

基于像素采样的分形图像编码算法^①

苏兆宝¹, 周敏¹, 郑红婵¹, 李晓珺²

¹(西北工业大学 理学院, 西安 710129)

²(辽宁大学 数学院, 沈阳 110036)

摘要: 分形图像编码是一种基于自然图像局部自相似性的有效压缩算法技术。但是, 基本的分形编码算法是耗时的, 由于在基本编码算法中值域块要在庞大的定义域块库中搜索最佳的匹配块。为了减少编码时间, 该文提出了基于像素采样的分形编码方案。该方案既不需要复杂的理论分析, 也不需要改变现有的分形编码、解码过程, 因此能够以直接的方式引进其他的快速的编码算法。计算机仿真显示, 在 PSNR 降低的情况下, 编码的匹配搜索时间大幅度减少, 同时解码图像的主观质量并没有很大程度上明显降低。

关键词: 分形; 分形编码; 像素采样

Fractal Image Encoding Based on Pixel Sampling

SU Zhao-Bao¹, ZHOU Min¹, ZHENG Hong-Chan¹, LI Xiao-Jun²

¹(school of Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

²(Mathematics Instituec, Liaoning University, Shengyang 110036, China)

Abstract: Fractal image coding is a novel and a developed potential image compression technique based on the local self-similarities within real world images. However, the baseline fractal image coding is time consuming due to the best matching search between range blocks and numerous domain blocks. In order to reduce encoding times, the paper proposed an improved scheme for fractal image coding based on pixel sampling. The improved scheme not only does not need any complex theoretical analysis, but also does not need to change the existing fractal decoding procedure; thus it can bring in other fast fractal image encoding algorithms in a straightforward manner. Computer simulations on a set of standard images show that match searching time can be reduced substantially and the subject image quality remain unchanged basically, while the PSNR being decreased slightly.

Key words: fractal; fractal encoding; pixels sampling

信息是现代社会的主要特征, 其主要载体有声音, 文字, 图像等。与其他的信息载体相比, 图像表示信息不仅在于其直观性强, 信息量大, 而且还具有在存储和传输过程中保真度高, 更直观, 更生动, 更易于进行数学处理等优点。但是, 当前大量图像信息数据的存储, 处理, 传输与当前有限的存储资源记忆和数据的传输能力形成了难以调和的矛盾。为了突破这一瓶颈, 实现具有更高压缩比, 更好压缩效果的图像压缩处理技术^[1]对图像进行压缩已经成为非常重要的研究课题。经过几十年的发展, 人们提出了诸多图像压

缩的算法。八十年代中期, Barnsley 和他的合作者^[2]提出了将分形思想应用于图像压缩并率先提出了利用迭代函数系统和拼贴定理对图像进行压缩, 开辟了一条与以往的图像压缩完全不同的思路, 为图像压缩领域注入了新的活力。九十年代初, Jacquin^[3]提出自动分形编码以来, 分形图像压缩以其新颖的压缩思想, 高压比, 解码速度快, 与分辨率无关等优点, 吸引了国内外众多知名学者的广泛关注, 被公认为图像压缩领域最有前途的算法之一。短短的十几年间, 分形编码算法的研究取得了长足的发展^[4]。

① 收稿时间:2013-05-18;收到修改稿时间:2013-06-21

分形图像编码技术是建立在自然图像局部自相似性的基础上. 分形图像编码技术的基本思想就是图像用压缩仿射变换的量化参数来表达, 而存储仿射变换量化参数的比特数大大低于存储原始图像的比特数, 这样就减少了图像的存储空间实现了图像数据的高倍压缩. 基本的分形图像编码, 每个值域块都要在庞大的定义域块库中搜索最佳匹配块, 计算复杂度相当可观, 占据了大量的时间, 因此编码时间过长成为分形编码算法在实际应用中的最大障碍. 为了解决这个问题, 许多基于分形压缩的改进方案被提出, 极大地丰富了图像压缩算法领域, 分形图像压缩研究呈现了一个崭新的局面. 目前, 主要的改进编码算法有以下几种: 分类编码^[5-7], 聚类搜索^[8], 基于方差的搜索^[9-11], 特征搜索^[12,13]以及最近比较流行的自适应性搜索算法^[14,15], 遗传算法^[16], 蚁群优化搜索^[17], 粒子群优化^[18]等智能搜索算法. 这些改进编码算法的基本思想都是基于减少每个值域块的匹配次数, 减少编码时间. 本文从一个新的角度来改进图像压缩算法, 也就是利用特殊的图像采样方式将图像数字矩阵进行分块, 然后对每块分别进行编码. 本文提出的算法在主观视角可接受质量范围内, 能够极大地加速编码过程, 减少编码时间.

1 基本的分形编码算法

Jacquin^[3]提出的自动分形编码算法是分形图像压缩算法中最基本, 最简单的形式也是分形图像压缩方面的基础. 分形图像编码是依据拼贴定理和不动点定理, 通过给定的图像, 寻找一组收缩映射, 使其组成的迭代函数系统吸引子逼近给定的图像, 然后记录下相应参数. 解码过程是由相应参数确定迭代函数系统, 并根据迭代函数系统定理, 经过迭代生成图像. 基本算法编码的基本步骤如下:

第一步. 分割图像: 将原始图像分割成若干个互不重叠的, 大小为 $B \times B$ 的子块, 称之为值域块, 记为 R_1, R_2, \dots, R_N (N 为值域块的数目). 这些值域块的并集能够完全的覆盖整个图像, 所有值域块组成值域块库 R . 同时再将待编码图像分割成若干个可以重叠的, 大小为 $K \times K$ 的子块, 称之为定义域块, 记为 D_1, D_2, \dots, D_M (M 为定义域块的数目). 这些定义域块组成定义域块库 D . 要求 $K \geq B$, 以满足映射定理, 一般取 $K = 2B$. 这些定义域块允许重叠同时要求完全覆盖整个图像. 一般来说, 通过一个自左到右, 自上

到下的滑动的窗口可以获得所有的定义域块. 这就使得实现自动的编码成为可能.

第二步. 整理定义域块库: 首先, 对于定义域块库中定义域块 D_i 采用平均法或者采样法将相邻像素的灰度值进行平均, 使得 D 块和 R 块大小相等. 其次, 再对定义域块 D_j 采用八种放射变换, 对于定义域块 D_i 产生八种域块变换记为 $D_{jk}(j=1,2,\dots,M, k=1,2,\dots,8)$, 其中, j, k 分别表示定义域块的序号和变换的序号, 这样就产生了一个扩展的定义域块库.

第三步. 值域块的匹配: 对于值域块库中的每个值域块 $R_i(i=1,2,\dots,N)$ 都要在扩展的定义域块库中搜索最佳的定义域块 $D_{jk}(j=1,2,\dots,M, k=1,2,\dots,8)$. 其中每个值域块 R 有其最佳匹配定义域块 D 的亮度变换(对比度和亮度调整)来近似, 即 $R \approx S * D + O * I$, 其中 S, O 分别起调整 D 的对比度和亮度的作用, I 为元素都是 1 的常数块. 对于值域块库中的每个值域块 R_i , 为了寻求最佳匹配定义域块 D_{jk} , 必须求解下面的极小值问题.

$$\|R_i - (S_i * D_{im} + O * I)\| = \min_{j,k(1 \leq j \leq M, 1 \leq k \leq 8)} \left(\min_{S,O \in R} \|R_i - (S * D_{jk} + O * I)\| \right)$$

D_{im} 表示值域块 R_i 对应的最佳匹配块(其中 im 对应于匹配块的序号), S_i, O_i 对应匹配块的对比度, 亮度变换的最优调整. (im, S_i, O_i) 为对应于值域块 R_i 的分形码, 全体 R_i 的分形码就组成原始图像的分形码, 它描述了一个使图像近似不变的压缩仿射变换 T .

第四步. 解码是相对简单的迭代过程, 由 Banach 压缩映射原理给出的迭代算法完成, 即压缩变换 T 迭代作用于任何初始图像来生成. 拼贴定理保证变换不动点是原始图像的一个近似图像.

2 分形图像压缩的改进算法

对于一个 $N \times N$ 大小的图像 I , 值域块的大小设置为 $B \times B$, 因此值域库中共有 $(N/B)^2$ 个值域块, 定义域块的大小设置为 $2B \times 2B$, 定义域块滑动的大小为 σ , 因此定义域块库中共有 $\sigma = B((N-2B)/\sigma+1)^2 * 8$ 个定义域块. 如果设 $\sigma = B$, 定义域块库中则有 $(N/B-1)^2 * 8$ 个定义域块. 在基本的算法中, 每个值域块都要和值域块库中的定义域块进行匹配搜索, 对图像 I 进行分形编码共需要 N_{RD} 次匹配 $N_{RD} = (N/B)^2 * (N/B-1)^2 * 8$. 通过减少值域块的匹配次数这条路径来达到减少编码时间的目的, 利用像素

采样的方式对图像数字矩阵块预处理. 采用特殊采样方式(对图像矩阵隔行抽取像素 对于每一行同时抽取奇数点或者偶数点)对图像数字矩阵 I 进行采样, 然后重组数字矩阵 I_1, I_2, I_3, I_4 . 对每个 I_1, I_2, I_3, I_4 数字矩阵, 分别进行基本的分形编码算法, 仍然采用值域块的大小设置为 $B \times B$, 定义域块的大小设置为 $2B \times 2B$, 定义域块滑动的大小为 σ , 其中 $(\sigma = B)$. 对于每个 $I_i (i=1,2,3,4)$ 数字矩阵块, 可以得到 $(N/2B)^2$ 个值域块的值域块库, $(N/2B-1)^2 * 8$ 个定义域块的定义域块库. 这样对每个 $I_i (i=1,2,3,4)$ 数字矩阵块进行基本的编码共需要 N_{rd} 次匹配 $N_{rd} = (N/2B)^2 * (N/2B-1) * 8$. 因此, 对于整个图像数字矩阵进行编码共需要 N_{RD} 次匹配, $N_{rd} = (N/2B)^2 * (N/2B-1)^2 * 32$. 利用分形编码算法对图像数字矩阵块进行分形编码, 大部分的时间都花在值域块搜索最佳定义域块上了. 对同一个图像数字矩阵 I , 可以看到基本的算法要匹配 N_{RD} 次, 本文提出的算法需要匹配 N_{RD}^* 次. 显然, 本文算法的匹配次数大幅度的减少, 编码速度有了很大程度的提高, 因此, 本文算法能够降低编码时间.

事实上, 本文算法是通过对图像数字矩阵块进行特殊的像素采样重组图像数字矩阵, 然后对重组的图像数字矩阵块分别进行编码, 改变了对整个图像的编码格局. 本文算法和基本算法的值域块库中值域块的数量没有变化, 但是值域块库中的每个值域块数字矩阵中的像素数值发生了变化; 定义域块库定义域块的数量发生了显著变化, 而且定义域块库中的每个定义域块数字矩阵中的像素数值发生了变化. 相对于基本算法, 本文算法重组的图像数字矩阵块中的值域块通过减少需要匹配的定义域块的数量, 来降低编码时间.

3 仿真结果

本文算法中值域块的搜索匹配仍然使用基本的搜索方法. 理论上分析: 本文算法解码图像的 PSNE 可能会略有下降(因为本文算法中的构造的值域块, 定义域块的连续性与基本算法相比明显降低, 而且每个值域块的匹配次数明显减少), 但是本文算法的编码时间肯定会大大的降低. 实验结果验证了本文算法的推断.

为了证明本文所提出算法的可行性, 实验采用了五幅不同类型的 $256 \times 256 \times 8\text{bit}$ 标准测试图像, 分别为 Lean, Peppers, Barbara, Cameras 和 Boats 图像. 实验平台为运行 Windows XP 的 PC(2.20GHzCPU/2GB 内

存), 算法采用固定块分割, MATLAB 编程. 采用基本的分形编码算法, 选取 R 块的大小为 4×4 , D 块大小为 8×8 , 滑动窗口步长为 4 个像素. 采用峰值信噪比和编码时间作为测试性能的评判标准. 表 1 给出了两种算法对五幅图像得到的实验数据, 基本算法和本文算法得到的解码图像如图 1, 图 2, 图 3, 图 4, 图 5 所示.

表 1 两种算法对五幅实验图像得到的实验数据

图像		算法	
		基本算法	本文算法
lean	PSNR	33.84	31.22
	Time	72.40	18.92
Peppers	PSNR	32.88	30.68
	Time	73.39	19.25
Barbara	PSNR	32.29	30.54
	Time	73.32	30.68
Cameras	PSNR	34.28	32.87
	Time	75.52	20.14
Boats	PSNR	33.59	32.02
	Time	73.58	20.08



图 1 基本算法(左)和本文算法(右)的 Lean 解码图像



图 2 基本算法(左)和本文算法(右)Peppers 解码图像



图 3 基本算(左)和本文算法(右)Barbara 解码图像



图 4 基本算法(左)和本文算法(右)Cameras 解码图像



图 5 基本算法(左)和本文算法(右)Boats 解码图像

一个熟知的事实就是, PSNR 有时并不是图像质量的完美度量, 对于某些图像来说, PSNR 的增加未必意味着图像主观质量的改善, PSNR 的减少未必意味着图像主观质量的下降. 通过表 1 可以得到: 使用本文算法得到的五幅解码图像的 PSNR 相比于使用基本算法都略有减少, 但是编码时间都大大减少. 图 1, 图 2, 图 3, 图 4 和图 5 分别是基本算法和本文算法得到的五幅解码图像的对比: 总体上来说, 本文算法得到的解码图像与基本算法相比并没有明显的视觉损失. 从图 2 可以看出使用基本的编码算法得到的 Peppers 解码图像有明显的白噪, 而本文算法得到的解码图像没有白噪. 图 4, 图 5 显示: 本文算法对自相似程度高的图像压缩效果更好. 因此, 从主客观质量和编码时间的综合考虑, 本文方案确实改进了现有的分形编码算法.

4 结语

基本分形编码算法中, 编码时间过长是分形编码算法走向高效能、实用化的最主要障碍. 因此寻找一种块速有效的分形编码方法是目前分形图像编码研究的一个重要方向. 本文算法提出了一个新颖的图像分形压缩算法, 理论分析非常简单, 算法极易实现, 突破了基本算法中都是在整个图像块上来进行改进搜索算法的局限. 更进一步的说, 由于本文提出的算法是对整个图像块的预处理, 因此, 本文提出的算法可以和其他改进的优化搜索算法进行结合, 能够实现更好

的效果, 这也体现了本文算法提出的重要意义.

参考文献

- 1 唐国维, 顾国昌. 基于单窗口扫描的并行 EBCOT 编码. 哈尔滨工业大学学报, 2008, 40(12): 2078-2081.
- 2 Barnsley MF, Sloan AD. A better way to compress images. Bytemagazine, 1988, 13(1): 215-223.
- 3 Jacquin AE. A novel fractal block coding technique for digital image. Proc. of ICASSP IEEE International conference on ASSP. 1990. 2225-2228.
- 4 Jeng JH, Truong TK, Sheu JR. Fast fractal image compression using the Hadamard transform. IEE Proc. Vision, Image and Signal Processing, 2000, 147(6): 571-574.
- 5 Fisher Y. Fractal Image Compression-Theory and Application. New York: Springer-Verlag. 1994. 338-346.
- 6 Rowshanbi N, Samavi S, Shirani. Acceleration of fractal image compression using characteristic vector classification. Electrical and Computer Engineering. CCECE'06. Canadian Conference on. IEEE. 2006. 2057-2060.
- 7 Li J, Fu P, Liu JG. Fractal image coding based on classification and clustering. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2002, 14(4): 348-350.
- 8 Lee CK, Lee WK. Fast fractal image block coding based on local variances. IEEE Trans. Image Processing, 1998, 7(6): 888-891.
- 9 Lai CM, Lam KM, Siu WC. Improved searching scheme for fractal image coding. Electronics Letters, 2002, 38(25): 1653-1654.
- 10 He C, Yang SX, Huang X. Variance-based accelerating scheme for fractal image encoding. Electronics Letters, 2004, 40(2): 115-116.
- 11 He C, Yang SX, Xu X. Fast fractal image compression based on one-norm of normalized block. Electronics Letters, 2004, 40(17): 1052-1053.
- 12 Truong TK, Kung CM, Jeng JH, Hsieh ML. Fast fractal image compression using spatial correlation. Chaos, Solitons and Fractals, 2004, 22: 1071-1076.
- 13 Tong CS, Pi M. Fast fractal image encoding based on adaptive search. IEEE Trans. Image Processing, 2001, 10(9): 1269-1277.
- 14 Tong CS, Wong M. Adaptive approximate nearest neighbor

(下转第 167 页)

END IF

Picture1(COUNT-1).Picutre=LoadPicture(s).....

5 结语

本文依据拓扑图图码离散的方法建立了机构简图的图码库,并建立了与之关联的图码矩阵,最终完成了轮系机构简图的计算机自动生成.当进一步对图码库进行完善,就可以实现任意机构简图的设计.解决了国内外机构简图的绘制完全依据手工进行的问题,提高了机构设计的效率,为轮系进行型综合和结构综合以及用于周转轮系的自动化静态设计与静态特性分析奠定了全新的理论基础,基于这个新的理论基础,完成了周转轮系实用化和集成化软件的开发,为机构简图设计的的自动化、智能化、网络化和可视化创造了条件.这将有利于减少工作量、缩短设计周期.因此,该方法具有深远的指导意义和应用价值.

参考文献

- 林建德,李润方.一种齿轮系的图画表示法及其在齿轮系运动分析上的应用.机械科学与技术,2004,23(1):60-62.
- Chatterjee G, Tsai LW. Computer-aided sketching of epicyclic-type automatic transmission gear trains. ASME Transactions, Journal of Mechanical Design, 2006, 118: 405-408.
- 史晓影,陈良钰,薛龙泉.行星轮系的图论模型及其应用. 2008,5(32):49-51.
- Shi XY. Study on visualization of planetary gear based ontological theory. 10.4028/www.scientific.net/AMM.86.797.2011.
- 李延平.平面曲柄摇杆机构可视化性能图谱自动生成与应用软件开发.机械科学与技术,2002,(6).
- 高红,赵韩.RRSS 机构空间连杆曲线图谱的自动生成.机械传动,2006,30(1):35-36.
- 薛隆泉,汪友明,王慧武等.周转轮系分类及综合.中国机械工程,2005,16(19):1716-1722.
- Swantner A, Campbell MI. Topological and parametric optimization of gear trains. Engineering Optimization, 2012, 11(44): 1351-1368.
- Ryan J. Zerr International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences. 2005.11: 1665-1673.
- Chen DZ, Yao KL. Topological synthesis of fractionated geared differential mechanisms. ASME Trans. Journal of Mechanical Design, 2000, 122: 472-477.
- 史晓影.用所谓变换识别轮系拓扑同构的研究.机械传动, 2012,8(36):23-26.
- Ettore P, Pler PV. A review of formulas for the mechanical efficiency analysis of two degrees-of-freedom epicyclic gear trains. ASME Trans. Journal of Mechanical Design, 2003, 125: 602-608.
- 林建德,李润方.一种齿轮系的图画表示法及其在齿轮系运动分析上的应用.机械科学与技术,2004,23(1):60-62.
- Madan SR, Amberkar AG, Jain RC. Symbolic notation of planetary gear trains by canonical number approach. International Journal of Mechanical Engineering Education, 2010, 28(1): 47-68.
- searchfor fractal image compression. IEEE Trans. Image Processing, 2002,11(6): 605-615.
- Mohamed FK, Aoued B. Speeding up fractal image compression by genetic algorithms. Multidimensional Systems and Signal Processing, 2005, 16: 217-236.
- Li J, Yuan D, Xie Q, Zhang C. Fractal image compression by ant colony algorithm. Proc. of the 9th International conference for young computer scientists, IEEE, 2008: 1890-1894.
- Eberhart RC, Shi YH. Particle swarm optimization: Developments, applications and resources. Proc. IEEE Int. Congr. Evolutionary Computation. Seoul, Korea. 2001.1. 81-86.

(上接第 139 页)