

# 一种基于显著不相关检验的近距离分形图象编码方法

熊惠霖 张天序

(华中理工大学图象识别与人工智能研究所, 武汉 430074)

**摘要** 提出一种基于显著不相关检验的近距离分形图象编码方法。对于标准测试图象(Lena  $256 \times 256 \times 8\text{ppb}$ ), 这种方法与子块分类方法相比, 以解码图象质量(PSNR)下降  $2 \sim 3(\text{dB})$  为代价, 编码速度提高了  $70 \sim 200$  倍, 且压缩比还有一定的提高; 与普通近距离分形方法相比, 在解码图象质量(PSNR)不下降的情况下, 编码速度提高约  $32\%$ ; 若以解码图象质量(PSNR)下降  $0.2 \sim 1(\text{dB})$  为代价, 编码速度提高  $3 \sim 9$  倍。

**关键词** 分形, 分形图象编码, 近距搜索匹配, 显著不相关检验

## 1 引言

图象的分形编码方法具有理论新颖、高压缩比、解码快捷、不需要训练样本等优点。但也存在计算量过大、编码时间过长的缺点。在不显著降低解码图象质量和压缩比的前提下, 如何简化计算缩短编码时间, 一直是分形编码方法走向实用所要解决的主要问题之一。

分形图象编码的理论基础是 Hutchinson 和 Barnsley 等人建立的迭代函数系统(IFS)的数学理论, 这一理论最早由 Barnsley<sup>[1]</sup>和 Jacquin<sup>[2,3]</sup>用于图象数据压缩。其一般步骤如下:

(1) 将图象分成大小为  $2^i \times 2^i$  且互不重叠的子块, 这些子块称为 range blocks(以下均用  $R$  表示)。

(2) 对每一 range block  $R$ , 在原图象中寻找一个大小为  $2^{i+1} \times 2^{i+1}$  的子块  $D$ (称为 domain block, 以下均用  $D$  表示),  $D$  经过空间变换和灰度值仿射+变换后, 与  $R$  的平方误差达到最小。通常空间变换包括图象块空间压缩(一般指四邻域平均)和图象块空间位置变换(一般指 8 个旋转或反射变换)。

(3) 对每一个 range block  $R$ , 记录以下 5 个数: 经过搜索找到的 domain block  $D$  的位置坐标  $(d_x, d_y)$ (子块的左上角坐标);  $D$  和  $R$  达到最佳匹配时,

对  $D$  所做的空间位置变换的序号  $n$ ; 灰度值仿射变换系数  $\alpha$  和  $\beta$ 。由这 5 个参数, 我们就可以从任意图象经过迭代恢复原图象。

在上述编码过程中, 对每一个 range block  $R$ , 都要从全体 domain blocks 组成的集合中搜索最佳匹配块。由于全体 range blocks 组成的集合及全体 domain blocks 组成的集合都是较大的集合, 所以上述搜索匹配过程的计算量很大。为减少计算量, 缩短搜索时间, 通常的做法有 2 种:

(1) 缩小搜索空间, 即只抽取部分 domain blocks 进行子块匹配。对 domain blocks 的抽样有 2 种方法:

均匀抽样: 在图象中以一定的步长移动 domain block, 得一缩小的 domain blocks 集合, 所有 range blocks 都在这个集合中搜索其最佳匹配子块;

近距抽样: 对每个 range block, 只在其附近的 domain block 中搜索。在分形编码中, 每个 range block 的最佳匹配块往往就在其近邻<sup>[2]</sup>, 采用近距搜索匹配, 以少许 PSNR 下降为代价, 会换来编码速度的显著提高。

(2) 将 range blocks 集合及 domain blocks 集合分类, 每一个 range block 只在与同类型的 domain blocks 集合中搜索最佳匹配块。如在 [2][3] 中 Jacquin 用图象子块中边缘信息将子块分成 3 类。而

在[4]中作者将子块最多分成72类。这样的确缩小了搜索空间,缩短了编码时间,但其作用是有限的,因为当类分得太少时,搜索空间仍然是较大的;而当类分得太多时,为确定每个子块的类别所进行的计算将会抵消部分由分类带来的好处。

本文证明:分形编码的子块搜索过程是一个相关匹配过程。基于这一认识,本文给出了一种子块显著不相关检验的方法,在子块搜索匹配之前,将大量显著不相关的子块剔除掉,从而大大缩小搜索空间。将这一方法与子块近距搜索匹配结合起来,提出一种基于显著不相关检验的近距分形编码方法,其编码速度大大快于子块分类的分形编码方法,也快于普通近距分形编码方法,而解码图象质量(PSNR)没有显著下降,压缩比还有一定的提高。

## 2 基于显著不相关检验的近距分形编码方法及其步骤

### 2.1 分形编码中子块搜索匹配的实质

设  $R=(r_i)$  是一 range block ( $(r_i)$  是子块中象素值所组成的  $n$  维向量)。  $D$  是任一 domain block, 经四邻域平均后得到与  $R$  同样大小的子块  $D'=(d'_i)$ 。用微积分中求极值的一般方法,得:

**定理:**  $D'$  经过灰度值仿射变换:  $d'_i \rightarrow \alpha d'_i + \beta$  后,与  $R$  的灰度值平方误差:  $\Delta = \sum_i (\alpha d'_i + \beta - r_i)^2$ , 在  $\alpha = \sum_i (r_i - \bar{r})(d'_i - \bar{d}') / \sum_i (d'_i - \bar{d}')^2$ ,  $\beta = \bar{r} - \alpha \bar{d}'$  时(其中  $\bar{r}$  和  $\bar{d}'$  分别是  $R$  和  $D'$  的平均值),达到最小值  $\Delta_{\min} = (1 - \rho^2) \sum_i (r_i - \bar{r})^2$  ( $\rho$  是  $R$  和  $D'$  之间的相关系数)。

由定理可以看到:对于每一个 range block  $R$ , 搜索其最佳匹配子块的过程是一个相关匹配的过程,即寻找这样的 domain block  $D$ , 使  $D$  经某一空

间变换后与  $R$  最相关。尽管这样得到的灰度值仿射变换因子  $\alpha$  的绝对值可能大于1,但整个分形变换是“最终压缩的”<sup>[4]</sup>

### 2.2 关于显著不相关检验

对每一 range block  $R$ , 在搜索其最佳匹配子块过程中,大部分 domain block  $D$  与  $R$  都是显著不相关的,如能将这些显著不相关的子块从搜索集合中排除,将使搜索空间大大缩小,从而缩短编码时间。

设  $R=(r_i)$  是一个 range block,  $D'=(d'_i)$  是某一 domain block 经四邻域平均后的子块。若  $R$  与  $D'$  显著相关,即它们的相关系数的绝对值接近1,则向量  $R$  与  $D'$  之间有线性关系。亦即存在  $\alpha, \beta$ , 使  $r_i = \alpha d'_i + \beta$ 。这样,  $R$  与  $D'$  的2阶、4阶中心矩之间有关系:

$$S_R = \sum_i (r_i - \bar{r})^2 = \alpha^2 \sum_i (d'_i - \bar{d}')^2 = \alpha^2 S_{D'}$$

$$T_R = \sum_i (r_i - \bar{r})^4 = \alpha^4 \sum_i (d'_i - \bar{d}')^4 = \alpha^4 T_{D'}$$

于是:  $L = \left| \left( \frac{S_{D'}}{S_R} \right)^2 - \frac{T_{D'}}{T_R} \right| + \left| \left( \frac{S_R}{S_{D'}} \right)^2 - \frac{T_R}{T_{D'}} \right| = 0$

我们称  $L = \left| \left( \frac{S_{D'}}{S_R} \right)^2 - \frac{T_{D'}}{T_R} \right| + \left| \left( \frac{S_R}{S_{D'}} \right)^2 - \frac{T_R}{T_{D'}} \right|$  为  $R$  与  $D'$  的显著不相关水平,当  $L$  大于某一门限值  $rL$  时,我们认为  $R$  与  $D'$  显著不相关。

### 2.3 关于显著不相关检验的自适应门限值

从理论上讲,当子块  $R$  与  $D'$  显著相关时(即相关系数绝对值接近1),  $L$  值应该接近零,因此,如果最佳匹配子块间都是显著相关的,可以取一很小的门限值  $rL$ , 利用显著不相关检验能很快找到最佳匹配子块。但对于一般图象而言,子块与其最佳匹配子块之间不一定是显著相关的。下表是标准测试图象: Lena  $256 \times 256 \times 8$  bpp 的部分子块与其最佳匹配子块之间的相关系数  $coef$  和显著不相关水平值  $L$ :

位置坐标	(12,216)	(32,136)	(128,172)	(252,104)	(252,112)	(252,188)	(252,192)
$coef$	0.987 3	0.970 1	0.751 0	0.793 4	0.713 1	0.993 1	0.844 4
$L$	0.012 1	0.277 8	1.204	2.565 7	7.565 3	0.191 9	10.274 9

在实际编码时,为了尽可能缩小搜索空间,减少编码时间,应该取较小的显著不相关门限值。但另一方面,若显著不相关门限取得太小,就可能遗漏最佳匹配子块甚至有些子块根本找不到满足要求的匹配子块。因此,为兼顾编码速度和解码图象质量,采用

自适应的显著不相关门限:首先给出一个较大的门限初值  $rL$ , 然后在搜索过程中自适应地减小该门限值。具体来讲,若某一匹配子块  $D'$  与子块  $R$  的显著不相关水平值  $L$  小于门限值  $rL$ , 就计算  $R$  与  $D'$  的相关系数  $coef$ , 若  $coef$  大于  $R$  的相关系数门限值,

则用  $L$  值取代值  $rL$ , 同时用  $coef$  取代  $R$  的相关系数门限值。这样, 搜索过程将使匹配子块的相关系数值不断增加而显著不相关门限值越来越小。但实验经验告诉我们, 为了保证解码图象质量, 对显著不相关门限值的下降速度应给予一定的限制。

实验中, 我们看到子块显著不相关检验的门限初值及其下降速度对编码速度和解码图象质量有较大的影响, 该值较大而下降较慢时, 解码图象质量 PSNR 不降低或降低极小, 但编码速度提高不大; 该值较小或该值下降较快时, 编码速度有十分明显的提高, 但解码图象质量有少许下降, 原因是该门限值较小时, 有些子块找到的不是最优匹配子块, 只是次优的匹配子块。通过实验, 我们认为对于  $4 \times 4$  的子块,  $rL$  的初值以 2.5~12.5 为宜。

#### 2.4 基于显著不相关检验的分形编码步骤

(1) 给每一 range block 对应数据结构赋初值

将图象分成大小为  $2^i \times 2^i$  的互不重叠的子块, 每个 range block  $R$  子块对应一个结构, 用来记录数据: 匹配子块的位置坐标  $(d_x, d_y)$ ,  $R$  的灰度平均值  $\bar{r}$ , 2 阶及 4 阶中心矩  $S_R, T_R$ , 匹配子块与的相关系数  $coef$  和显著不相关门限值和匹配子块所作的空间位置变换的序号  $n$  及其灰度仿射变换因子  $\alpha$ 。

每个  $R$  对应的结构中的数据, 在以后的匹配过程中将作动态修改。开始时, 对于每个  $R$  的结构, 只将灰度平均值、2 阶、4 阶中心矩和显著不相关初值赋给相对应的结构元素, 同时给相关系数也赋一个较小的初值。(若进行多级压缩, 为保证解码图象质量, 对较大尺寸的  $R$ , 其结构中的相关系数应赋较大初值。)

(2) 搜索匹配过程。即动态修改各结构中数据的过程

首先, 灰度值变化比较平坦的 range blocks (其灰度的 2 阶中心矩小于某一给定的门限  $F$ ), 不参与搜索匹配, 直接用其灰度平均值作为码本。

对其它的 range block  $R$ , 用其邻近的 domain blocks (到  $R$  的距离小于某一固定的值  $M$ ) 去动态修

改结构中的数据。首先, 将灰度变化相对平坦的 domain blocks (即灰度的 2 阶中心矩小于给定的门限, 一般取  $F/3$  到  $F/2$ ) 排除。而对于剩下的 domain block  $D$ , 先进行四邻域平均, 然后计算其 2 阶、4 阶中心矩  $S_D, T_D$ , 用它们与每一个 range block 的 2 阶和 4 阶中心矩进行显著不相关检验。若是显著不相关的, 则对结构中的各个元素值不作任何修改。反之, 则分别计算  $D'$  在空间位置变换下, 与  $R$  的相关系数。若计算得到的某一空间变换下的相关系数值大于结构中相关系数的数值, 则用大的相关系数值取代结构中的相关系数值, 同时用  $L$  值取代原显著不相关检验门限值  $rL$  (为了保证解码图象质量, 对显著不相关门限值的下降速度应给予一定的限制), 并对结构中的其它元素值进行修改。全部 domain blocks 遍历完后, 每个结构中所记录的数据就是搜索匹配的结果。上述过程是一种自适应的搜索过程。

### 3 实验结果

对标准测试图象 Lena  $256 \times 256 \times 8$  bpp, 我们在 PC486/50 型微机上进行了多次实验, 并与分形编码的子块分类方法 (采用 Jacquin 的子块分类方法) 及子块近距离搜索匹配方法进行了比较, 从实验结果来看, 以解码图象质量的少许下降为代价 (与子块分类方法相比, PSNR 下降 2~3(dB)), 本文提出的方法在编码速度上比子块分类方法快 70~200 倍, 比子块近距离搜索匹配方法快 3~9 倍, 且压缩比有进一步提高。

实验中 domain block 移动的距离为 2。影响实验结果的参数有: 子块近距离搜索的搜索范围  $M$ , 判断区域灰度变化平坦的门限值  $F$ 、区域显著不相关检验的门限初值  $rL$  以及相关系数的初值  $coef$  (对多级编码而言)。实验中, 每个 range block 的灰度平均值用 6bits 量化, 灰度仿射变换系数  $\alpha$  用 4bits 量化, 匹配子块的位置坐标  $d_x, d_y$  根据  $M$  的不同, 分别用 3~4bits 量化, domain blocks 的空间变换序号  $n$  用 3bits 量化。子块大小为  $4 \times 4$ 、 $8 \times 8$  和  $16 \times 16$ 。

一级分形压缩实验结果 (range blocks 的大小为  $4 \times 4$ )

	子块 分类方法	子块近距离搜 索匹配方法	本文的方法 (4 组实验结果)			
			实验 1	实验 2	实验 3	实验 4
编码时间 (s)	10 439	374	255	141	78	61
PSNR (dB)	33.72	31.53	31.53	31.28	30.65	30.49
压缩比	7.25 : 1	9.79 : 1	9.79 : 1	9.79 : 1	9.79 : 1	11.31 : 1

二级分形压缩实验结果(range blocks的大小为 $4 \times 4$ 和 $8 \times 8$ )

	子块 分类方法	子块近距搜 索匹配方法	本文的方法(4组实验结果)			
			实验1	实验2	实验3	实验4
编码时间(s)	19 830	771	167	106	91	87
PSNR(dB)	33.42	31.20	31.01	30.51	30.36	30.28
压缩比	8.14:1	11.14:1	10.68:1	10.68:1	12.41:1	13.12:1



256×256×8bpp

图1 原图 Lena

(F1=100,rL1=11.5,coef1=0.0  
PSNR=31.53,压缩比=9.79)

图2 一级压缩后的解码图象

(F1,rL1,coef1)=  
(200,2.5,0.0);  
(F2,rL2,coef2)=  
(800,0.125,0.9)  
PSNR=31.01,  
压缩比=10.68:1

图3 二级压缩后的解码图象

(F1,rL1,coef1)=  
(500,2.5,0.0);  
(F2,rL2,coef2)=  
(2000,0.125,0.95)  
PSNR=30.28,  
压缩比=13.12:1

图4 二级压缩后的解码图象

## 4 总结

实验证实:本文提出的一种基于显著不相关检验的近距分形编码方法与子块分类方法相比,以解码图象质量(PSNR)下降2~3为代价,编码速度提高了70~200倍,压缩比有进一步的提高;与普通近距分形方法相比,在解码图象质量(PSNR)不下降的情况下,编码速度提高约32%;若以解码图象质量(PSNR)下降0.2~1(dB)为代价,编码速度提高了3~9倍。

## 参考文献

- 1 Barnsley M, Hurd L. Fractal Image Compression. AK Peter, Wellesley, 1993.
- 2 Jacquin A E. A novel fractal block-coding technique for digital images. Proc. ICASSP-90, 1990, 2225~2228.
- 3 Jacquin A E. Fractal image coding; A review. Proc. IEEE, 1993, 81(10):1451~1465.
- 4 Fisher Y, Jacobs E W, Boss R D. Fractal image compression using iterated transforms. in Image and Text Compression. J. A. Storer ed., Kluwer Academic, 1992, 35~61.
- 5 Saupe D. Accelerating Fractal Image Compression by Multi-Dimensional Nearest Neighbor search. IEEE Data Compression conf., Snowbird Utah, 1995, 222~231.
- 6 Monro D M. Generalized fractal transform; complexity issues. Proc. Data Comre. conf., Snowbird Utah, 1993, 254~261.



**熊惠霖** 1988年毕业于武汉大学数学系,获理学硕士学位。现在华中理工大学图象识别与人工智能研究所攻读博士学位,研究方向为:基于分形与小波的图象处理方法、图象处理并行算法设计及其实现。

**张天序** 华中理工大学图象识别与人工智能研究所所长、教授、博士生导师、国家教委“图象信息处理与智能控制”重点实验室主任。现从事精确制导、计算机视觉、智能图象数据压缩、生物医学成像及处理等方面的科研、教学工作,在国内外权威学术刊物和国际学术会议发表论文60余篇。

## A Neighboring-Search Fractal Image Coding Based on Testing Significant Uncorrelation of Blocks

Xiong Huilin, Zhang Tianxu

(Institute of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

**Abstract** In this paper, we proposed a very fast fractal image coding method, which is based on neighboring search for the matching of image blocks and testing of significant uncorrelation of blocks. For the standard test image (Lena  $256 \times 256 \times 8$  ppb), comparing with the classification method, we recorded acceleration factors from 70 up to 200 with 2 (dB) to 3 (dB) degradation of PSNR and some improvement of the compression ratio; comparing with the ordinary neighboring search method, we recorded a 32% acceleration factor without any degradation of PSNR, and if 0.2 (dB) to 1 (dB) degradation of PSNR are permitted, acceleration factors from 3 to 9 are recorded.

**Keywords** Fractal, Fractal image coding, Testing of significant uncorrelation

## VTEL 多媒体会议电视系统为外科手术技术革命做贡献

1998年3月6日1000多名心血管专家在圣地亚哥的会议中心观看了在3000英里之遥的北卡罗来纳州格林维尔医学中心大学进行的一次心脏外科手术。此次心脏外科整修手术是由美国著名微小侵入式心脏病外科医师、东卡罗来纳大学医学中心心脏外科主任 Randolph Chitwood 博士主持的。整个手术过程是利用 VTEL 美国视讯公司多媒体智能会议电视系统和东卡罗来纳大学远程医疗技术公司 (Telemedicine Technologies Company) 的产品进行传送的。

VTEL 公司总裁兼首席执行官 Jerry Benson 说:“VTEL 公司是首家为远程医疗提供应用设备的厂商,现在所拥有的远程医疗会议安装点已多于其它会议电视厂商的总和。VTEL 公司在医疗保健领域的领先技术为全球著名的医学专家展示手术过程,为全美乃至全球的医院及医学中心共享其它医疗领先技术开辟了道路。我们为全世界的心脏病人可以从中受益而深感荣幸。

参加在圣地亚哥举行的第十八届心脏外科手术

研讨会的代表们从此次交互式外科手术观摩中得到了与 Chitwood 博士及其手术小组进行面对面交流的机会,并使代表们得到了微小侵入式心脏手术最新发展的第一手资料。在历时 2 个小时的心肌保护手术观摩过程中,在圣地亚哥的代表们不但以交互通讯手段与在格林维尔的外科手术小组进行了交流,而且还听取了专家小组的讲解与讨论。

这次外科手术演示利用 VTEL 公司 TC2000 双显系统,以 38kbps 传输速率经 PacBell ISDN 网进行拨号,连接到圣地亚哥的会议中心及北卡罗来纳州的 Sprint,再通过 Sprint 与格林维尔的大学医学中心相联。此次手术运用以点对点连接方法,以达到保护病人隐私的目的。

远程医疗技术公司是东卡罗来纳大学的合作伙伴。该公司专门从事远程医疗、信息及仪器传输技术的研究和产品开发,并从中不断获取专业知识。由医疗、通讯和信息专家组成的研究小组不断支持、设计并完善新型系统,从而加强医疗服务领域的成效与开发。