

# 分形图象编码

何爱军 马争鸣

(中山大学电子系信息处理实验室, 广州 510275)

**摘要** 在收集和阅读了与分形图象编码有关文献的基础上, 对分形图象编码的研究现状和发展前景进行了介绍和评述。

**关键词** 分形几何 图象编码 分形图象编码

## 0 引言

随着计算机科学和数字处理技术的迅速发展, 各种各样的图象编码方法也纷纷出现。分形图象编码方法是近几年来颇受关注的现代图象编码方法之一<sup>[1]</sup>, 有关研究已取得很大进展<sup>[2]</sup>。分形技术开始被引入计算机图形学时, 主要用来模拟自然景观, 其主要数学理论是迭代函数系统 IFS (Iterated Function System)。后来 Barnsley 提出了用 IFS 对整幅图象进行编码的思想, 并预测能有很高的压缩比<sup>[3]</sup>, 从而使图象编码出现一个崭新的领域。但该方法的编码过程中须有人工干预, 在技术上不可行。直到 1989 年, Jacquin 超越全局 IFS 映射的僵化思想, 实现了基于块的自动分形图象编码系统<sup>[4]</sup>, 从而为分形编码开辟了新的天地。

分形图象编码被认为是一种很有潜力的编码方法, 但目前存在编码时间长、实时性差等缺陷, 为进一步提高编码效率, 很多研究工作还有待进一步深入。

## 1 分形编码的特点

基于块的分形编码是一种利用块间自相似性来减少图象冗余度的新型编码技术, 它具有以下特点:

(1) 较高的压缩比 在压缩比方面优于基于

DCT 的 JPEG 编码<sup>[5]</sup>, 对一般图象, 当压缩比在 20 倍以上时, 仍有较好的保真度。对某些自相似性强的图象, 压缩比可达上百倍。

(2) 解码图象的分辨率无关性<sup>[2]</sup> 可按任意高于或低于原编码图象的分辨率来进行解码。当要解码成较高分辨率图象时, 引入的细节会与整个图象大致和谐一致, 从而比象素复制或插值方法得到的图象看起来更自然。这种缩放能力也可以用作图象增强工具。

(3) 解码速度快 分形压缩是一非对称过程, 虽然编码很耗时, 但解码速度快, 因此较适用于一次编码多次解码的应用中。

(4) 编码时间过长 实时性差, 从而阻碍了该方法在实际中的广泛应用。

## 2 分形编码的研究现状

自从 1989 年 Jacquin 提出基于块的分形编码思想后, 很多研究工作都以此为基础在各个方面进行了探索。总的来说, 当前的研究可分为 3 个方向: 基本理论研究, 编码方案的改进, 应用扩展。

### 2.1 基本理论研究

基本理论的研究主要包括 IFS 收敛性、亮度变换的选择及算法的基本思想等等。在分形编码过程

• 受广东省自然科学基金项目 (No. 960033) 资助

收稿日期: 1998-05-09; 收到修改稿日期: 1998-06-30

中通常引入8种对称旋转变换,认为它能产生好的率失真曲线。然而Saupe的实验结果<sup>[6]</sup>显示,仅仅从图象中抽取同样数量的码书块而不使用对称旋转变换,也能得到一样甚至更好的效果,编码复杂度也下降。另外,Popescu<sup>[7]</sup>等采用任意角度的旋转来代替对称旋转变换也使图象的率失真曲线得到改善。Jacquin<sup>[4]</sup>等认为,要保证解码时收敛,收缩因子 $\alpha$ 的绝对值必须小于1。但Jacobs等研究发现 $\alpha$ 的绝对值不小于1也能收敛于一稳定图象<sup>[8]</sup>,且提出了最后收敛、部分收敛的概念<sup>[8,9]</sup>。为改善解码的收敛性,Phien等提出了一种改进的拼贴定理<sup>[10]</sup>。

## 2.2 分形图象编码方案的改进

对于分形图象编码方案的改进,当前的研究工作主要集中在图象分割、分类、搜索算法、与其他编码方法相结合及快速解码算法等方面。

### 2.2.1 图象分割

图象的分割对整个压缩结果有较大影响。当前有许多分割方法,概括起来可分为分层分割(hierarchical partitioning)和分合分割(split-and-merge)两大类。

(1)分层分割:四分树分割<sup>[11]</sup>是指对于一给定的图象块,如果没有找到满足误差要求的相似块与之匹配,则该图象块等分成4个子块,反复如此匹配、划分,直到图象块尺寸达到了预先设定的图象块最小尺寸为止。这种分割由匹配计算结果来决定,且产生了不同尺寸的图象块,从而使分割具有了“自适应性”。

HV分割法(Horizontal-Vertical Partition)<sup>[12]</sup>则是将图象分割成矩形块,对于一给定的矩形图象块,如果找不到满足误差要求的相似块与之匹配,则图象块按垂直或水平方向切分成两个矩形块。由于产生了不同形状的图象块,“使得编码很耗时,但率失真比四分树方法有所改善”。与HV分割法相似,Reusens提出了另外还包含和方向切分的多边形分割<sup>[13]</sup>,“使分割更具自适应性,但计算更复杂”。

(2)分合分割: Davoine<sup>[14]</sup>提出使用德朗奈三角测度作为分割准则,把块分成三角形,其好处是“对边缘没有约束”。另外, Saupe认为也可在分割时采用进化计算(Evolutionary computation),对每个图象块,把最佳的 $d$ 个码书块连同相应最佳的收缩系数 $\alpha$ 偏移量 $o$ 保存在链表中,然后把这种配置的 $N$ 倍作为进化的初始人口(Population),通过随机合并两相邻块构成后代,从中选择最佳配置构成下一代,

Saupe认为该方法能得到比四分树分割更好的率失真曲线<sup>[15]</sup>。

### 2.2.2 块分类

块分类可加快编码速度。Jacquin根据视觉几何特性,把相似块分成三类:shade块、edge块、midrange块<sup>[4]</sup>。Boss和Fisher等人提出一种更精细的根据亮度及亮度变化来分类的方法<sup>[17]</sup>,把图象块或相似块等分成四子块,并分别计算每子块的象素亮度平均值和相应的亮度方差值。根据亮度平均值的分布情况将块分为3大类,在此基础上,再按方差值的24种排列分成24类。这样,就把所有的图象块、相似块分成了72类。这种分类方法“效率很高,但当在某类的搜索中得不到匹配时,它不能扩展到相邻类中搜索”。后来,Caso用方差矢量方法解决了这个问题<sup>[18]</sup>。Boss和Jacobs提出了通过对训练图象进行经验学习而给类定义优先级的原型分类法<sup>[19]</sup>,使用原型分类法,“能较快地获得比传统方法更好的图象保真度”。

### 2.2.3 搜索算法

分形编码由于在寻找最佳匹配块时需要大量计算而使编码时间过长,为减少计算量,可采用不搜索或局部搜索,Monro和Dudbridge<sup>[20]</sup>把包含图象块的某一特定相似块预先作为该图象块的匹配块,Hurtgen和Stiller<sup>[21]</sup>把搜索范围限制于图象块附近区域,NguyenThao<sup>[22]</sup>采用不带对称变换的局部搜索,把匹配限于图象块附近区域。不搜索或局部搜索方法“能加快搜索,但图形质量有较大的损耗”。

多分辨率方法<sup>[23,24]</sup>也是一种较新的方法,它把图象象素灰度值按金字塔形排列,第 $k$ 层分辨率的相似块由第 $k+1$ 层分辨率的4个相似块合并后亚抽样得到。搜索首先从较低分辨率的相似块开始,然后再在较高分辨率的相似块中进行,“对于一个含有 $N$ 个相似块的图象,采用多分辨率方法的搜索时间为 $O(N\log N)$ ,而全搜索则须 $O(N^2)$ ”。

快速卷积法<sup>[25,26]</sup>则利用码书块的相关性,整个编码的计算包括两个循环,主要是计算卷积。

群聚法<sup>[27]</sup>先用训练图象计算出群中心,然后把图象块和相似块组织在群中心周围。编码时首先把图象块的特征矢量映射到最近的群中心,然后图象块只跟那些特征矢量在群中心周围的码书块进行比较。

不变特征法<sup>[28]</sup>根据块的象素灰度值分布,把其特征矢量的各分量定义成矩不变,这样每一相似块只用一个特征矢量就能充分表示。该方法“能使矢量

维数减少、特征矢量树大大简化,有利于提高搜索效率”。但是,这种方法“没有相应的理论支持”。

树结构方法把码书块以二叉树方式组织,对给定的图象块,把它与二叉树上的节点进行比较。在文献[29,30]中,*Saupe*为每个相似块设计一个 $d$ 维特征矢量,并且把所有的 $d$ 维特征矢量组织成 $k$ 级二叉树结构即 $kd$ 树,在 $kd$ 树中再按最小均方标准进行最近邻域搜索,从而“使搜索时间成对数级减少”。

#### 2.2.4 与其他编码方法相结合

分形图象编码存在编码时间过长、图象细节易受损失等缺陷。为了改善编码质量,加快编码速度,可以把分形与其它编码方法相结合。*Barthel*集分形与变换编码于一体,提出了FTC方案(Fractal based Transform Coding)<sup>[31]</sup>;图象块频谱的主要部分用分形变换来近似,其它不能用分形近似的频谱系数就分别单独用变换编码来编码。*Barthel*认为FTC方案效果好于单独的分形编码和TC(Transform Coding)方案,特别是和分形编码相比,信噪比得到很大的提高,且在相同的误码率下,用FTC编码的主观图象质量好于TC编码,方块效应较小,图象边缘得到较好的保护。在文献[32]中,*Y. Zhao*和*B. Yuan*用DCT把图象块、相似块变换到频域,用分形方法对每图象块进行初次编码,然后再用DCT对图象块与分形近似块的误差值进行第二次编码。这样一来,“用DCT保留住了图象细节,使得在较高压缩比下仍有很高的保真度”。另外,将分形与矢量量化VQ结合也能产生一定的效果,利用文献[33]的方法设计一套固定的群中心,对一图象块,如果对最近群中心按仿射变换所得的近似满足误差要求,那么就把该群中心当作VQ的码书块。否则,通过搜索相似块来进行匹配。在该方法中,“恰当地选择群中心数目与用作分形近似的相似块树目的比例,可以降低码率”,且“在率失真曲线、编解码速度等方面比传统方法有很大改善”<sup>[34,35]</sup>。分形与小波相结合是当前研究的一个方向<sup>[36,37]</sup>,应用小波变换将图象解析成多分辨率的子图象,在相应尺度和方向的子图象上构造不同维数、不重叠的图象块,在下一级更低分辨率子图象上构造相似块。最低分辨率的子图象用PCM单独编码,其它和传统分形编码一样,用低分辨率的子图象上的相似块来预测高分辨率子块中的图象块。这种预测方法简化了解码过程,一次就能恢复原图象。分形与小波相结合的方法“能带来较高的压缩比和较好的图象质量,但编码时间仍然较长”。

#### 2.2.5 快速解码算法

*Baharav*等提出一种基于PIFS(Partitional IFS)分层解释的分层解码快速算法<sup>[38]</sup>,该算法的迭代先在图象的粗糙分辨率上进行,一旦达到PIFS在粗糙分辨率上的定点,就使用一决定性算法找到它在任意高分辨率上的定点,由于是对低维矢量进行迭代从而使计算得到节省。另外,在基本解码方法中,迭代次数和初始图象都要事先预设好,这对收敛速度有所影响。在文献[39]中,定义了图象收敛准则ICC(Image Convergence Criteria)和块收敛准则BCC(Block Convergence Criteria),使用BCC进行有选择性解码,已收敛的图象块在下次迭代中不再迭代,整个图象的迭代是否继续由ICC决定,而不是由预设的迭代次数决定。“用着种带收敛准则的快速解码算法能得到与传统方法一样的重构图象质量,然而迭代次数只需3~4次”。*Monro*和*Dudbrige*还提出了一种简单的非迭代快速解码算法<sup>[40]</sup>。

#### 2.3 应用扩展

分形编码的应用对象主要是单色、静止图象,但随着研究的深入,已逐渐向彩色图象、视频的方向扩展。*Fisher*<sup>[41]</sup>建议不要单独对RGB分量进行编码,而是先定下其YIQ分量值,然后每个信道单独编码。在文献[42]中,利用不同彩色平面中相同物理位置的图象块的分形变换参数的相似性,用主要彩色平面的分形码去预测其它彩色平面的分形码,使得码率变低。图象序列的分形编码有两种方法,最简单的就是用快速编码器分别对二维帧或其一部分进行编码<sup>[43]</sup>,另一种方法是把时间当作第三变量,把分形编码应用到三维的图象块、相似块上<sup>[44,45]</sup>。

### 3 结束语

分形图象编码以分形几何为理论背景,分形几何研究的不断深入必定会推动分形图形编码的发展。另外,做为分形几何的一个重要应用,分形图象编码的不断完善也会使其内容更加丰富。随着各方面研究的开展,编码效率的逐渐提高,分形图象编码作为一种新兴的编码方法将有着很好的应用前景。

#### 参考文献

- 1 徐孟侠. 图像编码的进展. 通信学报, 1993, 14(2).
- 2 Als M, Clarkson T. Survey of Block Based Fractal Image Compression and its application.

- 3 Barnsley M F, Sloan A D. Chaotic Compression. *Computer Graphics World*, Nov, 1987.
- 4 Jacquin A. Fractal image coding; A Review, *Proc of the IEEE* 1993, 81(10).
- 5 Fisher Y. A comparison of fractal methods with DCT and Wavelet.
- 6 Saupe D. The Futility of Square Isometries in fractal image compression. *IEEE International Conference on image processing (ICIP'96)*, Lausanne, Sept, 1996.
- 7 Popescu, Dimca. Generalized square isometries-An improvement for fractal image compression, *Proc. 8th Int. Conf. Image Analysis and processing*, San Remo. Sept. 1995.
- 8 Fisher Y, Jacobs B, Boss R. Iterated Transform Image Compression, *NOSC Technical Report 1408, Naval Ocean Systems Center*, San Diego, Ca, April 1991; 1~27.
- 9 Kominek J. Convergence of Fractal Encoded image, *Proceedings DCC'95, Data Compression conference. IEEE Comp. Soc. Press. March*, 1995.
- 10 phi en, G. E., Baharava. A new improved collage theorem with application to multiresolution fractal image coding. in *Proceeding of ICASSP-1994 IEEE International conference on Acoustics, Speech and Signal Proceeding*, Adelaidem, 1994.
- 11 Jacobs E W, Fisher Y, Boss R. Image compression; A study of the iterated transform method. *Signal Proceeding* 1992, 29; 251~263.
- 12 Fisher Y, Menlove S. Fractal encoding with HV partitions, *Fractal image compression-Theory and Application. Springer-Verlag*, New York, 1994.
- 13 Reusens E. Partitioning complexity issue for iterated function systems based image coding. *Proceeding of the VIIth European Signal Proceeding conference EUSIPCO'94, Edinburg*, 1994.
- 14 Davonine, Chassery F, J-M. Adaptive Delaunary triangulation for attractor image coding. *Proc. Of 21th international conference on Pattern Recognition (ICPR)*, Jerusalem. 1994.
- 15 Saupe D, Ruhl M. Evolutionary fractal image compression. *Proc. ICIP'96 IEEE international conference on image proceeding*, Lausanne, Sept, 1996.
- 16 Jacquin A E. Image coding based on a fractal theory of iterated contractive Markov operator. Part II: Theoretical Foundation, *Report Math*, 1993.
- 17 Jacobs E W, Fisher Y, Boss R D. Image compression; A study of iterated transform method. *Signal Processing* 1992, 29; 251~263.
- 18 Caso G, Obrador P, Kuo C-C. J. Fast method for fractal image encoding. *Proc. SPIE VCIP* 1995, 2501; 583~594.
- 19 Boss R D, Jacobs E W. Archetype classification in an iterated transformation image compression algorithm.
- 20 Monro D M, Dudbridge F. Fractal approximation of image blocks. *Proceedings of ICASSP-1992 IEEE international conference on Acoustics. Speech and Signal Processing*, 1992, 3; 485~488.
- 21 Hurtgen B, Stiller C. Fast hierarchical codebook search for fractal coding of still images. *EOS/SPIE Visual Communication and PACE for Medical Application'93*.
- 22 Thao N T. Local search fractal image compression for fast integrated implementation.
- 23 Masayuki Kawamata, Masaki Nagahisa, Tatsuo Higuchi. Multi-resolution tree search for iterated transformation theory-based coding. *Proc. ICIP'94 IEEE international conference on image processing*, Austin, Texas, 1994.
- 24 Lin H, Venetsanopoulos A N. Fast fractal image coding using pyramid. *Proceeding of 8th international conference on image analysis and processing*, San Remo, Sept, 1995.
- 25 Saupe D. A new view of fractal image compression as convolution transform coding. *IEEE Signal Processing Letters*, 1996, 3 (7).
- 26 Saupe D, Hartenstein H. Lossless acceleration of fractal image compression by fast convolution. *Proc. ICIP-96 IEEE international conference on image processing*, Lausanne, Sept, 1996.
- 27 Lepsy S, Pien G E. Fast attractor image encoding by adaptive codebook clustering. *Fractal image compression-Theory and Application*, New York, 1994.
- 28 Gotting D, Ibenenthal A, Grigat R R. Fractal image coding and magnification using invariant features. *NATO ASI Conf. Fractal Image Encoding and Analysis*, 1995.
- 29 Saupe D. Breaking the time complexity of fractal image compression. *Tech. Report*, 1994.
- 30 Saupe D. Accelerating fractal image compression by multi-dimensional nearest neighbor search. *Proceedings DCC'95 Data Compression Conference. IEEE Computer Science*, March, 1995.
- 31 Barthel K U, Schutte Meyer J, Voye T, et al. A new image coding technique unifying fractal and transform coding. *Proc. ICIP-94 IEEE international conference on Image Processing*, Austin, Texas, Nov, 1994.
- 32 Zhao Y, Yuan B. Image compression using fractals and discrete cosine transform. *Electronics Letters* 1994, 30; 474~475.
- 33 Hamzaoui R. Codebook clustering by self-organizing maps for fractal image compression. *NATO ASI Conf. Fractal image encoding and analysis*, July, 1995.
- 34 Hamzaoui R, Muller M, Saupe D. VQ-enhanced fractal image compression. *proc. ICIP-96 IEEE international conference on image processing*, Lausanne, 1996.
- 35 Hamzaoui R, Muller M, Saupe D. Enhancing fractal image compression with vector quantization. *Proc. IEEE Digital Signal Processing Workshop*, Loen, Sept, 1996.
- 36 Van der Wall A. Merging fractal image compression and wavelet transform methods. *NATO ASI conf. Fractal image encoding and analysis*, Trondheim, July, 1995.
- 37 Roberto Rinaldo, Giancarlo Calvagno. Image coding of block prediction of multiresolution subimages. *IEEE trans on Image Processing*, 1995, 4(7).
- 38 Baharav Z, Malah D, Karnin E. Hierarchical interpretation of fractal image coding and its applications to fast decoding. *Intl.*

- Conf. on Digital Signal Processing, 1993.
- 39 Yong Ho Moon, Yoon Soo Him, Jae Ho Kim. Fast fractal decoding algorithm with convergence criteria. *Optical Engineering*, 1997, 36(7).
- 40 Monro D M, Dudbridge F. Rendering algorithm for deterministic fractals. *IEEE Computer Graphics and Application*, 1995, 15(1): 32~41.
- 41 Fisher Y. *Fractal image compression—Theory and application*. Springer-Verlag, New York, 1994.
- 42 Bernd Hurrigen, Paul Mols, Stephan F. Fractal transform coding of color images. *Visual communications and image processing*, SPIE'94, Chicago, 1994.
- 43 Monro D M, Nicholls J. Low bit rate color fractal video. Proc. ICIP-95, IEEE international conference on image processing, Washington D. C., 1995.
- 44 Barthel K U, Voyer T. Three-dimensional fractal video coding. Proc. ICIP-95. IEEE international conference on image processing, Washington D. C., 1995.
- 45 Li H, Novak M, Forchheimer R. Fractal-based image sequence compression scheme. *Optical Engineering* 1997, 32(7): 1588~1595.



**何爱军** 1995年毕业于湘潭大学物理系,获学士学位,现在中山大学电子系攻读硕士学位,主要研究兴趣包括图象处理、计算机网络等。



**马争鸣** 1985年获华南理工大学通信与电子系统专业硕士学位,1989年获清华大学模式识别与智能控制专业博士学位。现为中山大学电子系副教授,主要研究兴趣有:小波分析、分形几何和人工神经网络。

## Fractal Image Coding

He Aijun, Ma Zhengming

(Lab of information processing, Electronic Engineering Department of Zsu, Guangzhou 510275)

**Abstract** This is an overview on fractal image coding. On the base of collecting and reading related documents, we describe the current research status of fractal image coding and make a remark on its prospect.

**Keywords** Fractal geometry, Image coding, Fractal image coding

## VTEL 与中国电信协力共建中国多媒体远程教学网

全球网络化数字视频通信领域的领导者——VTEL 美国视讯公司宣布赢得了中国电信组建的全国远程教学实验网的项目。

在此竞标过程中,专家组对各个厂家的投标书及设备进行了近两个月的严格评审。VTEL 设备以其优质的图像、先进的多媒体数据技术、系统的稳定性及可靠性、方便的升级扩容能力,以及 VTEL 公司完善的售后服务保障而一举中标。

中国电信全国远程教学实验网是目前国内最大的远程教学网络。该项目是以中国电信网络为依托,覆盖广东省、福建省、辽宁省、北京市和天津市的全国性大型远程教学网,共配有 35 个远程听课及授课教室。此次采用的设备包括 VTEL 公司的大型会议室设备 TC2000、SmartLink 及 MCU-Ⅱ 等数字视讯多媒体设备,以 2Mbps 线路传输速率。TC2000 大型会议室设备是集视/音频、数据等功能为一体的智能化产品,功能非常强大。可以方便地实现多媒体功能和图文传送,并可连接 Internet。在 VTEL 的全部产品升级适合 H. 323 标准后,更扩大了其应用范围,可以轻松地接入局域网,即在支持 ITU 的 H. 320 标准的同时又支持 H. 323 标准。

VTEL 大中国区总经理徐承雷对公司过去与中国电信的良好合作非常满意,他说:“VTEL 是远程教学领域的先行者,现在仍然在此领域占有绝对领先的地位。我们专门用于远程教学的优质产品辅以 VTEL 丰富的组网经验,对客户的投资是最重要的保障。此项目的实施是 VTEL 公司与中国电信为贯彻落实“科教兴国”战略而进行的又一次成功合作。”