

蚁群算法与分形相结合的图像压缩改进算法

娄 莉

(西安石油大学 计算机学院, 陕西 西安 710065)

摘 要: 提出了一种新的蚁群算法与分形相结合的图像压缩改进算法, 该算法结合小波变换多分辨率分析的特点, 进行原始图像的分割并构造出搜索空间, 经过定义域块与值域块基于蚁群匹配概率的类内搜索, 降低了匹配搜索平均值; 为了进一步提高分形编码速度, 根据不同方向图的纹理特征, 采用不同形状的分形预测. 实验数据表明, 该算法能够大大缩短分形编码的时间, 并取得较高的压缩比.

关键词: 蚁群; 分形; 图像压缩; 小波分解

中图分类号: TP919

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2013)12—0173—04

An Image Compression Improved Algorithm Based on the Combination of Ant Colony Algorithm and Fractal

LOU Li

(College of Computer, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China)

Abstract: A new image coding improved algorithm based on the combination of ant colony and fractal is proposed in this paper. The algorithm combines the feature of multi-resolution analysis of wavelet transformation, and segments the original image to construct the searching space. After the class matching based on ant colony matching probability of range block and domain block, the average number of matching is reduced greatly. we apply the fractal predicting by the different block size according to the different texture feature of different orientation subimages. That makes improvement of fractal coding speed and realizes image compression. The experimental results indicate that the improved algorithm can decrease the fractal coding time greatly and achieve a higher compression rate.

Key words: ant colony; fractal; image compression; wavelet decomposition

1 引言

近年来, 分形图像编码的发展非常快, 它是基于分形理论的数学延伸. 巴恩斯利和 Jacquin 先后提出了基于块的编码方案^[1]和基于仿射变换的图像编码算法^[2], 由于不同的图像块之间存在相似性, 分形编码可以利用这种自相似性进行图像压缩. 但是同时, 分形编码理论基于迭代函数系统 (Iterated Function System, IFS), 这使得值域块的匹配块搜索过程可能非常长, 增加了分形编码的运算复杂度和时间. 蚁群优化算法 ACO (Ant Colony Optimization) 可以优化分形编码值域块的匹配块搜索过程,

缩短分形编码时间, 提高图像压缩质量^[3].

因此, 结合蚁群优化和分形算法的总体思路, 首先进行图像分割, 构造搜索空间, 这个过程可以利用小波变换多分辨率分析实现; 接着进行定义域块分类, 为了优化定义域块与值域块的匹配过程, 使用蚁群优化, 通过聚类算法使得匹配得以在类内搜索实现, 代替传统的全局搜索方法, 节约大量时间; 在分形预测过程中, 不采用全部使用正方形分割的方式, 结合作者在文中的算法, 将图像子块按照纹理特征不同划分成不同的域块. 综合以上方法后, 图像处理的时间大大缩短, 压缩比更高.

收稿日期: 2013—03—12; **修回日期:** 2013—05—09

基金项目: 陕西省自然科学基金基础研究项目 (2010JM8032); 陕西省教育厅科学研究计划项目 (2010JK772)

2 蚁群算法的基本模型和描述

Deneubourg 等人提出了聚类基本模型 (Basic Model, BM)^[4], 它的基本思想是: 某一个体被捡起或在有更多同类的地方被放下的随机概率可用式 (1) 和式 (2) 表示.

$$P_p = \left(\frac{k_1}{k_1 + f} \right)^2 \quad (1)$$

$$P_d = \left(\frac{f}{k_2 + f} \right)^2 \quad (2)$$

由公式可见, 被捡起的概率 P_p 由 k_1 、 f 决定, k_1 、 k_2 是阈值, f 是对象在蚂蚁的邻域内的接受度, 接受度 f 如果远小于阈值 k_1 , 对象被捡起; 接受度 f 如果远大于阈值 k_2 , 对象被放下.

随后, Lumer 等人将 BM 推广到数据聚类分析中, 提出 LF 算法^[5]. 该算法所描述的平面上单个蚂蚁的行为和上面 BM 中所描述的单个蚂蚁行为相似, 但是它把随机数据对象投射到低维空间, 用概率转换函数计算对象捡起和放下概率, 同时蚂蚁在局部邻域范围内感知当前对象的集群相似性, 通过这个概率选择下一步动作是捡起还是放下. 与 BM 思想不同的是, LF 扩展了判断数据聚类的范围, 更侧重于判断周围数据与蚂蚁背负的当前目标数据的相似性.

设定蚂蚁要找的物体集合是待进行聚类分析的数据集合 $N = \{N_i \mid N_i = (N_{i1}, N_{i2}, \dots, N_{im})\}$, 那么相似性判断规则如式 (3)、(4):

$$g(N_i, N_j) = \sum_{N_j \in \text{area}(N_i, r)} (1 - t(N_i, N_j)) \quad (3)$$

$$t(N_i, N_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^m q_k (N_{ik} - N_{jk})^2} \quad (4)$$

式中, $g(N_i, N_j)$ 表示数据对象 N_i 和 N_j 的相似度, $\text{area}(N_i, r)$ 表示数据对象 N_i 以 r 为半径的聚类区域, $t(N_i, N_j)$ 表示 N_i 和 N_j 的加权欧氏距离. q_k 表示自适应加权参数, 用来动态调整聚类过程产生的作用. 当 $g(N_i, N_j) = 0$ 时, 表示 N_i 和 N_j 的相似度最小, 当 $g(N_i, N_j) = 1$ 时, N_i 和 N_j 的相似度最大, 即二者完全相同.

3 分形编码概述

分形编码建立在紧缩变换、仿射变换、迭代函数系统^[10] 的数学基础上, 通过吸引子定理和拼贴定理完成. 紧缩变换保证了函数空间中的点经过收缩映射后的连续函数仍然能够形成点列收敛到定点. 仿射变换可以把空间中的一点映射到另一个点, 把部

分的空间映射到另一个部分, 它主要是通过变换的不变、对折、平移、旋转和尺度特征等特性来实现. 一个完备度量空间和一系列定义于该空间的紧缩映射构成一个迭代函数系统, 并且每个迭代函数系统可以对应于一个收缩映射函数空间, 所以, 我们可以将每个迭代函数系统作为一个图像看待.

寻找迭代函数系统的过程通过拼贴定理完成, 拼贴定理的原理是: 一幅图像包含 N 个收缩映射, 当其拼贴图像和原始图像之间的距离达到任意小时, 原始图像就可以近似由 N 个收缩映射图像构成的迭代函数系统代替, 这样, 通过 N 个收缩映射转换成了 N 个图像. 关于分形图像编码的定理证明可参考文献^[6].

4 蚁群算法与分形图像压缩编码算法相结合

该算法分为三部分, 首先, 借助小波分析工具对原始图像分割并进行搜索空间构造, 利用分形几何的全局与局部的自相似性在小波变换的高层子图像内进行基本分形编码, 得到分类后的定义域块, 其中应用蚁群算法聚类形成数据样本空间, 其灰度值是通过所有域块取平均值组成.

其次, 进行定义域块与值域块匹配概率的类内搜索. 为了解决定义域块内的匹配概率不相等^[7], 有的可以同多个值域块相匹配, 有的可能一次机会也没有的问题, 需要有效减少 IFS 编码时间, 同时必须设置相应的策略, 对值域块的匹配进行优化. 具体通过判断定义域块和值域块之间的距离完成, 应用阈值化法, 如果定义域块和值域块之间的距离在设定的阈值门限范围内, 可以近似认为它们是相同的块. 根据不动点稳定性原理, 如果压缩变换接近, 其不动点也接近, 所以小的变化不会引起分形编码重构时有重大变化. 此外, 类内建立基于域块的位置匹配概率表, 当值域块进入类时, 记录它们的分形编码, 并更新匹配表顺序, 始终将前面的位置分配给大率.

第三, 考虑一幅图像的不同区域其纹理特征有可能存在很大的差异, 同时结合人眼对某些频率分量不敏感的视觉特性, 不采用传统方法中统一划分正方形方块进行分形编码的思路, 应用不同形状的区域划分与不同方向上子图像的纹理信息相适应, 使需要编码的不同方向上子图像的纹理信息与采用的分形预测块更加匹配, 通过这种改进, 能够进一步提高图像恢复质量, 缩短编码时间.

具体实现需经过以下步骤:

(1)多分辨率小波分析. 对图像进行三级分解后的结果如图 1 所示, LH_n 为水平方向, HL_n 为垂直方向, HH_n 对应 45° 、 135° 斜线方向上的细节($n=1, 2, 3$), LL_3 为低频分量.

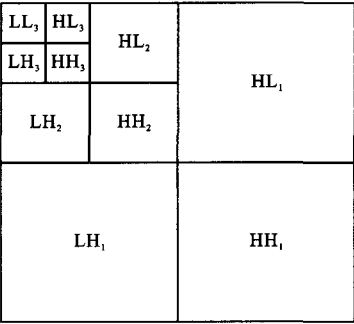


图 1 三层小波分解示意图

(2)确定分类后的定义域块,并对定义域块和值域块进行匹配搜索. 首先对三级小波变换的高频子图像 HL_3 、 LH_3 、 HH_3 进行分割,运用蚁群聚类算法,对数据样本空间进行分类,按照前面匹配概率的类内搜索制定的原则,在对值域块进入定义域块分类后并依据匹配概率表搜索之前,先进行值域块判别,判别值域块属于分类结果中的哪个类别. 具体作法是,设定一个阈值,当定义域块和值域块之间的距离大于阈值时,认为其属于不同类,否则按相同类处理,在计算匹配误差和变换系数时,只对属于相同类别的定义域块和值域块来计算,这样可以避免很多不必要的搜索,使搜索效率提高;同时,应用这个过程逐渐建立起对应每一个类的匹配概率表,那么对后续值域块的匹配就可以限定在类内的匹配概率表中进行,不需要每次搜索类内所有的块,由此缩短大量的搜索时间.

(3)具体编码方案按照图像分割后的高频与低频子带的特性不同采用不同的编码方式,由于低频子带包含图像的大部分能量,故而对低频子带采用离散余弦变换(DCT)编码,使大部分的信息的图像得以保留.

(4)分析图像中各子块的纹理信息,对不同地区根据纹理特征不同分别采用不同大小的块形状进行分形预测编码. 以 256×256 的 8 bit 图(图 2)为例进行实验,通过计算发现, LH 、 HL 、 HH 区域中,其水平和垂直方向的相关性不相同,在 HH 区域,行相关长度和列的相关长度相似,所以采用正方形划分区域;在 HL 区域,通过计算发现,其行相关长度大于图像的列相关长度,图像以水平纹理结构为主,可以使用 4×2 矩形分割定义域块和值域块;在 LH 区域,行相关长度小于列相关长度,图像主要是

垂直纹理图像,可以用矩形域块 2×4 的大小进行定义域块和值域块的分割;而对于其他部分以低频率为主的子图像,其包含了图像的大部分能量,仍然使用 2×2 的块分割,采用不同形状的分块与不同纹理特征的区域进行匹配分形编码,使信噪比得以提高. 图 3 所示为值域块分割过程.

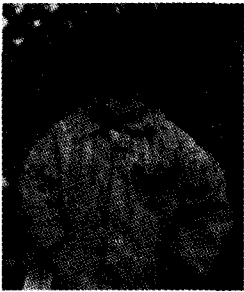


图 2 原始图像

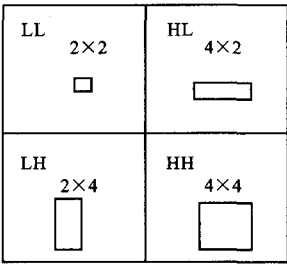


图 3 值域块分割过程

解码过程是编码过程的逆过程,具体进行图像恢复时,从低频子图像到高频子图像逐级恢复,先恢复低分辨率子图,再恢复高分辨率子图,当匹配计算时,只能在同一子带相同方向上进行匹配的算术解码. 因为只有水平、垂直和对角方向,不需要在整个定义域内搜索,节约了解码时间. 蚁群算法与分形两种方法的结合,使平均匹配次数大大减少,加快了分形编解码速度.

5 结果分析

多分辨率小波分析使用三级分解和正交镜像滤波器组,分别使用基本的分形编码方法和基于蚁群结合分形的改进算法来实验,实验测试环境: CPU 为赛扬 117 GHz、RAM 为 256 MB,操作系统是 Windows XP. 蚁群聚类算法的主要参数选择为,蚂蚁数量的初始数量=48,解码图像迭代 8 次,初始化聚类的参数 $q=0.7$,邻域半径 $r=4$. 基本分形编码和本文改进算法的实验对比效果如图 4 所示. 改进算法的小波分解的值域块分割过程如图 1 所示,当基本的分形编码定义域块取为 2×2 倍大小的值域块时,各子图中值域块大小为 4×4 ,定义域块大小为 8×8 ,表 1 所示为基本分形编码方法和本文改进

算法性能比较结果.

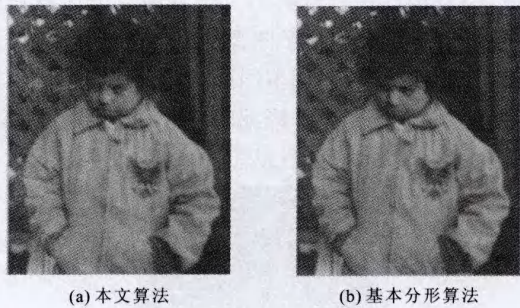


图 4 基本分形编码方法和本文改进算法效果比较

表 1 基本分形编码方法和本文改进算法性能比较

	本文改进算法	基本分形编码
压缩比	9.8	5.9
PSNR	20dB	23dB
编码时间	156"	752"

实验结果表明,改进后的算法与基本分形算法相比,压缩比提高将近 1.7 倍,有较好的压缩能力,信噪比下降 3dB,恢复图像质量接近,而编码时间大大缩短,只有原来的 20%左右,说明在重建图像质量、加快编码速度方面具有较大的优势.

综上所述,笔者提出了一种基于蚁群算法和分形结合的图像编码算法,综合应用小波变换多分辨率分析、蚁群算法聚类、定义域块与值域块的类内搜索以及根据不同方向的子图纹理特征不同,采用不同的分形预测形状的块等改进算法进行图像压缩,结果证明,该算法与基本分形编码相比,编码时间大

大缩短,提高了压缩比,是一种较高效的图像压缩编码方式.

参考文献:

[1] Barnsley M F, Demko S. Iterated function system and the global construction of fractals[J]. Pro Roy Soc London, 1985(A399):243-275.

[2] Jacquin A E. Fractal image coding: A Review[J]. Proc of IEEE, 1993, 81(10): 1451-1465.

[3] 熊伟清,余舜浩,魏平. 用于求解函数优化的一个蚁群算法设计[J],微电子学与计算机,2003,20:23-25.

[4] J- L Deneubourg, S Goss, N Franks et al. The dynamics of collective sorting: Robot- like ants and ant-like robots[C]// Proceedings of the First international Conference on Simulation of Adaptive Behavior, From Animals to Animals J. Cambridge MA: MIT Press, 1991:356-365.

[5] E Lumer, B Faieta. Diversity and adaptation in populations of clustering ants [C]// Proceedings of the Third International Conference on Simulation of Adaptive Behavior: From Animals to Animals 3. Cambridge, MA:MIT Press,1994:501-508.

[6] 马艳,李顺宝. 基于匹配概率活动表的分形图像快速编码算法[J]. 计算机应用与软件,2005(4):105-106.

[7] 缪志甫. 三种优化分形图片压缩算法比较分析[J]. 重庆工商大学学报:自然科学版, 2012,4(29):55-59.

作者简介:

娄 莉 女,(1970—),博士研究生,副教授. 研究方向为数字图像处理及通信工程.