1 Mandelbrot B B. The fractal Geometry of nature. San Francisco:Freeman,1982
- 2 Barnsley M F,Sloan A D. A better way to compress images. Byte. Jan 1988 : 215~223
- 3 Jacquin A E. Fractal image coding based on a theory of iterated contractive image transformations. Visual Communications and Image Processing 1990 SPIE,1 360 : 227~239
- 4 房育林,余美林. 快速分形图像压缩编码. 电子学报,1996,24(1) : 28~33
- 5 Pentland A P. Fractal-based description of natural scenes. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1984,6(6) : 661~674

Fast and Efficient Image Compression Using Fractal Techniques

Yun Zhongke Yang Shaoguo Gu Deren

(Dept. of Electronic Eng. UEST of China Chengdu 610054)

Abstract Fractal methods open up great prospects for many image processing areas. In this paper fractal image coding and fractal interpolation are studied at first, then an efficient image compression method combining fractal interpolation and fractal image coding is proposed. The shortcoming of the common fractal image compression methods is that it is time-consuming. The new method reduces compression time greatly. The compression result shows that the compression is as high as 76 to 1 while PSNR is 28.7dB. The high compression is very useful for image communication.

Key words fractal; interpolation; image coding; iterative function system

编辑 徐培红