第 8 卷(A 版) 第 1 期
2003 年 1 月

中国图象图形学报
Journal of Image and Graphics

Vol. 8(A), No. 1
Jan. 2003

一种基于局部极大模和分形的混合编码方法

罗 强[1] 任庆利[2] 罗 莉[3] 杨万海[1]

[1](西安电子科技大学电子工程学院,西安 710071) [2](西安交通大学电气工程学院,西安 710049)

[3](国防科技大学计算机学院,长沙 410043)

摘 要 在分析分形理论和小波变换模极大值用于图象压缩方面优缺点的基础上,根据它们的特点,综合利用两种方法的优点,弥补它们不足,提出了一种基于小波变换极大模和分形的混合编码方法.该方法先利用小波局部模极大值提取的图象边缘特性来进行图象编码,然后用分形的自相似性对图象的误差图进行压缩,以获得高压缩比和质量好的恢复图象;同时还简单进行了理论阐述和给出了具体算法的步骤.实验结果表明,采用此方法压缩后的图象不仅视觉效果好、无方块效应,而且边缘无振荡现象、图象清晰无模糊,压缩比高.

关键词 图象处理(510·4050) 分形 小波变换 混合编码

中图法分类号: TN919.81 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2003)01-0091-05

A Hybrid Encoding Method Based on Modulus Maximum and Fractal

LUO Qiang[1], REN Qing-li[2], LUO Li[3], YANG Wan-hai[1]

[1](*School of the Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an* 710071)

[2](*School of the Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an* 710049)

[3](*School of Computer, National University Of Defence Technology, Changsha* 410043)

Abstract After discussing the merits and demerits of the fractal theory and wavelet transformation modulus maximum in image compression, the new hybrid encoding method based on wavelet transformation modulus maximum and fractal is firstly presented in this paper. It is known that IFS is used synthesize fractal image resembling natural objects. But the maximal errors of restoration image are on the edge of image. The local maximal of wavelet transformation provides an effective technique for image edge extraction. The reconstruction of image is made from the modulus maximum of its wavelet transformation. Using the edge character of the wavelet local maximum modulus firstly performs the image encoding. Then, error image is compressed according to the self similar of the fractal so as to obtain the good reconstructed image with the high compression rate. Later, the theory description and the detail algorithm steps are given. Finally, the experiment results show that the compression image has the properties of good vision effect, non-square effect, no edge oscillation, no image blur and high compression rate by using this kind of new hybrid encoding method.

Keywords Fractal, Wavelet transformation, Hybrid encode

0 引 言

因为数字图象的表示需要大量的数据,这不仅占用大量存储空间,而且传输时,占用的信道资源也很大,所以在储存和传输图象时,进行数据压缩是非常必要的.如今已研究出多种压缩方法,其中,分形压缩法是一种比较新颖和效果较佳的有损压缩方法.分形压缩的方法是利用图象中存在的分形特征,即利用自然界图象普遍存在的自相似特性,压缩时,首先将这些自相似的结构用某种函数映射关系表达出来,然后利用这些映射关系的迭代计算来重建图象,以达到图象压缩的目的.但是,在分形压缩中,存在着一个明显缺点,即处在边缘的子块,在搜索最佳

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(69933030);国防科技重点实验基金试点项目(00JS91.5.KG0104)

收稿日期:2001-05-10;**改回日期**:2002-05-17

匹配的父块时，它们的失真度都比较大，这成为分形编码重构图象失真的一个重要原因和制约分形编码压缩比提高的一个最主要的障碍.

小波变换模极大值方法是现代刻画和提取信号(图象)边缘的一种很好工具，因为它可以由局部模极大值和局部模极大值点位置来重构信号. 特别是在图象处理中，运用小波变换局部模极大值还可以达到图象增强的目的，对图象来说，由于用小波变换局部模极大值也可以同样重构原图象，且小波变换局部模极大值数据远小于整幅图象的数据，因此这就大大压缩了数据. 但是，由于小波变换局部模极大值表示的仅仅是边缘信息，而一些纹理的特征被抛弃了，所以，造成由小波变换局部模极大值方法重构的图象失真很大.

大家知道，一幅图象，既有丰富的边缘信息，又有多彩的纹理特征，其中边缘是图象分割所依赖的最重要特征，它虽可以勾画出一幅素描图象，但必须再加上重要的细节特征，才构成一幅完整无缺的图象. 因此，本文综合了以上两种方法的优点，提出了一种基于小波变换极大模和分形的混合编码方法. 实验结果表明，此方法是一种行之有效的编码方法.

1 局部极大模方法

给出一幅图象信号 $f(x,y)\in\mathbf{R}$，若要求图象小波变换的局部模极大值，则必须首先知道二维的小波基，一般二进制的二维小波基是3个，而这里小波基是两个，并且是满足图边缘检测关系的，它的形式为

$$\begin{cases}\psi^1(x,y)=\psi(x)\hat{\xi}(y)\\ \psi^2(x,y)=\hat{\xi}(x)\psi(y)\end{cases}\tag{1}$$

式中，$\psi(x)$ 为二次样条小波基，$\xi(y)$ 为 Kronecker Delta 函数，据此可对应地得出二维离散小波变换算术式：

$$\begin{cases}W^x_{2^j}f(x,y)=f(x,y)*\psi^1(x,y)=S^d_{2^{j-1}}f(x,y)*(G_j,D)\\ W^y_{2^j}f(x,y)=f(x,y)*\psi^2(x,y)=S^d_{2^{j-1}}f(x,y)*(D,G_j)\\ S^d_{2^j}f(x,y)=f(x,y)*\varphi(x,y)=S^d_{2^{j-1}}f(x,y)*(H_j,H_j)\end{cases}\tag{2}$$

逆变换算法为

$$\begin{aligned}S^d_{2^{j-1}}f(x,y)=&W^x_{2^j}f(x,y)*(K_{j-1},L_{j-1})+\\&W^y_{2^j}f(x,y)*(L_{j-1},K_{j-1})+\\&S^d_{2^j}f(x,y)*(\overline{H}_{j-1},\overline{H}_{j-1})\end{aligned}\tag{3}$$

式中，D 为 Kronecker Delta 函数，$S^d_{2^j}f(x,y)*(G,D)$ 为 $S^d_{2^j}f(x,y)$ 的行与列分别与 G 或 D 卷积，而 K、L、H 和 G 参数见表1.

表1 K、L、H 和 G 滤波器参数

N	H	G	K	L
−3			0.008	0.008
−2			0.055	0.047
−1	0.125		0.172	0.117
0	0.375	2	−0.172	0.656
1	0.375	2	−0.055	0.117
2	0.125		−0.008	0.047
3				0.008

由于 $S^d_{2^j}f(x,y)$、$W^x_{2^j}f(x,y)$ 和 $W^y_{2^j}f(x,y)$ 与 $f(x,y)$ 点数都相同，因此，H_j、G_j、K_j 和 L_j 可分别通过在各系数之间插入 2^j-1 个零得到.

在尺度 2^j 时，二维小波变换的模 $M_{2^j}f(x,y)$ 和水平方向的夹角 $A_{2^j}f(x,y)$ 分别为

$$\begin{cases}M_{2^j}f(x,y)=\sqrt{\left|W^x_{2^j}f(x,y)\right|^2+\left|W^y_{2^j}f(x,y)\right|^2}\\ A_{2^j}f(x,y)=\arctan\dfrac{\left|W^y_{2^j}f(x,y)\right|}{\left|W^x_{2^j}f(x,y)\right|}\end{cases}\tag{4}$$

由于 $M_{2^j}f(x,y)$ 局部模极大值的点对应于图象边缘的点，且二维图象的边缘(轮廓)可以从 $M_{2^j}f(x,y)$ 沿着由角度 $A_{2^j}f(x,y)$ 确定的梯度方向通过索取局部模极大值来获得，因此在这些点上局部模极大值的位置、大小和角度包含了重构二维图象信号的主要信息.

图象的 $M_{2^j}f(x,y)$ 模极大值的位置、大小和角度比较容易获得. 如果已知图象的小波变换局部模极大值，那么即可重构图象，经研究，可由每一个尺度 2^j、每一个局部模极大值位置 (x^j_s,y^j_s) 和小波变换的两个分量 $W^x_{2^j}f(x^j_s,y^j_s)$ 和 $W^y_{2^j}f(x^j_s,y^j_s)$ 值来重构图象信号 $h(x,y)$，具体步骤如下：

(1) 初始化：$W^x_{2^j}h(x^j_s,y^j_s)=W^x_{2^j}f(x^j_s,y^j_s)$，$W^y_{2^j}h(x^j_s,y^j_s)=W^y_{2^j}f(x^j_s,y^j_s)$，迭代误差为 ε，重构信号 $g(x,y)=0$.

(2) 由 $g(x,y)$ 进行小波变换，即可得到 $W^x_{2^j}g(x,y)$ 和 $W^y_{2^j}g(x,y)$，引入函数 $\varepsilon^x_j(x,y)=W^x_{2^j}h(x,y)-W^x_{2^j}g(x,y)$ 和 $\varepsilon^y_j(x,y)=W^y_{2^j}h(x,y)-W^y_{2^j}g(x,y)$，由局部模极大值点可求得函数 $\varepsilon^x_j(x,y)$ 和 $\varepsilon^y_j(x,y)$ 的边界值为

$$\varepsilon^x_j(x^j_s,y^j_s)=W^x_{2^j}h(x^j_s,y^j_s)-W^x_{2^j}g(x^j_s,y^j_s)$$

$$\varepsilon^y_j(x^j_s,y^j_s)=W^y_{2^j}h(x^j_s,y^j_s)-W^y_{2^j}g(x^j_s,y^j_s)$$

(3) 由相邻局部模极大值点、$\varepsilon^x_j(x^j_s,y^j_s)$ 和

$\varepsilon_j^y(x_i^j, y_i^j)$，通过求解 $\varepsilon_j^x(x, y) = \alpha^x e^{2^j(x+y)} + \beta^x e^{-2^{-j}(x-y)}$ 和 $\varepsilon_j^y(x, y) = \alpha^y e^{2^j(x+y)} + \beta^y e^{-2^{-j}(x+y)}$ 的 α^x、β^x、α^y 和 β^y，进而求出 $\varepsilon_j^x(x,y)$ 和 $\varepsilon_j^y(x,y)$ 的离散值，即可得到 $W_{2^j}^x h(x,y) = \varepsilon_j^x(x,y) + W_{2^j}^x g(x,y)$ 和 $W_{2^j}^y(x,y) = \varepsilon_j^y(x,y) + W_{2^j}^y g(x,y)$.

（4）由 $W_{2^j}^x g(x, y) = W_{2^j}^x h(x, y)$ 和 $W_{2^j}^y g(x,y) = W_{2^j}^y h(x,y)$ 的小波逆变换可求得新的 $g'(x,y)$. 令 $e(x,y) = |g(x,y) - g'(x,y)|$，若对所有 x、y 满足 $e(x,y) < \varepsilon$，则停止计算，即得到了重构图象信号 $h(x, y) = g'(x, y)$；否则，$g(x,y) = g'(x,y)$，转至第 2 步.

虽然用小波变换局部模极大值方法重构的图象上，不仅很尖锐的边缘和纹理仍然保留了，同时消除了噪声干扰，而且压缩比高，但是也带来了如下不足：(1) 阈值大小决定迭代计算时间长短，即阈值越小，计算时间越长；(2) 明亮的纹理消失，一些细节难以区别. 由此可见，只用这一种压缩方法进行编码是不行的，只有联合应用其他编码方法来弥补其不足，才能进行效果好的压缩. 为此，本文根据误差图象的特点，采用了其与分形编码相结合的混合编码方法.

2　分形编码

在图象中，除了局部与整图之间存在着相似性外，图象中的某一部分与另一部分之间也存在相似性，实际上，由于大多数自然图象都具有这种相似性，因此就可以用图象自身的某一部分复制拷贝来拼贴自己的一部分. 根据拼贴定理，由于 N 个复制拷贝的小"图片"可拼贴出一幅逼近自己的原图象，而小"图片"就是一幅小图象；另一方面，如果将原图象划分成 N 个不重叠的小子块 $\boldsymbol{R}_i$ 和可以重叠的父块 $\boldsymbol{D}_j$，那么对于每一个子块 $\boldsymbol{R}_i$，若能都寻找到最佳匹配的父块 $\boldsymbol{D}_j$，即可通过寻找合适的收缩仿射变换 ω_i 和父块 D_j 来逼近 R_j，以使它们失真度最小，因此，可通过 N 个 $\omega_i(\boldsymbol{D}_j)$ 拼贴成一幅图象来逼近原图象. 为了提高分形编码图象的压缩比和恢复图象的质量，还必须采用几何形状比例与自适应的四叉树分形编码. 其中，几何形状比，就是父块与子块的边长比. 这里采用几何形状比例为 2∶1、7∶4、3∶2 和 5∶4，按大小排列，分为 4 档；为了降低分形编码时，搜索的复杂度，搜索的父块范围暂时定为子块附近区域. $l_{R_{\max}} = 2^{R_{\max}}$、$l_{R_{\min}} = 2^{R_{\min}}$ 分别为最大子块边长和最小子块边长. 分形编码具体步骤如下：

(1) 设定搜索范围为 $W \times W$，允许匹配误差为 ε，把图象 $\boldsymbol{A}$ 分割为不重叠的 $2^{R_{\max}} \times 2^{R_{\max}}$ 大小的子块 $\boldsymbol{R}_i$，其选用的最大几何形状比例为 2∶1 档，并用其在子块周围分割可以重叠的父块.

(2) 搜索子块 $\boldsymbol{R}_i$ 的最佳匹配映射，即以 $\boldsymbol{R}_i$ 位置为起点，在 $W \times W$ 范围内寻找与 $\boldsymbol{R}_i$ 相匹配的父块.

(3) 如果匹配的误差小于 ε，则记录最佳匹配的参数. 否则，转至步骤(4).

(4) 如果分形几何形状比例不是最小档，则把几何形状比例值减小一档，若在原最佳父块的周围分割可以重叠的父块，则转至步骤(2)，否则转至步骤(5).

(5) 如果误差大于 ε，则把子块 $\boldsymbol{R}_i$ 一分为四，并将几何形状比例升为最大档，然后在原最佳父块周围分割可以重叠的父块，转至步骤(2).

(6) 重复步骤(2)、(4)和(5)，直到所有的大小子块与相适应的父块之间匹配误差小于 ε 为止.

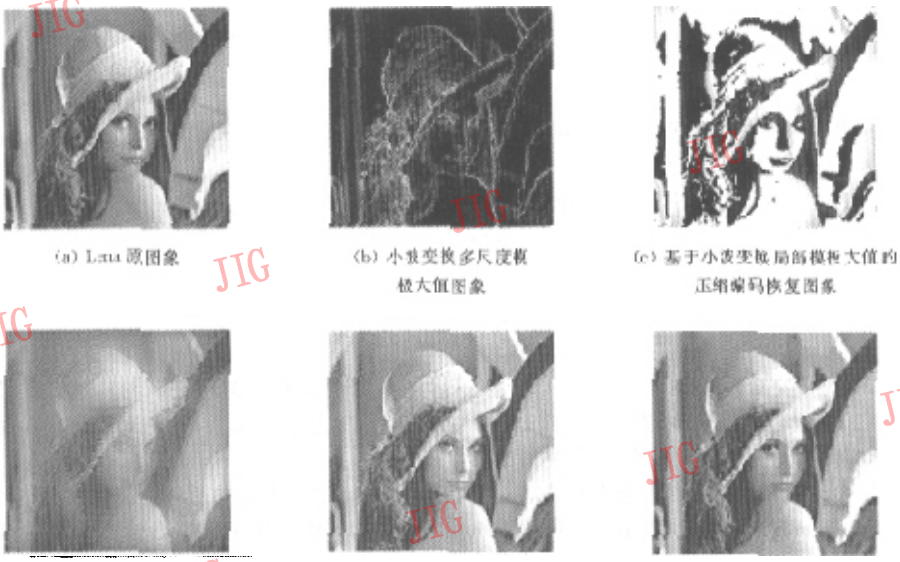
3　实验结果

首先采用小波变换局部模极大值进行图象压缩编码，然后统计测试图象的压缩性能. 在实验中，小波分解数为 4，还需通过设置不同的阈值来删去一些纹理变化点和噪声. 测试图象为 3 幅典型的 256×256×8bit 的图象，其压缩性能如表 1 所示.

表 1　几幅典型图象小波变换局部极大模方法编码的情况

图象	阈值	压缩比	峰值信噪比(dB)	恢复时间(s)
Lena	4	385.2	16.3	30.5
	10	984.3	10.3	9.4
	20	1 561.5	8.3	5.7
Girl	4	415.3	18.2	28.5
	10	1 134.5	11.7	8.6
	20	1 756.3	9.4	4.9
Gold hill	4	357.8	14.2	32.5
	10	857.4	8.3	11.3
	20	1 435.2	7.5	9.2

从表 1 可以得出结论：一方面虽然这种方法压缩比都很高，但恢复图象峰值信噪比很低，从图 1(c)可以看出，恢复图象只能区分图象的轮廓，一些细节无法看清楚；另一方面，阈值越大，压缩比越高，虽恢复图象所用的时间越短，但峰值信噪比也



(a) Lena 原图象　(b) 小波变换多尺度模极大值图象　(c) 基于小波变换局部模极大值的压缩编码恢复图象

基于小波变换局部模极大值的压缩编码恢复图象与原图象的误差图象　(e) 为压缩解码图象　(f) 分形编码重构图象

图 1　基于多尺度模极大值和分形的混合编码及重构 Lena 图象

越低. 因此,小波变换局部模极大值方法,只能在图象压缩中作为一种简单和低级的压缩方法使用.

本文采用可变几何形状比例分形编码来进行图象压缩,并通过设置不同的阈值来消除噪声,测试得到的 3 幅典型图象的压缩性能如表 2 所示.

表 2　几幅典型图象可变几何形状比例分形方法编码的恢复图象的峰值信噪比及恢复时间

图象	压缩比	峰值信噪比(dB)	恢复时间(s)
Lena	20.3	35.4	63.5
	28.5	32.6	43.2
	35.6	28.4	31.6
Girl	22.4	36.5	56.8
	31.6	34.2	25.3
	38.9	30.2	25.6
Gold-hill	18.6	34.3	68.5
	27.4	31.2	47.3
	33.7	26.9	32.7

本文采用的基于小波变换局部模极大值和分形的混合编码方法是,先用小波变换局部模极大值方法来进行图象初步编码,然后将由小波变换局部极大模编码重构的图象减去原图象后得到误差图象,再对误差图象进行基于可变几何形状比例和自适应的四叉树分形编码. 这里在小波变换局部模极大值编码中,是采用固定合适的阈值,而分形编码则采用不同的阈值,以得到不同的压缩比,本文方法的压缩性能如表 3 所示.

表 3　用基于小波变换局部模极大值和分形的混合方法编码恢复图象的峰值信噪比及恢复时间

图象	压缩比	峰值信噪比(dB)	恢复时间(s)
Lena	31.5	48.5	43.5
	46.3	43.7	38.7
	61.5	41.8	42.1
Girl	33.5	49.7	42.1
	48.2	44.5	37.5
	63.5	43.2	35.3
Gold hill	30.1	47.2	45.6
	43.5	41.5	43.1
	58.7	39.2	40.1

在单独分形编码和混合编码中,都采用了阈值,虽然混合编码也包含分形编码,但它们效果却相差很大. 从表 2 和表 3 可以看出,混合编码的重构图象,不仅压缩比高,峰值信噪比大,且用的时间短,虽在相同的压缩比情况下,单独分形编码虽比混合编码所用的时间要短,但峰值信噪比却比混合编码差得多.

图 1 显示了一幅 256×256 大小 Lena 图象采用本文方法压缩后恢复的图象,这 4 幅图象是一个基于小波变换局部模极大值和分形的混合编码图象的

压缩过程. 它的峰值噪比 $PSNR=41.8$，压缩比 $CR=61.5$. 图 1(f)为用可变几何形状比例与自适应的四叉树分形编码压缩后的恢复图象，其峰值信噪比为 28.4，压缩比为 35.6，重构图象效果一般，方块效应明显. 由图 1 可见，基于小波变换局部模极大值和分形的混合编码，其重构图象视觉效果较好，不仅无方块效应、边缘无振荡现象、图象较清晰无模糊现象，而且压缩比较高.

4 结　论

本文在研究讨论分形理论和小波变换模极大值用于图象压缩优缺点的基础上，提出了一种基于小波变换局部模极大值和分形的混合编码方法. 实验表明，采用此方法重构的图象，不仅视觉效果较好、无方块效应，而且具有边缘无振荡、图象较清晰、无模糊，压缩比高等优点.

参 考 文 献

1 Berman Z, Baaras J S. Properties of the multiscale maximal and zero crossing representing[J]. IEEE Trans. Signal Processing, 1993,431(12): 35～41.

2 Mallat S. Characterization of signals from multiscale edges[J]. IEEE trans. Patt. Anans Machine Intell. 1992,14(7):78～82.

3 Jacquin A E. Image coding based on a fractal theory of iterated contractive image transformations[J]. IEEE Trans. on Image Processing. 1992,1(1): 18～30.

4 Fisher Y. Fractal image compression: Theory and application[M]. New York: Spring Verlay, 1995:125～138.

5 Franscois Moreau, Saint-Martin, Pierre Siodan *et al*. Biorthogonal filterbanks and energy preservation property in image compression[J]. IEEE trans. Image Processing. 1999,8(8):168～178.

6 罗强，任庆利，罗莉等. 一种几何形状比例可变的分形图像压缩编码方法[J]. 西安交通大学学报(自然科学版),2001,34(8):56～60.

7 Davis J M. A wavelet based analysis of fractal image compression[J]. IEEE Trans. Image Processing, 1998,7(2):23～28.

罗　强　1966 年生，1987 年获二炮工程学院电子工程专业学士学位，1993 年获西北核技术研究所硕士学位，现为西安电子科技大学博士生. 主要研究领域为智能仪器仪表、神经网络、可靠性工程、分形、小波和图象处理等. 发表论文 60 余篇.

任庆利　1968 年生，1993 年获西安交通大学硕士学位，现为该校博士生. 主要研究领域为电子材料、神经网络、图象处理等. 发表论文 30 余篇.

罗　莉　1970 年生，副教授，博士后. 研究领域为硬软件设计、可靠性、神经网络、图象处理等. 发表论文 40 余篇.

杨万海　1941 年生，西安电子科技大学电子工程学院院长，博士生导师. 主要研究领域为信息融合、神经网络、图象处理等.