

# 改进的广义置信度自适应 IFS 图象压缩编码算法

董云朝<sup>1</sup> 陈贺新<sup>2</sup> 余松煜<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(上海交通大学图象与通信研究所, 上海 200030)

<sup>2</sup>(吉林大学信息科学与工程学院, 长春 130025)

**摘要** 通过对分块 IFS 图象压缩编码过程中匹配误差的分析, 提出了广义置信度的概念, 并据此提出了对输入图象进行四叉树分块的自适应匹配门限(AT)算法, 根据排列块的相对复杂程度, 修正了自适应匹配门限的公式, 提出了改进的自适应门限(RAT)IFS 图象压缩编码算法. 在对输入图象进行四叉树分块编码过程中, 该方法可以根据当前排列块的统计特征确定匹配门限, 从而使分块编码过程自动地适应输入图象. 实验结果表明, 这种新的编码方法可以自适应地对输入图象进行编码, 且压缩比较高, 有一定的实用性.

**关键词** 图象压缩 迭代函数系统(IFS) 广义置信度 自适应门限(AT) 改进的自适应门限(RAT)

**中图分类号**: TN919.8 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2001)12-1175-05

## Revised Adaptive Threshold IFS Image Compression Based on Generalized Creditability

DONG Yun-zhao<sup>1</sup>, CHEN He-xin<sup>2</sup>, YU Song-yu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Image and Communication Shanghai JiaoTong University, Shanghai 200030

<sup>2</sup>College of Information Science and Engineering Jilin University, Changchun 130025

**Abstract** In this paper, the MSE in IFS image compression is analyzed. The concept of generalized creditability is presented. Based on that, the algorithm of the adaptive threshold(AT) IFS image compression using quadrature-partitioning structure is proposed. To improve the compression ratio of the AT algorithm while still keeping the visual performance of decoded image, the formula of the adaptive threshold is revised according to the relative complexity of each range block, which forms the revised adaptive threshold (RAT) algorithm. The methods proposed in this paper set the threshold of current range block according to its statistics character, that is, variability. Therefore, the encoding process is adaptive to the complexity of the input image. Experiments results of algorithms based on AT, RAT and fixed threshold are given in this paper as comparison. The results show that RAT algorithm can compress the input image adaptively and the compression efficiency is improved considerably. Also time consumption of each algorithm is discussed at the end of this paper.

**Keywords** Image compression, Iterated function system(IFS), Generalized creditability, Adaptive threshold(AT), Revised adaptive threshold(RAT)

## 0 概述

IFS(迭代函数系统)图象压缩是近几年兴起的一种新的图象压缩编码方法, 该方法利用输入图象

不同部分之间的相似性去除冗余, 从而达到图象压缩的目的<sup>[1,2]</sup>. 分形图象压缩具有高压缩比潜力, 特别适合自相似程度高的自然景物图象的压缩, 且解码图象的质量较高. 但是现实世界的图象, 由于其自相似程度较低, 因此通常将其分成小块, 以提高图象

基金项目: 原机械工业部跨世纪优秀人才资助项目(97250402)

收稿日期: 2000-04-30; 改回日期: 2001-03-05

各部分的自相似程度,再分别进行IFS编码。

在IFS图象编码系统中,首先将输入图象分为正方形的排列块和区域块,其中排列块不能互相重叠,且全部排列块要能够覆盖整幅图象,区域块的尺寸比排列块大一倍,且可以互相重叠,然后将区域块收缩至排列块大小,并对其进行旋转、反射、平移等仿射变换,调整其中的象素灰度分布,使之适应排列块中的灰度分布,最后,对区域块中的象素进行下式所示的线性灰度变换

$$r'_m = o \cdot d_m + p \tag{1}$$

其中,  $d_m$  为区域块  $D_m$  经收缩和仿射变换后的第  $i$  个象素的灰度值,  $r'_m$  为区域块  $D_m$  经灰度变换后的第  $i$  个象素的灰度值,  $o$  为对比度因子,  $p$  为灰度偏移因子。变换后区域块与排列块的 MSE 误差为

$$MSE(R_m, D_m) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} (r_m - r'_m)^2}{N} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} [r_m - (o \cdot d_m + p)]^2}{N} \tag{2}$$

其中,  $N$  为排列块中象素的数量,  $r_m$  为排列块  $R_m$  中第  $i$  个象素的灰度值。

为使式(2)达到最小,  $o$  和  $p$  应满足如下关系

$$o = \frac{N \cdot \sum_{i=0}^{N-1} (r_m \cdot d_m) - \sum_{i=0}^{N-1} r_m \sum_{i=0}^{N-1} d_m}{N \cdot \sum_{i=0}^{N-1} (d_m)^2 - \{ \sum_{i=0}^{N-1} d_m \}^2} \tag{3}$$

$$p = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} r_m - o \cdot \sum_{i=0}^{N-1} d_m}{N} \tag{4}$$

在对某一尺寸的排列块进行匹配搜索时,如果某一区域块与排列块的误差小于误差门限,则认为排列块与区域块匹配,记录区域块的位置、仿射变换序号及灰度变换系数等IFS参数,量化后作为对该排列块的IFS编码,如果某一排列块与所有区域块的MSE误差都大于误差门限,则将其细分为4个子排列块,再按照上面的步骤对其重新编码<sup>[3,6]</sup>。

在以往的分块IFS图象编码中,误差门限是事先确定的,与各排列块的统计特征无关,这就使得编码过程无法适应不同的输入排列块,降低了IFS图象编码算法的对输入图象的适应能力,针对这一缺点,通过深入分析排列块与区域块的MSE误差公式,提出了广义置信度的概念,据此又提出了根据排

列块的方差确定其与区域块的MSE误差门限的自适应算法,并对该自适应算法进行了改进。

### 1 基于广义置信度的自适应门限的IFS压缩算法

#### 1.1 相对协方差及其与MSE(R<sub>m</sub>, D<sub>m</sub>)的关系

根据式(3)和(4),式(2)可写为

$$MSE(R_m, D_m) = \sigma_{R_m}^2 - \frac{cov^2(R_m, D_m)}{\sigma_{D_m}^2} \tag{5}$$

其中,  $\sigma_{R_m}^2$  为排列块的方差,  $\sigma_{D_m}^2$  为区域块的方差,  $cov(R_m, D_m)$  为排列块与区域块的协方差。

定义  $\frac{cov(R_m, D_m)}{\sigma_{D_m}}$  为排列块与区域块的相对协方差,记作  $cov_R(R_m, D_m)$ 。对一给定排列块,  $\sigma_{R_m}^2$  是常量,所以  $MSE(R_m, D_m)$  仅随  $cov_R(R_m, D_m)$  变化,它是  $cov_R(R_m, D_m)$  的二次函数,即

$$MSE(R_m, D_m) = \sigma_{R_m}^2 - cov_R^2(R_m, D_m) \tag{6}$$

图1为排列块  $R_m$  的  $MSE(R_m, D_m)$  曲线。

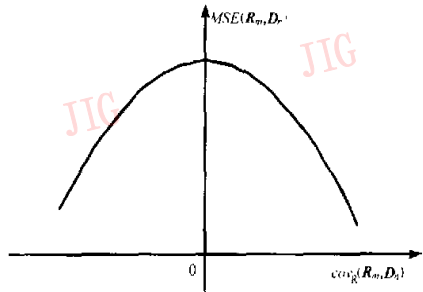


图1 排列块  $R_m$  的  $MSE(R_m, D_m)$  曲线

#### 1.2 广义置信度及其在图象压缩编码中的应用

置信度是统计学中广泛使用的概念,它表明了随机变量的取值处于某一区间的概率。如果随机变量  $x$  的概率密度为  $p(x)$ ,则  $x \in [-x_{\alpha/2}, x_{\alpha/2}]$  ( $\alpha < 1$ ) 的概率为  $(1-\alpha)$ ,  $(1-\alpha)$  叫做  $x$  的置信水平,写作

$$\int_{-x_{\alpha/2}}^{x_{\alpha/2}} p(x) = 1 - \alpha \tag{7}$$

因为  $p(x)$  在  $(-\infty, +\infty)$  上的积分为1,所以式(7)还可以写成

$$\int_{-x_{\alpha/2}}^{x_{\alpha/2}} p(x) = (1-\alpha) \int_{-\infty}^{+\infty} p(x) \tag{8}$$

由此可将置信度理解为图2中阴影部分的面积占  $p(x)$  与  $x$  轴所围面积的比例。

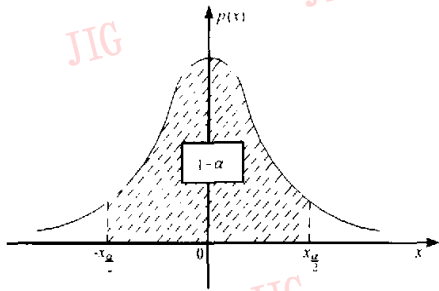


图 2  $p(x)$  的  $1-\alpha$  置信度

基于这一思想,本文定义了广义置信度.

**定义 1** 如果函数  $f(x), x \in [x_{\min}, x_{\max}]$ , 满足

$$f(x) = f(2x_0 - x) \quad (9)$$

其中,  $x_0 = \frac{x_{\min} + x_{\max}}{2}$  且  $M \in \mathbf{R}$ , 则  $x$  处于区间  $(2x_0 - x_0, x_0)$  ( $x_0 > x_0$ ,  $\alpha < 1$ ) 内的  $1-\alpha$  广义置信度(GC)定义为

$$\int_{2x_0 - x_0}^{x_0} f(x) dx = (1-\alpha) \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} f(x) dx \quad (10)$$

上述广义置信度的定义中未对  $f(x)$  的取值做限制,  $f(x)$  的值可以在  $[0, 1]$  之外, 且  $f(x)$  在其定义域内的积分只要有界即可, 而并不一定为 1. 广义置信度将传统置信度的约束条件放宽了, 从这个意义上, 认为该置信度的概念是广义的.

因为排列块与区域块的匹配误差  $MSE(R_m, D_n)$  是大于 0 的,  $cov_R(R_m, D_n)$  的取值范围为  $[-\sigma_{R_m}, \sigma_{R_m}]$ , 所以  $MSE(R_m, D_n)$  在其定义域内的积分是有界的, 根据定义 1 可得  $MSE(R_m, D_n)$  的广义置信度为

$$\begin{aligned} & \int_{-\sigma_{R_m}}^{\sigma_{R_m}} MSE(R_m, D_n) dcov_R(R_m, D_n) \\ &= (1-\alpha) \int_{-\sigma_{R_m}}^{\sigma_{R_m}} MSE(R_m, D_n) dcov_R(R_m, D_n) \\ &= \frac{4}{3} (1-\alpha) \sigma_{R_m}^3 \end{aligned} \quad (11)$$

根据式(11), 可得

$$x_0^3 - 3\sigma_{R_m}^2 x_0 - 2(1-\alpha)\sigma_{R_m}^3 = 0 \quad (12)$$

方程(12)的 3 个根为

$$\begin{aligned} x_j &= 2\sigma_{R_m} \cos[\theta + (j-1)120^\circ] \\ \theta &= \frac{1}{3} \arccos[-(1-\alpha)] \quad j=1, 2, 3 \end{aligned} \quad (13)$$

其中只有一个根满足  $|x_j| < \sigma_{R_m}, j \in \{1, 2, 3\}$ . 所以  $MSE(R_m, D_n)$  为

$$\begin{aligned} MSE(R_m, D_n) \Big|_{cov_R(R_m, D_n)=x_j} &= \\ \sigma_{R_m}^2 \{1 - 4\cos^2[\theta + (j-1)120^\circ]\} &= k\sigma_{R_m}^2 \end{aligned} \quad (14)$$

式中,  $k = 1 - 4\cos^2[\theta + (j-1)120^\circ]$ , 称为门限系数.

$$\begin{aligned} \text{令 } bias_m &= MSE(R_m, D_n) \Big|_{cov_R(R_m, D_n)=x_j}, \text{ 则} \\ bias_m &= k\sigma_{R_m}^2 \end{aligned} \quad (15)$$

可见排列块  $R_m$  的匹配误差门限与其方差  $\sigma_{R_m}^2$  成正比. 排列块的方差在一定程度上表征了它的复杂程度. 方差越大, 排列块越复杂, 高频成份越多, 也就可以设置更高的门限, 以提高压缩比; 方差越小, 排列块中的低频成份越多, 门限只能设得低一些, 以保证恢复图象的视觉效果.

## 2 改进的自适应门限(RAT)算法

研究中发现, 在上述的自适应门限编码算法中, 当置信度水平较高时, 解码图象的质量好, 但过高的置信度水平降低了门限系数  $k$ , 导致某些小方差排列块的门限过低, 使压缩比下降. 为此, 在式(15)的基础上引入排列块的相对复杂度作为门限修正系数, 使当排列块的方差小时, 该修正系数大一些, 以适当提高门限; 当排列块方差大时, 该修正系数小一些, 以确保恢复图象的质量. 这里排列块的相对复杂度形式如下

$$\mu = \sqrt{\sigma_{R_{\max}}^2 / \sigma_{R_m}^2} \quad (16)$$

其中,  $\sigma_{R_{\max}}^2$  为输入图象中排列块方差的最大值. 引入相对复杂度的自适应门限计算公式为

$$bias_m = \mu \cdot k\sigma_{R_m}^2 \quad (17)$$

## 3 实验

用两幅  $256 \times 256$  大小的 Lena 图象和 Bridge 图象进行压缩实验. 图 3(a)和图 4(a)为 Lena 和 Bridge 的原图. 文中比较了固定门限四叉树分块、AT 算法和 RAT 算法的压缩结果, 并采用了两级四叉树结构, 排列块的尺寸分别为 2 和 8. 在 AT 算法和 RAT 算法中,  $MSE(R_m, D_n)$  的广义置信度分别为  $\{0.99, 0.9925, 0.998\}$ . 图 3(b)和图 4(b)为固定门限为 8 时的恢复图象; 图 3(c)和图 4(c)分别为当广义置信度为 0.998 时, AT 算法的恢复图象; 图 3(d)和图 4(d)分别为在同一广

义置信度下的 RAT 算法恢复图象。

表 1 给出了 AT 算法、RAT 算法和固定门限算法的结果比较。本文以压缩比和信噪比来表示压缩效果。从表 1 可见,与固定门限算法相比,AT 算法

和 RAT 算法都可以很好地适应不同复杂程度的输入图象。与 AT 算法相比,RAT 算法在信噪比只有少许下降的情况下,压缩比显著提高,对 Lena 图象,压缩比甚至提高了一倍以上。

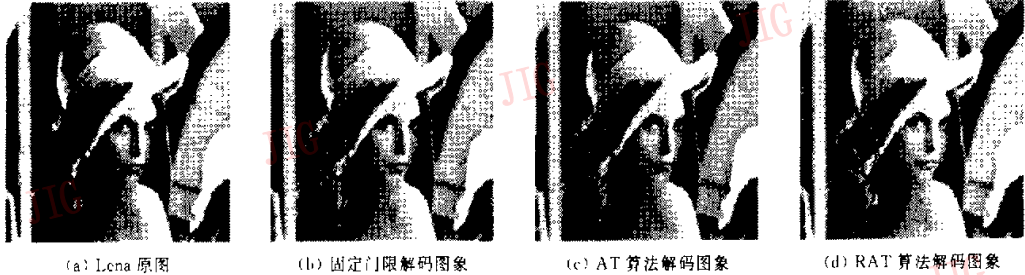


图 3 Lena 原图及解码图象

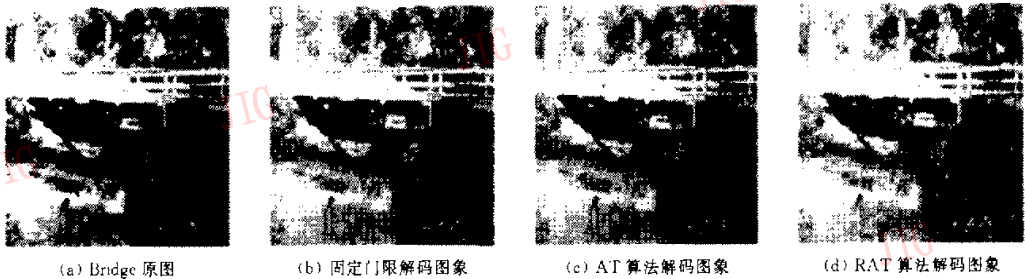


图 4 Bridge 原图及解码图象

表 1 固定门限算法与 AT 算法和 RAT 算法编码效果的比较

	广义置信度				固定门限算法				
	0.39		0.9925		0.998		2 8		
	AT	RAT	AT	RAT	AT	RAT	AT	RAT	
Lena	信噪比	29.3	28.9	29.7	29.1	32.2	31.5	34.29	29.37
	压缩比	6.31	13.5	6.12	12.8	5.44	11.6	5.13	6.36
Bridge	信噪比	26.1	25.8	26.3	26.1	26.9	26.7	27.32	26.96
	压缩比	5.19	5.85	5.19	5.72	4.91	5.68	4.92	5.24

由于在分块分形图象编码过程中需要进行大量重复的迭代运算,所以处理时间较长。分形图象的编码时间与图象的复杂程度及采用的算法是紧密相关的。实验过程中各算法所用时间列于表 2 中。从表 2 的数据可见,由于 Lena 图象比 Bridge 图象简单,所以有较多排列块按块编码,不必细分。编码时间较短;用 RAT 算法修正门限后,使更多的 8×8 排列块可以直接编码,所以对同一幅图象来讲,RAT 算法比 AT 算法快,但是因为 RAT 算法中需要额外的时间计算每一个排列块的匹配误差门限,所以 RAT 算法并不比以 8 为门限的固定门限算法快。实

验数据是在 Intel MMX/200 微机上用 C 语言编程计算得到的。

表 2 固定门限算法与 AT 算法和 RAT 算法编码时间的比较

输入图象	AT 算法 (0.998)	RAT 算法 (0.998)	固定门限算法 (8)
Lena	1.5	0.8	0.7
Bridge	2.1	1.7	1.6

### 4 结 论

在 IFS 图象压缩编码中,门限的设定对编码的效果有很大影响。本文分析了排列块和区域块的 MSE 误差,提出了广义置信度的概念,并在此基础上提出了 AT 算法及其改进算法 RAT。两种算法在一定程度上适应了人类视觉系统对不同频率信号的敏感特性,克服了固定门限四叉树分块不考虑输入图象的统计特性的缺点。AT 算法根据当前排列块的方差确定匹配误差门限,使编码过程适应输入图象的统计特征,提高了算法的适应能力。但是为得到

高质量的解码图象,置信度只能取较高的值,因而降低了压缩比。RAT 算法引入了动态系数来调整自适应门限,在保证算法的自适应能力和相应的解码图象质量的基础上,提高了压缩比,并且解码恢复图象的视觉效果令人满意。

### 参 考 文 献

- 1 Jacquin A E. A novel fractal block coding technique for digital images [A]. In: Proc. Internat. Conf. Acoust. Speech Signal Process [C]. IEEE Signal Processing Society, 1996. 2225 ~ 2228.
- 2 Fisher Yuval. Fractal image compression [J]. Fractals, 1994, 2(3):347~361.
- 3 Sze Chwen-Jye *et al.* Fractal image coding system based on an adaptive side-coupling quadtree structure [J]. Image and Vision Computing, 1996, 11(6):401~415.
- 4 Jackson David J *et al.* Faster fractal image compression using quadtree recomposition [J]. Image and Vision Computing, 1997, 15(16):759~767.
- 5 Lu Guojun, Yew Toonlin. Applications of partitioned iterated function systems in image and video compression [J]. Journal of Visual Communication and Image Representations, 1996, 7(2): 144~154.

- 6 Davoine Franck, Antonini Marc *et al.* Fractal image compression based on delaunay triangulation and vector quantization [J]. IEEE Trans. Image Processing, 1996, 5(2):338~345.



**董云朝** 博士,1971 年生,1994 年,1997 年和 2006 年分别获吉林工业大学(现为吉林大学)信息与科学学院通信电子系统专业学士、硕士和博士学位,现在上海交通大学图象与通信研究所工作,研究兴趣为图象压缩、小波变换、数字电视、视频信号处理、多媒体技术等。

**陈贺新** 教授,现为吉林大学信息科学与工程学院通信与信息工程专业博士生导师,1982 年,1985 年,1989 年分别于吉林工业大学信息科学与工程学院获得工学学士,工学硕士,工学博士学位,研究兴趣包括图象处理、多分辨率数字信号处理和人工神经网络。

**余松煜** 教授,现为上海交通大学电子信息学院图象通信研究所副所长,博士生导师,研究兴趣为图象通信与数字电视、图象处理与多媒体技术。

## 苹果借 iDVD 为多媒体领域增色

2001 年 11 月 15 日,苹果电脑公司在北京昆仑饭店举办了“DVD 合成制作技术研讨会”,这是面向职业制片人、多媒体开发商、广告或营销策划人员、教育家及热衷于学习世界上最先进的视频制作技术的发烧友的一次大型技术展示与交流活动。

会上,苹果电脑公司展示了如何在苹果电脑上制作专业的互动 DVD,苹果公司还特邀国际知名的苹果解决方案专家 Bruce Nazarian 先生到会主讲,向大家展示了如何使用 iDVD 和 DVD Studio Pro,视频、音频、图像甚至网络有机地结合起来而制成一个标准的 DVD。这个 DVD 既可以在普通的 DVD 机上播放,也还可以在具有 DVD 播放功能的电脑上播放,从而使编辑制作自己的 DVD 变得轻而易举,使思想和创意在不经意间得到充分的展示。

据了解,此次 DVD 合成制作技术研讨会是基于苹果公司发布的新软件产品 iDVD2 而举办的,iDVD2 是一种能够让用户在 DVD 的菜单按钮和背景上添加引人注目的动画效果的个人应用软件,它可以让用户在苹果电脑上制作能在普通家用 DVD 播放机播放的 DVD 影片。用户能够利用全新的专业化动画设计和主题设置功能,或按照自己的设计来创建 DVD 菜单。苹果电脑公司举办的此次“DVD 合成制作技术研讨会”为该软件产品更快地走入市场起到了一定的推动作用。

Bruce 先生认为苹果电脑最大的优势和特点在于速度方面、能力方面和应用的灵活性方面,尤其是简而易而强大的 DVD 工具 iDVD2 软件的出现,将多媒体制作的创作、编码、整合、刻录等几个步骤整合在同一操作平台上,从而节省了时间,降低了制作成本。同时 Bruce 还表示:苹果公司在多媒体制作技术领域不断推出相关软件产品及多媒体解决方案使多媒体制作技术更加成熟、更加完善。

此次 DVD 制作研讨会的举办在一定程度上表明苹果公司将会以更加优秀的产品服务于用户。