

基于 Fisher 分类和空间映射的分形图像编码方法

刘树群, 潘章容*

(兰州理工大学 计算机与通信学院, 兰州 730050)

(*通信作者电子邮箱 zhangrong_pan@sina.cn)

摘要:针对 Fisher 分类分形图像压缩算法中二维灰度变换匹配性能较差的问题,提出了改进的空间映射灰度变换方法。该方法将位置与亮度同时纳入到灰度变换中,形成三维空间上曲面模式之间的线性映射,并预先量化空间映射压缩因子,再计算和量化空间映射灰度变换的其他系数,提高 range 块和 domain 块成功匹配的可能性。实验证明,该方法在不降低重构图像质量的前提下,减少了编码块数,提高了图像的压缩比,大幅缩短了编码时间。

关键词:分形图像压缩;Fisher 分类;灰度变换;内积空间映射;压缩因子;四叉树分割

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

Fractal image coding method based on Fisher classification and space mapping

LIU Shuqun, PAN Zhangrong*

(College of Computer and Communication, Lanzhou University of Technology, Lanzhou Gansu 730050, China)

Abstract: Concerning the poor matching performance of two-dimensional gray-scale transformation in Fisher classification algorithm, an improved space mapping gray-scale transformation method was proposed. It put position and brightness into the gray-scale transformation at the same time, and formatted linear mapping between three-dimensional curved surfaces. The method quantified the scaling coefficient firstly, then calculated and quantified the other coefficients of improved gray-scale transformation to improve the possibility of successful range-domain matching. The experimental results show that this method reduces the number of coding blocks, improves the compression ratio and shortens the encoding time, while the quality of decoded image does not get much influenced.

Key words: fractal image compression; Fisher classification; gray-scale transformation; inner product space mapping; scaling coefficient; quadtree partition

0 引言

分形图像编码以其思想新颖、压缩比高、与分辨率无关、解码速度快等优点受到广泛关注^[1],是公认的最有前途的新一代图像编码技术之一。自 Barnsley^[2]提出利用迭代函数系统(Iterated Function System, IFS)进行图像压缩,Jaquin^[3]在此基础上提出分形块编码(fractal block encoding),实现全自动分形图像压缩,分形图像压缩理论基本成型。此后,大量的学者对此编码方法进行研究,Fisher 提出基于四叉树灰度均值分类方案,由于其实用性好得到认可和广泛应用^[4-6]。分形图像压缩的两个基础理论是拼贴定理^[7]和压缩映射定理^[8],压缩映射分为“反射—旋转”变换^[9]和灰度值变换。传统的灰度值变换是基于二维的线性映射,其匹配性能有限,所以提出合适的灰度值变换,提高峰值信噪比(Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR),增加重构图像的视觉效果和压缩比就成为一个重要的课题。

Qien 等^[10]提出了内积空间映射方法(以下简称空间映射),并给出了相关系数的计算结果,实验证明了空间映射良好的匹配性能,但计算复杂且耗时长;Bani-Eqbal^[11]在此基础上提出正交补和正交投影简化计算,采用树结构(tree structure)加速最佳匹配块的搜索,提高了编码速度;文献[12-15]将类似于空间映射的平面拟合应用于分形压缩,使图像的压缩比和 PSNR 大幅提升。

最初的基于三维的空间映射灰度值变换是对空间映射灰度变换的所有系数同时进行计算、量化后再存储,为保证解码时的收敛性,在量化时对压缩因子进行截断,影响了重构效果,且计算复杂,编码时间较长。针对上述不足,本文在 Fisher 四叉树分类方法基础上,提出了改进的空间映射灰度值变换算法。首先对压缩因子量化处理,再对其他的空间映射系数计算、量化、存储,既体现了空间映射关系的良好匹配性能,简化了计算,又保证了灰度变换的收敛性,以达到提高压缩比和缩减编码时间的目的,使编码算法更具有适应性。

1 Fisher 分类算法基本思想

Fisher 分类算法基于灰度均值分类的图像压缩算法,其分类的核心思想是:预先计算每个 range 块和 domain 块的四等分块的均值和方差,先根据均值排序分成 3 个主类,再按方差的分布情况,将每个主类又分成 24(4!)个子类,故共分成 $3 \times 24 = 72$ 类。其具体的编码和解码过程如下:

1) 设定四叉树分割的最大深度 $depth_{max}$ 和最小深度 $depth_{min}$,对图像共进行 $depth_{max} - depth_{min}$ 层分割,其中默认原始图像的深度 $depth$ 为 0,预设匹配误差阈值 tol 和步长 $step$ 。

2) 按照预先设定的分割深度和步长 $step$ 将原始图像进行分割,分成互相重叠的 $D \times D$ 的 domain 块集合,预先处理每层的 domain 块集合,包括进行“平均—抽样”变换和 8 大“反射—旋转”变换,按照上述的分类方案将 domain 块分成 72

收稿日期:2013-06-24;修回日期:2013-08-23。

作者简介:刘树群(1961-),男,吉林舒兰人,副教授,主要研究方向:分形几何、计算机图像学图像处理、模式识别;潘章容(1987-),女,湖南岳阳人,硕士研究生,主要研究方向:分形图像压缩。

类,将属同一类的块连成类链,共有 72 条类链,组成 domain 块池 Ω 。

3) 将原始图像二叉树分成互不重叠的 $B \times B (B = D/2)$ 的 range 块,当深度 $depth = depth_{\min}$ 时,开始对 range 块计算、编码。

4) 对刚得到的 range 块 R_i 先进行 8 大“反射—旋转”变换,将 range 块按上述的分类方案分成 72 类,然后在 domain 块池 Ω 相应层的同一类的类链中搜索,执行灰度值(相似性)变换计算。

5) 如果最佳匹配误差 $best_rms > tol$ 且 $depth < depth_{\max}$, 则把 R_i 块分成四个大小相同的 range 块,转到步骤 4); 否则说明找到最佳匹配块 D_j , 记录压缩映射 W_i , 包括最佳匹配块 D_j 的位置和相关计算参数和“反射—旋转”编号 sym_op 。

6) 重复上述计算过程,直到整幅图像编码完成。

解码是简单的迭代过程,预设迭代次数 $num_iterations$ (一般不超过 10), 本文设定为 6 次,重构图像由分形码描述的压缩映射 W_i 迭代作用于任意与编码图像大小相同的图像来生成,将每次迭代生成的图像代入下一次迭代过程,直到达到预设的迭代次数;为减少重构图像的块效应,在迭代结束后对图像采用块边界光滑处理后,解码结束。

2 灰度变换理论

分形图像压缩编码的压缩映射变换主要分类两个部分,一部分是“反射—旋转”变换即仿射变换,另一部分是灰度变换,本文主要是对灰度变换进行研究和改进。

2.1 传统的灰度变换

对于上述出现的 $R_i \approx \phi(D_j)$, 对于传统的平面映射方式,若找到与 R 满足某种线性关系的子块 D , 即满足

$$\phi(D) = tD + oI \quad (1)$$

其中: t 是压缩因子, o 是亮度偏移因子;实践中利用均方差(Root Mean Square, RMS)计算 t 和 o 值。有方程

$$Q = \min_{t,o} \sum_{i=1}^n (ty_i + o - x_i)^2 \quad (2)$$

式(2)表明,对于 R 中的像素灰阶值 x_i, y_i 是相应位置的 D 中的像素值。令

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial Q}{\partial o} = 0$$

解得

$$t = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i}{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2} \quad (3)$$

$$o = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n x_i - t \sum_{i=1}^n y_i \right] \quad (4)$$

由此

$$Q = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n x_i^2 + t \sum_{i=1}^n (y_i^2 t - 2y_i x_i + 2oy_i - 2ox_i) + no^2 \right] \quad (5)$$

如果式(3)的分母为 0, 则 $t = 0$, 均方误差为 \sqrt{Q} 。

2.2 空间映射灰度变换

2.2.1 空间映射灰度变换基本理论

基于三维的空间映射关系 $R_i \approx \phi(D_j)$, 若找到与 R 满足某种线性关系的子块 D , 即满足

$$\phi(D) = ai + bj + d + sD \quad (6)$$

其中: s 是压缩因子, a, b, d 为空间映射参数;采用 RMS 计算 a, b, s 和 d 值,得到式(7)。

$$E(R, D)^2 =$$

$$\min_{a,b,s,d} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (ai + bj + sD(i, j) + d - R(i, j))^2 \quad (7)$$

其中: (i, j) 是 R 块对应的图像像素矩阵的位置, $R(i, j)$ 表示 R 块 (i, j) 位置上的灰度值, $D(i, j)$ 是 D 块“平均—抽样”变换后 (i, j) 位置上的灰度值, n 是该块的尺寸大小。

2.2.2 改进的空间映射灰度变换

首先确定量化 s 所用的比特位数 m , 然后再确定 s 的取值集合 $\{s_k\} (k = 1, 2, \dots, m)$, 最后根据 s_k 值确定剩下的参数,式(6)变为:

$$\phi(D) = s_k D + ai + bj + d;$$

$$row \leq i \leq row + n - 1, col \leq j \leq col + n - 1$$

其中: (row, col) 是对应块 D 起始位置, n 是该块的尺寸大小。

故 range 块和 domain 块的匹配计算问题转换为在集合 $\{s_k\} (k = 1, 2, \dots, m)$ 中搜索最佳值和平面拟合的问题,即求解如下最优化问题:

$$E(R, D)^2 = \min_k \min_{a,b,d} \|s_k D + ai + bj + d - R\|^2 \quad (8)$$

其中 $\|\cdot\|$ 是二范数。

s_k 值代入式(8),式(8)的内层约束最小化问题转化为

$$E_k(R, D)^2 = \min_{a,b,d} \|ai + bj + d - (R - s_k D)\|^2 \quad (9)$$

记 $R - s_k D = P_{DR} = P_k(i, j)$, 式(9)化为求解以下问题:

$$Q = \min_{a,b,d} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (ai + bj + d - P_k(i, j))^2$$

令

$$\frac{\partial Q}{\partial a} = \frac{\partial Q}{\partial b} = \frac{\partial Q}{\partial d} = 0$$

解得

$$a = \frac{12 \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_k(i, j) i - \frac{n+1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_k(i, j) \right)}{n^2 (n+1) (n-1)} \quad (10)$$

$$b = \frac{12 \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_k(i, j) j - \frac{n+1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_k(i, j) \right)}{n^2 (n+1) (n-1)} \quad (11)$$

$$d = \frac{(7n+5) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_k(i, j) - 6 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_k(i, j) (i+j)}{n^2 (n-1)} \quad (12)$$

将式(10)~(12)和 s_k 值代入到式(8),并计算 R 块和 D 块的匹配误差 $E(D, R)^2$ 。

3 实验结果及分析

3.1 实验参数设定

在实验中,选用标准测试图像 Lena ($512 \times 512 \times 8$) 来验证本文算法分析的正确性和编码效果。传统算法采用 5 bit 量化压缩因子 t 值, 7 bit 量化亮度偏移因子 o 值。实验证明, 分别用 6 bit, 5 bit 非均匀量化 a 值、 b 值, 9 bit 均匀量化 d 值, 既能保证参数的精度和准确度, 也能保证改进算法的重构效果; 用 $s_bits = 2$ b 量化 s 值, $s = \{0.25, 0.50, 0.75, 0.9375\}$ 。

对标准测试图像, 最大的 range 块的尺寸为 $(512/2^{\min_part}) \times (512/2^{\min_part})$, 对应最小分解深度 $depth_{\min}$; 最小的 range 块的尺寸为 $(512/2^{\max_part}) \times (512/2^{\max_part})$, 对

应最大分解深度 $depth_{max}$; 设定匹配误差阈值为 tol , domain 块的步长因子 $step$ 随分割深度变化, 等于对应深度的 domain 块的尺寸大小; 测试性能参数为 PSNR (单位: dB)、主观图像质量、编码时间 (单位: s) 和压缩比。

表1 两种灰度变换下的实验数据

分割深度 ($depth_{min}, depth_{max}$)	传统算法				改进算法			
	编码时间/s	PSNR/dB	压缩比	编码块数	编码时间/s	PSNR/dB	压缩比	编码块数
(6, 8)	7.0	32.72	9.44	8044	8.1	32.92	8.95	6322
(5, 8)	8.6	32.38	10.54	7087	8.0	32.39	10.76	5227
(4, 8)	6.9	30.53	12.69	5881	5.6	30.91	15.56	3655
(3, 8)	4.6	28.85	16.80	4498	3.5	28.73	27.33	3468



图1 Lena 测试效果

本文算法中, 压缩比和解码质量依赖于 2 个控制参数: 匹配误差阈值 tol 和最小分割深度 $depth_{min}$, tol 随 $depth_{min}$ 的减小适当增加, 表 1 中 tol 分别取值 {80, 80, 120, 160}。参数 $depth_{min}$ 取值越小, tol 值适当增加, 分割的最大 range 块越大, 参与编码的 range 块数量越少, 编码时间减少, 压缩比增加。

从表 1 来看, 当 $depth_{min} = 6$ 时, 相对于传统算法, 改进算法降低了匹配误差使 PSNR 增加了 0.2 dB, 压缩比却不降 0.5; $depth_{min} \leq 5$ 时, 改进算法的优越性得到体现, 图像的编码块数减少, 压缩比和 PSNR 值都好于传统算法。当 $depth_{min}$ 减小到 4 和 3 时, 在 PSNR 基本保持与原算法同水平的基础上, 参与编码的 range 块明显减少, 压缩比分别增加了 2.9 和 10.53, 同时编码时间分别降低 1.3 s 和 1.1 s。

图 1 结果显示, 传统算法的 PSNR 稍微好于改进算法的 PSNR, 本文算法的块效应不明显, 除在下颚处和眼睛处, 其他的细节显示清晰, 主观图像质量好于传统算法。

在分割的 $depth_{min}$ 较小时, 本文提出的改进算法相比于传统算法, 提高了图像的压缩比, 减少了编码时间, 同时重构图像的主观质量也优于传统方法。

3.3 对 s 值的讨论

压缩因子 s ($0 < s < 1$) 值保证了压缩变换的收敛性, 是分形图像压缩的关键因子。实验中却发现, 在改进算法中 s ($0 < s < 1$) 值的改动对图像的压缩比和 PSNR 影响不大, 但是对编码时间却影响显著。分别取值 $s = \{0.25, 0.75\}$ 以及 $s = \{0.5\}$, 相应采用 $s_bits = 1$ bit 和 $s_bits = 0$ bit 存储 s 值。实验结果如表 2 所示。

表2 两种 s 值存储实验数据

s_bits	($depth_{min}, depth_{max}$)	编码时间/s	PSNR/dB	压缩比	编码块数
1	(6, 8)	4.4	32.02	9.04	6424
	(5, 8)	4.3	31.72	10.81	5341
	(4, 8)	3.7	30.34	15.64	3733
0	(6, 8)	2.5	31.61	9.06	6583
	(5, 8)	2.4	31.19	10.41	5692
	(4, 8)	1.7	30.32	14.67	4087

3.2 实验环境和结果分析

算法在 VisualC++ 6.0 编译器上采用 C 语言编程实现; 计算机配置为 AMD A6 四核处理器, CPU 时钟主频为 1.5 GHz, 4 GB 内存。实验结果如表 1 和图 1 所示。

将表 2 与表 1 中相关数据进行对比, 实验结果显示, 在 $s_bits = 1$ bit 和 $s_bits = 0$ bit 时, 没有对 PSNR 和图像压缩比造成很大影响, 但是编码时间却明显减少。当 $s_bits = 1$ bit 时, 编码时间平均减少 173%, 编码速度将近提高 2 倍; 当 $s_bits = 0$ bit 时, 编码时间平均减少 328%, 编码速度将近提高 4 倍。

实验结果显示, 减少对 s 值的量化编码, 使 PSNR 在一定程度上下降, 但能明显减少编码时间, 即用 $s_bits = 0$ bit 存储 s 值, s 取值 0.5 适用于实时性的编码计算。

4 结语

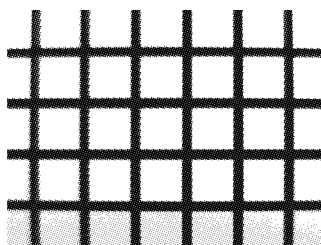
分形图像压缩编码是一种思想新颖、很有发展潜力的压缩方法。本文在 Fisher 分类方法的基础上提出了基于三维的空间映射灰度变换改进算法, 让图像的空间位置和亮度都参与灰度计算, 并先对压缩因子进行量化处理, 再对其他的系数计算、量化、存储。将改进算法和传统的方法进行对比实验, 在不影响图像质量的前提下, 增加了 domain 块和 range 块成功匹配的可能性, 从而使参加编码的 range 块平均减少了 29.0%, 图像的压缩比提高了 29.2%。本文方案在保证图像压缩比的同时, 大幅减少了编码时间, 适用于对重构图像质量要求宽松的实时性图像编码。改进算法的图像重构质量还有待于进一步提高, 而分类方法的设计也是进一步的研究方向。

参考文献:

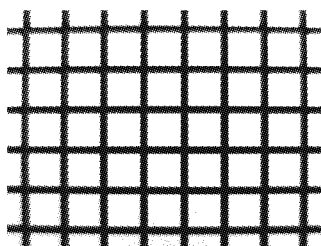
- [1] 李高平. 基于二维特征的快速分形图像编码方案[J]. 西南民族大学学报: 自然科学版, 2011, 37(3): 485-490.
- [2] BARNESLEY M F. Fractal everywhere [M]. New York: Academic Press, 1988.
- [3] JACQUIN A E. Image coding based on a fractal theory of iterated contractive image transformations [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1992, 1(1): 18-30.
- [4] 刘伯红, 阎英. 一种改进的四叉树分形图像编码算法[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(5): 103-105.
- [5] 牟宇飞, 张文普, 彭焜, 等. 基于小波树和四叉树的分形图像编码算法研究[J]. 微型机与应用, 2013, 32(11): 49-52.
- [6] 王海涛, 丁宣浩. 基于 Fisher 分类和自适应阈值的分形图像编码方法[J]. 广西科学, 2008, 15(3): 285-287.
- [7] 姜莉, 刘天时. 一种基于分形的图像编码改进算法[J]. 微计算机信息, 2010, 26(11): 206-208.
- [8] 钱春强, 王继成. 四叉树理论在分形图像编码中得应用[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(23): 61-63.
- [9] 滕姿, 邓辉文, 杨久俊. 一种基于邻域搜索的分形图像编码算法[J]. 计算机应用, 2008, 28(6): 1530-1532.

(下转第 3558 页)

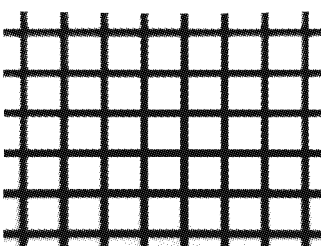
校正前后这四条直线上的各个点到其拟合直线的距离之和 D 。为对比文献[7]介绍的方法与本文方法的畸变校正效果,用文献[7]方法对图4(b)进行畸变系数标定,得到 $k = 8.084 \times 10^{-8}$,以像面的几何中心(516,389.5)为畸变中心,对图4(b)进行校正,同样计算校正后 L_{up} 、 L_{down} 、 L_{left} 、 L_{right} 上各个点到其拟合直线的距离之和 D ,结果见表2。可见,本文方法的畸变校正效果明显优于文献[7]的方法。



(a) 长焦距下拍摄的畸变图像



(b) 短焦距下拍摄的畸变图像



(c) 短焦距下的校正图像

图4 畸变参数标定及校正图像

表2 校正前后直线度 D 对比

图像	L_{up}	L_{down}	L_{left}	L_{right}
畸变图像	20.28	20.98	15.47	12.86
本文方法校正图像	1.12	1.16	0.61	0.56
文献[7]方法校正图像	3.75	4.02	2.18	1.84

4 结语

本文详细分析了目前镜头畸变校正方法存在的各自弊端,相对于已知摄像机参数的畸变校正方法,本方法不需要先

对摄像机的内外部参数进行标定,简便易行,同时也避免了内外部参数标定精度不高对畸变系数标定精度的影响;相对于未知摄像机参数的畸变校正方法,本方法先对镜头的畸变中心进行了标定,再标定畸变系数,排除了未标定畸变中心而直接标定畸变系数所引入的误差。仿真结果证实了本方法的准确性和鲁棒性。用直线网格对本方法进行的实验分析表明,本方法得到的畸变中心和畸变系数能够有效校正镜头畸变,改善图像质量。

参考文献:

- [1] ZHANG Z. A flexible new technique for camera calibration [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330-1334.
- [2] 葛宝臻, 李晓洁, 邱实. 基于共面点直接线性变换的摄像机畸变校正[J]. 中国激光, 2010, 37(2): 488-494.
- [3] RICOLFE-VIALA C, SANCHEZ-SALMERON A J, MARTINEZ-BERTI E. Accurate calibration with highly distorted images [J]. Applied Optics, 2012, 51(1): 89-101.
- [4] TU B, LIU L, LIU Y, et al. High precision two-step calibration method for the fish-eye camera [J]. Applied Optics, 2013, 52(7): 37-42.
- [5] 吴庆双, 付仲良, 孟庆祥. 基于序列图像的摄像机自标定方法[J]. 计算机应用, 2011, 31(11): 3010-3014.
- [6] 贺俊吉, 张广军, 杨先铭. 基于交比不变性的镜头畸变参数标定方法[J]. 仪器仪表学报, 2004, 25(5): 597-599.
- [7] 周富强, 胡坤, 张广军. 基于共线特征点的摄像机镜头畸变校正[J]. 机械工程学报, 2006, 42(9): 174-177.
- [8] ALVAREZ L, GOMEZ L, HENRIQUEZ P. Zoom dependent lens distortion mathematical models [J]. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 2012, 44(3): 480-490.
- [9] WU J, LIU G. Noniterative calibration of a camera lens with radial distortion [J]. Measurement Science and Technology, 2012, 23(10): 105013.
- [10] 李颖, 杨明. 基于非线性逆透视变换的摄像机畸变参数标定[J]. 上海交通大学学报, 2008, 42(10): 1736-1739.
- [11] FU H, CAO X. Forgery authentication in extreme wide-angle lens using distortion cue and fake saliency map [J]. Information Forensics and Security, 2012, 7(4): 1301-1314.
- [12] HUANG F, WANG Y, SHEN X, et al. Method for calibrating the fisheye distortion center [J]. Applied Optics, 2012, 51(34): 8169-8176.
- [13] FUJINO A, TOBITA T, SEGAWA K, et al. An elevator group control system with floor-attribute control method and system optimization using genetic algorithms [J]. Industrial Electronics, 1997, 44(4): 546-552.
- [14] TSAI R. A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses [J]. Robotics and Automation, 1987, 3(4): 323-344.

(上接第3554页)

- [10] QIEN G E, LEPSOY S, RAMSTAD T A. An inner product space approach to image coding by contractive transformations [C] // ICASSP 91: Proceedings of the 1991 International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Piscataway: IEEE, 1991: 2773-2776.
- [11] BANI-EQBAL B. Speeding up fractal image compression [C] // Proceedings of the 1995 International Society for Optical Engineering, Proceedings Solution and Technology Symposium on Still-Image compression, SPIE 2418. San Jose: SPIE, 1995: 67-74.
- [12] SALAH A, OTMAN B. Image compression using plane fitting with

inter-block prediction [J]. Image and Vision Computing, 2009 (27): 385-390.

- [13] WANG X Y, WANG S G. An improved no-search fractal image coding method based on a modified gray-level transform [J]. Computer & Graphics, 2008, 32(4): 445-450.
- [14] WANG X Y, WANG Y X, YUN J J. An improved no-search fractal image coding method based on a fitting plane [J]. Image and Vision Computing, 2010, 28(8): 1303-1308.
- [15] WANG X Y, GUO X, ZHANG D D. An effective fractal image compression algorithm based on plane fitting [J]. Chinese Physics B, 2012, 21(9): 090507.