

基于预处理-修正模式的分形图像压缩方法^{*})

邓小炎¹ 高红² 桑波³

(中山大学科学计算与计算机应用系 广州 510275)¹(华中农业大学理学院计算中心 武汉 430070)²

(中山大学数学与计算科学学院 广州 510275)³

摘要 通过迭代函数系统(IFS)的不动点来逼近源图像的分形图像压缩方法是图像编码的一种相对新的技术。目前这种方法已派生出众多的图像编码方案,其中大多采用分块和匹配的方法来实现对图像的编码。为提高计算效率,总是希望能用尽可能少的域块(Domain Block)为图像的分类块(Range Block)找到最佳匹配。但这种考虑容易导致最终获得一个有些粗糙的图像编码。本文提出了一类预处理-修正模式的分形图像编码方法。我们保留原有编码作为预编码,进而提出修正预编码的具体算法。算法中充分利用了已有的计算结果,且修正编码过程中可以适当地加入人工干预,有利于提高压缩效率和改进编码质量。

关键词 迭代函数系统,分形图像压缩,预处理-修正模式

Fractal Image Compression Method Based on Pretreatment-Modification Mode

DENG Xiao-Yan¹ GAO Hong² SANG Bo³

(Department of Scientific Computing and Computer Application, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275)¹

(College of Basic Sciences, Huazhong Agriculture University, Wuhan 430070)²

(School of Mathematics and Computational Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275)³

Abstract Fractal image compression is a relatively new technique for encoding images compactly through constructing an iterative function system (IFS) whose fixed point will approximate the original image. Now this broad principle has encompassed a very wide variety of coding schemes, many of which encode digital image based on the block-dividing and block-matching. For improving computation efficiency, one always hope to find the best matching domain block in a range which is as small as possible. However, this kind of consideration is apt to result in getting a coarse codes finally. This paper proposes a fractal image compression method based on pretreatment-modification mode, which keeps the coarse image codes as a pre-codes, and then presents a modification algorithm to improve on the original codes. In the scheme, the compression efficiency and coding quality can be improved on by utilizing the existing result and Adopting certain manual intervention.

Keywords Iterated function system, Fractal image compression, Pretreatment-modification mode

1 引言

Barnsley^[1]提出的迭代函数系统(IFS)为复杂现象的研究提供了一条有效的通道,在许多应用领域得到广泛应用,如数值模拟、分形小波分析和信号处理等方面。分形图像压缩过程主要是利用压缩映射的不动点逼近源图像来完成图像的编码,图像的重建则是通过迭代来实现,这种建立于分形理论基础之上的图像压缩方法具有很大的压缩比,在图像压缩处理中有广泛的应用前景。自 Jacquin 在文[2~5]中提出并逐步完善基于 IFS 的分形图像压缩方法并给出了第一个完全由计算机自动完成的图像编码算法以来,分形图像压缩方法得到了越来越多的关注,目前其理论和应用研究日趋完善。

当图像复杂或压缩精度要求较高时,往往通过一次编码难以获得满意的结果,需要对压缩方法进行改进,本文中我们提出一类基于预处理-修正模式下的分形图像压缩方法。如果对压缩图像的质量不满意,我们保留已有结果作为一种预处理,进而提出一种修正方法来改进预处理结果。这样,可避免重复计算。由于已有计算结果的利用,使得修正过程的编码变得相对容易,是一种便于实际应用的分形图像压缩方法。

2 IFS 编码的一般方法

用 X 表示基本像素空间, U 表示定义在 X 上的所有图像的集合,亦即 U 中的每一个点代表一幅图像。设 (U, d) 是一

个完备度量空间,用 $Con(U)$ 表示 U 中的压缩映射集,即

$$Con(U) = \{T : U \rightarrow U \mid d(Tu_1, Tu_2) \leq c_T d(u_1, u_2), \forall u_1, u_2 \in U, c_T \in [0, 1)\}$$

则分形图像压缩所基于的两个基本定理为:

定理 1 设 (U, d) 是一个完备的度量空间,对任意的 $u^* \in U$ 和 $\epsilon > 0$, 总存在一个压缩映射 $T_\epsilon \in Con(U)$, 使得其不动点 u_{T_ϵ} 满足

$$d(u^*, u_{T_\epsilon}) \leq \epsilon$$

定理 2 设 (U, d) 是一个完备的度量空间,对任意的 $u \in U, T \in Con(U)$, 有

$$d(u, \bar{u}) \leq \frac{1}{1-c_T} d(u, Tu)$$

其中 $\bar{u} = T\bar{u}$ 是 T 的不动点, c_T 是压缩因子。相关内容的更为详细的论述可参见文[3]。

对给定的源图像 $u^* \in U$, 编码的目标是要找到一个压缩映射 $T \in Con(U)$, 使得 T 的不动点 u_T 是 u^* 的一个好的逼近。定理 1 保证了压缩映射的存在性。定理 2 称为 Collage 定理, $d(u, Tu)$ 为 Collage 距离。定理 2 给出了通过 Collage 距离 $d(u^*, Tu^*)$ 最小化来找需要的压缩映射 T 的一种优化方法。如果考虑图像的矢量化形式, Collage 距离最小可转化为离差平方和最小。

大量的分析和研究都表明图像的整体与局部、局部与局部之间都存在一定的相似性,而迭代函数系统 IFS 则是用来

^{*}国家自然科学基金(No. 10371135)、广东省自然科学基金(04009794)项目。邓小炎 博士,副教授,研究方向为分形及其应用、计算机图形学。

抽取图像之间的这种相似性的工具,即用图像的一个块通过压缩变换来收缩逼近另一个块。因而基于IFS的分形图像压缩映射通常以分块的方式来定义,解码时利用拼贴定理以迭代的方式来完成。目前大多数的分形压缩编码方法中主要包含以下几个步骤:

- ①把图像划分成若干互不重叠的分类块(Range Block)和若干较大的、可以互相重叠的域块(Domain Block);
- ②选择压缩仿射变换集(目前大多采用Jacquin的8种等距变换),与域块一起构成所谓的“主选择池”;
- ③对每个分类块寻找一个与之匹配的域块,通过保存压缩映射参数和分类块的位置等信息来实现对分类块的编码;
- ④对匹配不理想分类块进行进一步的细分,直至达到给定的或最小许可的匹配误差。

在上述方法中,“主选择池”的构造尤其重要。首先,在给定的压缩映射的情况下,分类块的匹配就是在域块中寻找最佳的匹配块。如果域块分类不能完全体现图像的特征,则影响匹配质量,要精确表示一幅图像,通常需要较多的域块。反之,对给定的主选择池,则对应着一个最小许可的匹配误差。其次,域块过多将会影响匹配速度。二者之间构成一个矛盾,需要根据压缩要求寻找一最佳平衡点,而这往往是十分困难的。已有较多的文献讨论这类问题^[6~8],主要集中在用尽可能少的域块为每个分类块找到理想的匹配,以提高计算效率。但随着效率的提高,压缩精度一般会有所降低。

从计算效率的角度来看,若给定压缩精度,我们一般不愿意使用太多的域块。但要选择一个与精度要求匹配的域块类通常十分困难。一种理想的做法是:先构造一个也许有些粗糙的域块类,如果不能获得满意的压缩质量,再考虑对已获得的编码进行改进,而不是构造新域块后重新编码,以避免不必要的重复计算。我们正是基于这一思想提出了预处理-修正模式下的分形图像压缩方法。

3 预处理-修正模式下的IFS编码

设 u^* 为给定的源图像,且假定初始的域块分类和仿射压缩变换均给定。考虑矢量化的图像函数 u^* , Δ 为任意给定的含 m 个元素(记为 Δ_j)的矢量块,其模定义为:

$$\|\Delta\| = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_j \Delta_j^2} \quad (1)$$

记分类为 R_i ,块中的元素记为 R_{ij} 。以下我们给出预处理-修正算法的一般过程。

(1)预编码:根据给定的初始域块分类,通过分形图像压缩中的步骤①~③,我们得到一个源图像的编码。

(2)误差函数:记预编码过程对应的压缩映射为 T_0 ,其不动点记为 u_{T_0} ,令

$$\delta u = u^* - u_{T_0} \quad (2)$$

也称 δu 为误差图像,灰度值可以为负。误差图像以 $\delta u + C$ 的形式给出,这里 C 为适当的常量,以保证所有的灰度值为正。在应用中 u_{T_0} 可由迭代下式来逼近:

$$u_{k+1} = T_0(u_k)$$

称之为预解码。

(3)误差图像编码:给定阈值 ϵ ,在 $\|R_i\| \geq \epsilon$ 对应的分类块上对误差图像进行编码。

注:当 $\|R_i\| \leq \epsilon$ 时,可认为分类块 R_j 上的预编码是精确的,对应的灰度值直接取为0。

(4)解码:对预编码和误差图像编码过程分别解码,然后叠加

$$u^* = u_{T_0} + \delta u \quad (3)$$

上述过程中的关键部分是对误差图像的编码。对误差图像进行细分,分类块记为 δR_{ij} 。需要指出的是此时的分块过程可依据误差的分布来进行,以减少分块的盲目性。算法中需要针对误差图像构造新的域块来与 δR_{ij} 匹配。误差图像的灰度值在0附近振动,振幅与初始逼近图像和源图像之间的逼近程度相对应。一般来说其复杂性要低于源图像的复杂性,且域块类和分类块的构造及误差图像的解码均只需要在 $\|R_i\| \geq \epsilon$ 的范围进行,有利于提高匹配精度和压缩效率。

域块构造最直接的做法就是以预编码中的分类块为基础来构造新的域块,在 $\|R_i\| \geq \epsilon$ 所对应的分类块中,我们比较其方差,方差接近者可认为图像特征相近,从而对域块进一步取舍,减少域块的数量。如初始分类采用等距划分,当

$$\|R_i - R_k\| = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_j (R_{ij} - R_{kj})^2} < \epsilon$$

则认为 $R_i \approx R_k$ 可将 R_i 和 R_k 其中之一从域块集合中删除,从而减少了新域块 $\{\delta R_i\}$ 与分类块 $\{\delta R_{ij}\}$ 之间匹配计算的工作量。

算法中的误差图像编码取代了一般的分形压缩过程中的步骤④。如果初始域块分类不是很精细,按步骤④一般不可能实质性地改变压缩图像的质量。而在预处理-修正模式下,针对误差构造了新的分类块,为实质性改变压缩图像的质量提供了契机,并可根据误差分布对细分块过程进行调整,可减少需要匹配的分类块数目,提高压缩效率。

4 实验结果与分析

实验中我们比较了粗糙的域块分类和精细的域块分类两种情形时一般的分形压缩方法和预处理-修正模式下的分形压缩方法的压缩性质。

在域块的构造中,我们首先根据图像的特点作初始划分,并对每个域块按方差大小排序。然后以增加方差值的密度为目标逐步引进新的域块,从而获得更精细的域块分类。而分块类则采用了等分的方式来构造。

我们考虑512×512大小的Lena图像(图1),初始的域块分类采用24×24大小的分块来构造,分类块大小为8×8。初始压缩图像经过15次迭代解码的效果见图2,压缩比为18.4。



图1 源图像

图2 预编码图像

将分类块细分为4×4大小,对方差大于0.1的块分别采用一般的分形图像压缩和预处理-修正方法继续编码。其中在预处理-修正模式下,我们根据误差图像的分布情况对分块的位置进行了校正。图3和图4分别给出了最后的误差图像。

在预处理-修正模式下,按方差的接近程度对原始的分类块经过取舍后构成新域块的类,新域块类的数目约为初始域块数目的126%,数量约有增加,但此时每个域块的大小仅为原来的1/3,匹配过程中的总体计算量减少。



图3 一般方法 图4 预处理-修正方法

实验中的其他压缩性能可参考表1。

表1 粗糙域块分类时的压缩性能比较

	压缩率	PSNR	时间(分)
一般压缩方法	9.2	24.47	1.33
预处理-修正压缩	11.3	28.15	1.67

这里压缩比定义为：图像压缩比=源图像字节数/压缩编码字节数。图像(每个像素8字节)的信噪比定义为：

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{\|u - u^*\|^2}$$

其中 u^* 为源图像, u 为压缩解码图像。

表2 精细域块分类时的压缩性能比较

	压缩率	PSNR	时间(分)
一般压缩方法	9.2	26.8	3.16
预处理-修正压缩	11.6	29.2	3.37

考虑细分的情形时,我们采用 16×16 大小的分块来补充原有域块,初始分类块和细分时的分类块的大小仍分别为 8×8 和 4×4 。有关的试验结果见表2。其中预处理-修正模式

下,我们仍然根据误差图像的分布情况对分块的位置进行了校正。

结论 基于IFS的图像压缩算法本质上依赖于图像中的自相似性,对具有典型分形特征的图像可以获得非常高的压缩比。在应用中,不同图像的自相似性程度和方式可以不同,通常需要在压缩过程中针对具体图片进行适当的人工干预,以获得最佳的效果。我们提出的基于预处理-修正模式的分形图像压缩方法为压缩过程中出现粗糙编码时提供了一条有效的修正方案,同时在压缩过程中可根据误差图像的分布特征进行一定的人工干预,为获得理想的压缩效果提供了一种思路。

参考文献

- 1 Barnsley M F. Fractals Everywhere [M]. San Diag, CA: Academic Press, 1988
- 2 Jacquin A, Barnsley M F. A fractal theory of iterated Markov operation with application to digital image coding: [Ph. D thesis]. Georgia Institute of Technology, 1989
- 3 Jacquin A, Barnsley M F. Image coding based on a fractal theory of iterated Markov operators. Part I: Theoretical foundation [R]: [Technical Report]. 91389-016. Georgia Institute of Technology, 1989
- 4 Jacquin A, Barnsley M F. Image coding based on a fractal theory of iterated Markov operators. Part II: Construction of fractal codes for digital image [R]: [Technical Report]. 91389-017. Georgia Institute of Technology, 1989
- 5 Jacquin A. Image coding based on fractal theory of iterated contractive transformation [J]. IEEE Trans Image Proc. 1992, 1: 18~30
- 6 吴子文, 吴鹏晖. 一种基于子带分解的分形图像压缩新方法[J]. 微型计算机应用, 1998, 19(2): 73~75
- 7 范策. 分形图像压缩的主池预缩小方法. 计算机工程, 2001, 27(11): 138~140
- 8 谭郁松, 周兴铭. Fason: 一种图像快速分形压缩的改进算法[J]. 计算机工程与科学, 2004, 26(1): 34~37

(上接第156页)

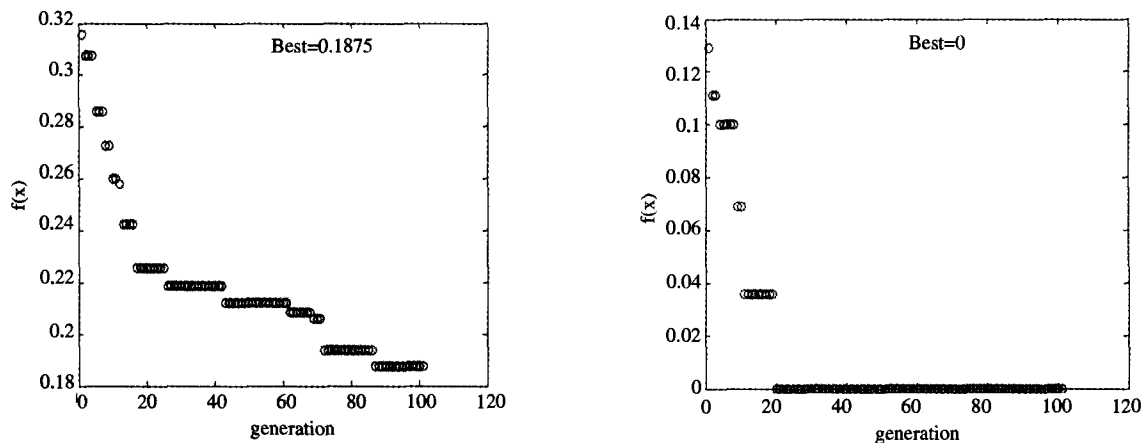


图1 GAFL算法针对 Breast Cancer(左图)及 ALL-AML Leukemia(右图)数据集的运行结果图

参考文献

- 1 John G H, Kohavi R, Pfleger K. Irrelevant Features and the Subset Selection Problem. In: Proceedings of the Eleventh International Conference on Machine Learning, 1994, 121~129
- 2 Kohavi R, John J H. Wrappers for feature subset selection. Artificial Intelligence, 1997, 97(1-2): 273~324
- 3 Jiang Daxin, Tang Chun, Zhang Aidong. Cluster analysis for Gene Expression Data: A Survey, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2004, 16(11): 1370~1385
- 4 Liu Huan, Yu Lei. Toward Integrating Feature Selection Algorithms for Classification and Clustering. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2005, 17(5): 491~502
- 5 Yang J, Honavar V. Feature subset selection using a genetic algorithm. IEEE Intelligent Systems, 1998, 13(2): 44~49
- 6 Bhanu B, Lin Yingqiang. Genetic algorithm based feature selection for target detection in SAR images. Image and Vision Computing, 2003, 21(7): 591~608
- 7 Oh Il-Seok, Lee Jin-Seon, Moon Byung-Ro. Hybrid Genetic Algorithms for Feature Selection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(11): 1424~1437
- 8 Han Jiawei, Kamber M. 数据挖掘概念与技术. 范明, 孟小峰译. 北京:机械工业出版社, 2001
- 9 Xu Rui, Wunsch II D. Survey of Clustering Algorithms. IEEE Transactions on Neural Networks, 2005, 16(3): 645~678