

基于视觉灵敏度分类的IFS自适应图象编码算法

董云朝¹⁾ 陈贺新²⁾

¹⁾(上海交通大学图象通信所, 上海 200030)

²⁾(吉林工业大学信息科学与工程学院计算机视觉实验室, 长春 130025)

摘 要 为了提高IFS自适应图象压缩编码方法对不同图象的适应能力,在按人类视觉对比灵敏度分类的基础上,提出了一种进行分形图象IFS自适应压缩编码的新算法,同时定义了广义置信度的概念,并根据MSE误差曲线的广义置信度,确定了基于二叉树结构的分块分形编码过程中的匹配误差门限。这种自适应门限编码算法不仅克服了传统固定门限IFS编码算法不能很好地适应不同复杂程度输入图象的缺点,而且还提高了编码的效率。实验结果证明,此算法不仅可以自动地适应不同的输入图象,而且解码图象的视觉效果良好。

关键词 对比灵敏度 广义置信度 自适应门限

中图法分类号: TN919.81 TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2001)08-0775-05

An Adaptive IFS Encoding Algorithm Based on the Classification According to HVS

DONG Yun-zhao¹⁾, CHEN He-xin²⁾

¹⁾(Institution of Image Communication Shanghai JiaoTong University, Shanghai 200030)

²⁾(Laboratory of Computer Vision College of Information and Science Jilin University of Technology, Changchun 130025)

Abstract The paper presents a new adaptive fractal image IFS encoding algorithm based on classification. The classification is according to the contrast sensitivity of human visual system(HVS). It also gives the concept of generalized creditability (GC) and uses GC of between a certain range block and its domain blocks to determine the matching threshold in quadtree partitioning in partitioned fractal IFS encoding. This adaptive algorithm avoids the problem which is caused by the conventional algorithm based on prefixed threshold: The conventional algorithm can not adapt to input images with different complexity. The adaptive algorithm takes good advantage of the statistical characteristics in them, and calculates the threshold according to the variance of the input range block. In this way, the adaptive algorithm improves the encoding efficiency and makes the IFS image encoding more practical. Experimental results show that this new algorithm can adapt to different input images automatically while the decoded images are still satisfying. It also compares the adaptive algorithm with the conventional fixed threshold algorithm.

Keywords Contrast sensitivity, Generalized creditability(GC), Adaptive threshold

0 引 言

计算机网络的发展和应用是目前人们关注的一个热点,而图象通信又是网络通信中的一项重要内容。利用图象可以更直观、更生动地表达信息,但是

由于未压缩的数字图象要占用大量的空间,这就给图象的存储和传输都带来了不便,同时也使对图象压缩的需要显得更为迫切了。

在图象中含有大量的冗余信息,如空间上的数据冗余、信息熵冗余,以及由人类视觉灵敏度的非均匀性和非线性造成的视觉冗余等。图象压缩就是要

基金项目:机械工业部跨世纪优秀人才培养基金资助项目(97250402)

收稿日期:1999-11-29;改回日期:2000-11-21

尽可能地消除这些冗余信息,以使图象数据变得更简单,但图象压缩应该在保证一定的解码图象质量的基础上进行.

众所周知,由于人类视觉系统对图象场的注意力是非均匀的和非线性的,因此就可以利用这种非均匀性和非线性来进行图象信息的压缩.

目前,图象压缩已有很多方法,如矢量量化、预测编码、小波变换等,其中分形图象 IFS 编码方法由于具有解码图象质量高、压缩比大等特点,而受到广泛关注^[1-4],但是传统的四叉树分块分形图象压缩中,由于使用了固定的匹配误差门限,使得原图象中的统计信息不能得到很好地利用,编码过程不能适应不同复杂程度的输入图象,这就限制了 IFS 编码方法在实际中的应用.

针对上述固定门限四叉树分块分形图象压缩编码算法的缺点,利用人类视觉系统的特性,提出了基于广义置信度统计的自适应门限编码算法,并将对人类视觉特性的利用分为两个方面:(1)利用人类视觉系统对比灵敏度的非均匀性和非线性进行排列块分类,然后对平坦的排列块只记录其灰度平均值,而对其余的排列块进行分形 IFS 编码;(2)利用人类视觉系统对不同频率噪声信号的敏感程度不同的特点,并根据排列块与区域块的 MSE 误差曲线的广义置信度,来确定不同方差的排列块与区域块的匹配门限,从而达到自适应压缩的目的.

1 对排列块分类

在不同照度背景下,眼睛所能分辨出的照度差是不同的.设在均匀照度背景 I 上有一照度为的 $I + \Delta I$ 的光斑(如图 1 所示),则眼睛刚能分辨出的照度差 ΔI 是 I 的函数.当背景照 I 度增大时,能够分辨出光斑的 ΔI 也需要增大,且在相当宽的强度范围内, $\Delta I/I$ 的数值为一常数,约等于 0.02,这个比值称为 Weber 比.但当亮度很强或很弱时,这个比值就不再保持为常数^[5].

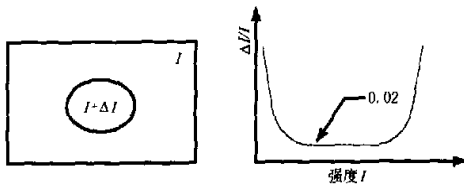


图 1 人类视觉的对比灵敏度

在分块分形 IFS 图象压缩中,将排列块的平均灰度看做背景照度,而将各个象素的灰度与平均灰度的均方差看做是 ΔI . 利用上述思想将排列块分为平坦块和非平坦块两类.设排列块的均值为 \bar{r} , 方差为 σ_r^2 , 分类规则可表示为

$$\begin{cases} \sigma_r^2 < (0.02\bar{r})^2 & \text{排列块为平坦块} \\ \sigma_r^2 \geq (0.02\bar{r})^2 & \text{排列块为非平坦块} \end{cases} \quad (1)$$

2 自适应门限的确定

在分块分形 IFS 图象压缩中,首先将输入图象分成互不重叠的排列块和可以相互重叠,且尺寸比排列块大一倍的区域块,然后按照 4 邻域平均法将区域块收缩至排列块大小,来完成区域块与排列块尺寸上的匹配;对收缩后的区域块实施诸如反射、旋转等仿射变换,使区域块与排列块在方向上进行匹配;最后对经过以上变换的区域块进行如下的线性变换

$$r'_i = s \cdot d_i + t \quad (2)$$

并按照使变换后区域块与排列块的 MSE 误差最小的原则,来确定变换系数 s 和 t .

$$MSE = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} [r_i - (s \cdot d_i + t)]^2}{N} \quad (3)$$

式中, d_i 为经收缩和仿射变换后的区域块中第 i 个象素的灰度值, r'_i 为 d_i 经线性变换后的结果, r_i 为排列块中第 i 个象素的灰度值, s 和 t 分别为灰度变换因子和亮度偏移因子, N 为排列块中象素的数目.

为使式(3)最小, s 和 t 应满足如下条件:

$$s = \frac{N \cdot \sum_{i=0}^{N-1} (r_i \cdot d_i) - \sum_{i=0}^{N-1} r_i \cdot \sum_{i=0}^{N-1} d_i}{N \cdot \sum_{i=0}^{N-1} (d_i)^2 - \left(\sum_{i=0}^{N-1} d_i \right)^2} \quad (4)$$

$$t = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} r_i - s \cdot \sum_{i=0}^{N-1} d_i}{N} \quad (5)$$

此时,排列块与区域块的 MSE 误差为

$$\begin{aligned} MSE &= \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (r_i - \bar{r})^2 - \frac{\left[\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (r_i - \bar{r})(d_i - \bar{d}) \right]^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (d_i - \bar{d})^2} \\ &= \sigma_r^2 - \frac{cov^2(r, d)}{\sigma_d^2} \end{aligned} \quad (6)$$

其中, \bar{r} 和 \bar{d} 分别为排列块和区域块的灰度均值; σ_r^2 和 σ_d^2 分别为排列块和区域块的灰度方差; $cov(r, d)$ 为排列块和区域块之间的协方差. 这里将 $cov(r, d)/\sigma_d$ 定义为排列块与区域块的相对协方差, 记作 $cov_R(r, d)$, 则式(6)变为

$$MSE = \sigma_r^2 - cov_R^2(r, d) \quad (7)$$

从式(7)可见, 对给定的排列块, 它与区域块的 MSE 是它们之间相对协方差的二次函数, 如图 2 所示.

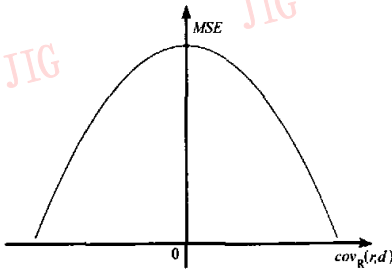


图 2 MSE 随 $cov_R^2(r, d)$ 变化的曲线

在实际编码过程中, 因为 $cov_R(r, d)$ 仅在区间 $[-\sigma_r, \sigma_r]$ 内变化, 所以 MSE 曲线在横轴上的积分是有界的. 利用这一特点可以定义 $cov_R(r, d)$ 的广义置信度.

置信度是统计学上常用的概念, 其实质是图 3 中阴影部分的面积占概率曲线在横轴上的总面积的比例, 即

$$\frac{\int_{-x_{\frac{\alpha}{2}}}^{x_{\frac{\alpha}{2}}} p(x) dx}{\int_{-\infty}^{+\infty} p(x) dx} = \int_{-x_{\frac{\alpha}{2}}}^{x_{\frac{\alpha}{2}}} p(x) dx = 1 - \alpha \quad (8)$$

将置信度的概念加以推广, 得到满足一定条件的函数 $f(x)$ 在某一区间内的广义置信度.

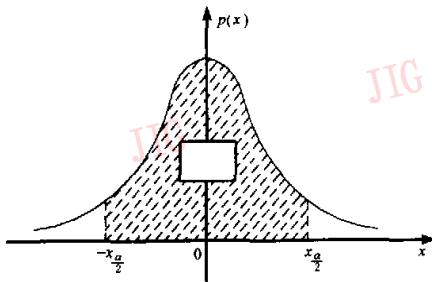


图 3 x 的 $1-\alpha$ 置信度

定义 1 若函数 $f(x)$, 定义域为 $x \in [x_{\min}, x_{\max}]$, 满足下式

$$\int_{x_{\min}}^{x_{\max}} f(x) dx \leq M \quad M \in R \quad (9)$$

即 $f(x)$ 在其定义域内的积分有界, 则 x 位于区间 $[x_1, x_2] (x_1, x_2 \in [x_{\min}, x_{\max}], x_1 < x_2)$ 的 $1-\alpha (\alpha < 1)$ 广义置信度(GC)定义为

$$\frac{\int_{x_1}^{x_2} f(x) dx}{\int_{x_{\min}}^{x_{\max}} f(x) dx} = 1 - \alpha \quad (10)$$

即当 $f(x)$ 在其定义域内某一区间 $[x_1, x_2]$ 的积分占其在整个定义域内积分的比为 $1-\alpha$ 时, 则该区间称为 $f(x)$ 的 $1-\alpha$ 广义置信区间, 而 $1-\alpha$ 称为 $f(x)$ 的广义置信度.

在式(9)中, 对 $f(x)$ 的取值没有限制, M 值可以不为 1, 这样就放宽了传统置信度概念的约束条件, 从这个意义上说, 式(10)定义的 $1-\alpha$ 置信度为广义的.

在图象编码过程中, 因为排列块与区域块的匹配误差(式(7)中的 MSE)是大于等于零的, 且式(7)也只在 $[-\sigma_r, \sigma_r]$ 内有意义, 所以 MSE 的定义域为 $[-\sigma_r, \sigma_r]$, 且 MSE 在其定义域内的积分有界, 即 MSE 满足定义 1 中规定的条件. 根据定义 1, 可得 $cov_R(r, d)$ 在区间 $(-x_{\frac{\alpha}{2}}, x_{\frac{\alpha}{2}})$ 的 $1-\alpha$ 广义置信度为

$$\frac{\int_{-x_{\frac{\alpha}{2}}}^{x_{\frac{\alpha}{2}}} [\sigma_r^2 - cov_R^2(r, d)] dcov_R(r, d)}{\int_{-\sigma_r}^{\sigma_r} [\sigma_r^2 - cov_R^2(r, d)] dcov_R(r, d)} = 1 - \alpha \quad (11)$$

根据式(11)可得

$$x_{\frac{\alpha}{2}}^3 - 3\sigma_r^2 x_{\frac{\alpha}{2}} + 2(1 - \alpha)\sigma_r^2 = 0 \quad (12)$$

方程(12)的 3 个根为

$$\begin{cases} x_j = 2\sigma_r \cos \left[\theta + (j-1) \frac{2}{3} \pi \right] \\ \theta = \frac{1}{3} \arccos [-(1-\alpha)] \end{cases} \quad j=1, 2, 3 \quad (13)$$

其中, 只有一个根在区间 $[-\sigma_r, \sigma_r]$ 内, 若将这个根记作 x^* , 则可得此时的均方误差 MSE^* 为

$$MSE^* = \sigma_r^2 - (x^*)^2 = \sigma_r^2 \left\{ 1 - 4\cos^2 \left[\theta + (j-1) \frac{2}{3} \pi \right] \right\} = k\sigma_r^2 \quad (14)$$

式中, $k = 1 - 4\cos^2 \left[\theta + (j-1) \frac{2}{3} \pi \right]$, 其由广义置信度水平 $1-\alpha$ 确定.

采用式(14)确定的自适应门限对输入图象进行编码. 显然, 该门限与排列块的方差成正比, 即排列块的方差大, 则门限高, 反之, 则门限低. 实验结果证明,

人类视觉系统对不同频率噪声的敏感程度是不同的,其中对高频噪声不如对低频噪声敏感,另外,由于排列块的方差在某种程度上表示了它的复杂程度,即方差大的排列块,高频信息多,而方差小的排列块,低频信息多,因此对方差大的排列块在编码时,可以设置较高的门限,这样即使恢复的图象块噪声稍高,也不会引起视觉上的敏感;而对方差小的排列块则应设置较低的门限进行编码,以保证恢复图象块的视觉效果。从这个意义上说,由式(14)确定的自适应门限是与人类视觉系统的敏感特征相符合的。

3 仿真实验

对两幅 256×256 大小的 Girl 和 Bridge 测试图象进行编码实验,实验中,首先根据式(1)对排列块

进行分类;然后对平坦块只记录其灰度均值,而对非平坦块,则按式(14)确定的自适应门限进行匹配搜索和 IFS 编码。分类自适应门限与分类固定门限编码方法的编码比较结果如图 4 所示。表 1 为在不同的广义置信度下,分别用分类自适应编码算法和不同固定门限下分类固定门限编码算法进行压缩编裸澳结果。

表 1 不同广义置信度下分类自适应压缩算法的结果

Girl			Bridge		
自适应门限 (不同置信度)	固定门限		自适应门限 (不同置信度)	固定门限	
0.95 0.96 0.98	4	8	0.95 0.96 0.98	4	8
信噪比	34.92	35.81 37.80	33.52	28.55	25.34 25.86 27.62 27.43 26.95
压缩比	5.39	5.24 4.98	6.07	8.24	4.99 4.87 4.78 4.76 5.07



图 4 用自适应算法与固定门限算法对 Girl(上)和 Bridge(下)进行压缩编码实验结果的比较

由图 4(a)可见,Girl 图象和 Bridge 图象是两幅复杂程度差别很大的图象,其中 Girl 图象上细节成分少,平坦区域大,低频信息多,画面比较简单;而 Bridge 图象则细节丰富,基本上没有平坦区域,且高频信息多,画面复杂。此时如果采用相同的门限进行编码就会发生矛盾,即低门限编码会影响 Bridge 图象的压缩效率,而高门限编码又会影响 Girl 图象的解码质量。采用自适应门限的编码方法则很好地解决了这一问题,因为每一个排列块的匹配门限的确定都是根据它的方差计算出来的,这可使分块过程与排列块的统计特性相适应,所以该算法对输入图

象的适应能力提高了。

4 结论

本文针对传统的基于二叉树结构的固定门限分块分形 IFS 图象压缩编码算法不能适应不同的输入图象这一缺点,提出了可以自适应地调节排列块与区域块的匹配门限新算法。这种分类自适应编码算法不仅可以自动适应不同的输入图象,即可以提高分块分形编码方法的适应能力,而且能够推动 IFS 编码方法向着实用化的方向发展。

参 考 文 献

- 1 秦峰,吴征,周峰等. 分区 IFS 图象压缩编码. 通信学报,1997,18(5):1~7.
- 2 Jacquin A E. Fractal image coding based on theory of iterated contractive image transformations. SPIE Visual Commun. Image Process,1990,1360:227~239.
- 3 吴建华,周卫星,朱俊炎. 基于树搜索的分形图象压缩编码. 通信学报,1997,18(10):60~65.
- 4 Sze Chwen-Jye, Mark Liao Hong-Yuan, Fan Kuo-Chin *et al.* Fractal image coding system based on an adaptive side-coupling quadtree structure. Image and Vision Computing,1996,14(6):401~415.
- 5 荆仁杰,叶秀清,徐胜荣等. 计算机图象处理. 浙江:浙江大学出版社,1990:44~45.



董云朝 1971年生,2000年获吉林工业大学信息与科学学院通信电子系统专业博士学位,研究兴趣为分形图象压缩、小波变换和多分辨率图象处理.

陈贺新 教授,博士生导师,1982年,1985年,1989年先后获吉林工业大学信息科学与工程学院工学学士,工学硕士,工学博士学位,研究兴趣包括图象处理,多分辨率分析和人工神经网络.