

基于遗传分形编码的嵌入式小波图像编码算法

张方舟,王徐研,郝庆辉

(东北石油大学 计算机与信息技术学院,黑龙江 大庆 163318)

摘要:在分析小波变换与分形编码特点的基础上,提出了一种新的基于遗传分形编码的嵌入式小波图像编码算法。根据图像进行小波变换分解为不同空间频带上的子图像这一特性,对其低频子带进行基于遗传算法的分形编码,利用遗传算法的快速全局搜索能力提高分形编码中值域块与定义域块的匹配搜索速度;对其高频子带部分进行阈值去噪处理后进行SPIHT编码,两部分同时进行,提高图像的压缩效率。实验结果表明:同传统的分形编码和SPIHT编码压缩方法相比,该算法在图像的重构质量方面有所提高,尤其是在中低码率下PSNR(峰值信噪比)得到了较大提高,并且算法执行时间明显减少。

关键词:分形编码;小波变换;遗传算法;图像压缩;SPIHT编码

中图分类号:TP751

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)01-0128-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.01.029

Embedded Wavelet Image Coding Algorithm Based on a Genetic Fractal Coding

ZHANG Fang-zhou, WANG Xu-yan, HAO Qing-hui

(College of Computer and Information Technology, Northeast Petroleum University,
Daqing 163318, China)

Abstract: On the basis of analyzing the characteristics of wavelet and fractal coding, propose a new embedded wavelet image coding algorithm based on genetic fractal coding. According to the characteristics of image wavelet transform which is decomposed into different spatial frequency sub-images, the low frequency sub-band is carried out fractal coding based on genetic algorithm, using fast global search ability of genetic algorithms to improve the matching search speed of range block and domain block in fractal coding. The high frequency sub-band is conducted SPIHT coding after threshold de-noising processing. Performed simultaneously in two parts, improve the compression efficiency of the image. Experimental results show that compared with the traditional fractal coding and SPIHT coding compression methods, the algorithm gets a better reconstruction quality of image, especially at the low bit rate the PSNR is improved and the running time of the algorithm is also reduced.

Key words: fractal coding; wavelet transform; genetic algorithm; image compression; SPIHT coding

0 引言

随着当前信息技术和多媒体技术的发展,图像的应用范围也在不断扩大,同时也对图像压缩效果、压缩比以及编、解码时间等提出了新的要求。目前图像的压缩方法多为分形图像压缩和小波变换压缩方法。分形图像压缩^[1-3]方法利用图像的自相似性,定义域子块匹配最佳值域子块,压缩效果较好,但在低码率的情况下,重构图像时会产生一定的方块效应,并且图像编码和匹配搜索算法的时间复杂性较大。小波变换图

像压缩方法把图像数据从空间域转换到小波域,利用量化小波系数来实现图像压缩,特点在于压缩速度较快,但存在图像重构质量下降以及匹配搜索效率较低的缺点。

针对以上问题,文中提出一种基于遗传分形编码的嵌入式小波图像编码算法。图像经过多级小波分解后,在其低频子带进行基于遗传算法的快速分形编码,它利用遗传算法的全局快速搜索能力加快分形编码中匹配块的搜索速度和匹配精度,对其高频子带进行阈

收稿日期:2014-02-17

修回日期:2014-05-23

网络出版时间:2014-11-17

基金项目:黑龙江省教育科研项目(11551016)

作者简介:张方舟(1973-),男,博士,教授,CCF会员,研究方向为计算机网络、图像处理、人工智能;王徐研(1987-),男,硕士研究生,研究方向为数据挖掘、图像处理、人工智能。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20141117.2208.034.html>

值去噪后进行 SPIHT 编码压缩,在消除图像的方块效应的同时加快算法的执行速度。实验结果表明:该方法缩减了图像的编码时间,并且重构图像的质量得到了较大提高,图像压缩效率优于传统的图像压缩算法。

1 分形图像压缩

分形图像压缩是以收缩映像定理和拼贴定理为理论基础,通过挖掘原始图像中存在的自相似,构造一个迭代函数系统 (IFS) [4]。利用 IFS 抽取图像的自相似性,即用图像划分的一个子块经过自仿射分形变换来逼近原图像中的另一子块,达到分形压缩的目的。

1.1 压缩映射的不动点定理

函数空间中的每一个收敛映像都有一个固定点,函数空间中的每一点经过该点的收缩映像连续作用后形成的点列都收敛于这个固定点 [5]。

设 $\{x; \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n; c\}$ 是 (x, d) 上的 IFS, 则压缩变换 $W(B) = \bigcup_{i=1}^n \omega_i(B)$ 存在一个唯一不动点 $\bar{X} \subseteq H(X)$, 满足 $\bar{X} = W(\bar{X}) = \bigcup_{i=1}^n W(\bar{X})$, 而且不动点可以通过迭代得到, 即:

$$A = \lim_{n \rightarrow \infty} W^n(B) \quad \forall B \in H(X)$$

1.2 拼贴定理

设 (x, d) 是一个完备的度量空间, 给定集合 $L \in H(X)$ 和数 $\varepsilon > 0$, 如能选取适合的 IFS 即: $\{x; \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n; c\}$ 使 $h(L, \bigcup_{i=1}^n X_i(L)) \leq \varepsilon$, 则

$$h(L, \bar{X}) \leq \frac{h(L, \bigcup_{i=1}^n \omega_i(L))}{1 - c} \leq \frac{\omega}{1 - c}$$

其中, X 是 IFS 的不动点 [6]。

1.3 分形编码 (FBC) 算法

(1) 对原始图像 B 进行分块操作。首先把原始图像划分成互不重叠的方形图像块, 成为值域块 R , 记为 R_1, R_2, \dots, R_i , 即

$$B = \bigcup_{i=1}^n R_i; R_i \cap R_j = \emptyset, \forall i \neq j$$

(2) 把原始图像划分为比值域块稍大的定义域块 D , 记为 D_1, D_2, \dots, D_j , 使 D_j 经式 (1) 变换后 D_j 与 R_i 的均方差的误差 rms 最小。

$$d_j = s \times K_j \times K_0(D_j) + g \times I \quad (1)$$

$$\text{rms} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (b_i - a_i)^2 \quad (2)$$

其中, K_0 为压缩变换, 采用四邻域平均将 D_j 块压缩为 $R \times R$ 大小的方块; 同时同构变换 K_j 由相等变换, 垂直水平中轴正交变换, 正反对角线正交反射, 中心旋转 $90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ 等八种仿射变换组成; s 为对比度因子; g 为亮度平移因子 (偏移量)。

搜索是用来改变定义域块的位置和同构变换 K ,

使 rms 的值达到最小化, 用最小二乘法来获得 s 和 g 的值, 公式如下:

$$\text{rms} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i^2 + s \left(s \sum_{i=1}^n b_i^2 - 2 \sum_{i=1}^n a_i b_i^2 + 2g \sum_{i=1}^n b_i^2 \right) + s \left(s \times m - 2 \sum_{i=1}^n a_i \right)$$

获取 rms 最小时 s, g 的值及其同构变换 K_j , 以及定义域块 D_j 的左上角横、纵坐标值, 即为值域块 R_i 的分形编码, 将这些编码参数进行记录并存储。

(3) 图像解码。将上述编码参数对应的压缩仿射变换反复作用于与原始图像相同大小的任意图像, 并不断迭代直至收敛, 即可得到稳定的重构图像。

分形图像压缩算法虽然使图像得以较高效的压缩, 但压缩过程中图像的编码和解码的不平衡, 匹配搜索的算法复杂性大, 这是分形图像压缩存在的缺点。针对于此, 采用基于遗传算法的分形图像编码来解决分形编码中的匹配块搜索问题。

2 基于遗传算法的快速分形编码

遗传算法 [7-8] 是一种基于生物自然选择和遗传机理的随机搜索算法, 它将实际问题编码成字符串 (染色体), 用染色体的适应度函数来表示目标函数, 并根据染色体适应度函数与抗体相似度对个体进行选择、交叉以及变异从而获得最优解, 具有快速而强大的全局最优解搜索能力和优良的并行处理能力。

传统的分形图像压缩算法所消耗的时间主要集中在对任意的值域块 R_i , 在其定义域池中寻找最优的定义域块 D_j 上。基于前文对分形编码算法的讨论以及遗传算法的全局快速搜索能力, 为提高对值域块与定义域块间的匹配搜索效率, 进行基于遗传算法的分形编码。

遗传算法在应用中的核心是根据实际情况设计出最佳的遗传因子 [9-10], 所以选择最佳的遗传因子及其对应的适应度函数是基于遗传算法的快速分形编码的核心和首要解决的问题。

基于遗传算法的分形编码:

(1) 在进行匹配块搜索时, 对定义域块进行的 8 种变换方式被使用的概率不同, 所以以匹配块左上角的坐标 (x, y) 及缩放、平移、旋转参数进行二进制编码使其作为遗传算法的染色体。为提高算法效率, 首先对匹配块进行区间划分, 将分类序号加入到染色体编码之中, 此时匹配块坐标就成为在分类区间中的相对坐标。

(2) 适应度函数选取。在搜索值域块 R_i 所对应的最佳匹配块 D_j 时, 需经过多次迭代操作, 每次迭代都会产生 R_i 与 D_j 的编码匹配误差。所以选取区域块和

匹配块的匹配均方差 (MSE) 作为算法的适应度函数。

(3) 交叉和变异。为取得最佳匹配结果, 防止陷入局部最优解, 采用交叉和变异操作。文中采用双点交叉操作, 两个交叉点分别位于 16 位二进制串的前 8 位和后 8 位, 交叉概率则依据式 (4) 进行, 初始化 p_c 值为 0.9。

$$p_c = \begin{cases} p_{c1} - \frac{(p_{c1} - p_{c2})(f' - f_{avg})}{f_{max} - f_{avg}} & f' > f_{avg} \\ p_{c1} & f' < f_{avg} \end{cases} \quad (4)$$

$$p_m = \begin{cases} p_{m1} - \frac{(p_{m1} - p_{m2})(f' - f_{avg})}{f_{max} - f_{avg}} & f' > f_{avg} \\ p_{m1} & f' < f_{avg} \end{cases} \quad (5)$$

变异操作采用基本变异算子, 变异概率依据式 (5) 计算, 初始化 p_m 值为 0.1。

其中, f_{max} 为最大适应度; f_{avg} 为平均适应度; f' 为个体交叉时较大的适应度; f 为要变异的个体适应度。

(4) 算法结束条件。

a. 最优匹配块 Q , 连续三代无变化。

b. 出现的匹配误差小于等于预设值。

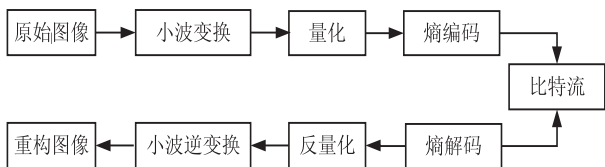
当算法满足上述任一条件时, 所得的最优个体所确定的匹配块位置和变换参数即为匹配结果。

3 小波变换图像压缩理论

小波母函数经过一系列伸缩和平移变换后得到小波基函数, 将这些伸缩因子和平移因子运用不同的过程进行处理, 即可得到连续或离散化的小波函数^[11]。

小波变换图像压缩的基本思想就是将图像信号在这组小波函数上进行逐一分解, 使其成为不同空间和不同频率的子带信号, 并根据其特点对其进行一系列的分析处理, 使其转换成小波域上的小波系数, 然后对小波系数进行量化编码, 因此对小波系数进行量化压缩是小波变换用于图像压缩的核心^[12]。最后还可以通过这些被分解的系数重建原来的信号, 进而重构原图像, 如图 1 所示。

图像编码过程



图像解码过程

图 1 小波变换图像压缩与重构

3.1 离散小波变换 (DWT)

离散小波变换^[13]具有多分辨率 (多尺度) 的特点, 它可将信号分解成许多具有不同的分辨率、频率特性和方向特性的子带信号。

离散小波变换表达式为:

$$\langle f, \psi_{m,n} \rangle = 2^{-m/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi(2^{-m}t - n) dt$$

小波变换的具体过程是: 首先对图像进行一级小波变换, 使其分成四个子带图像, 它们分别代表频率平面上不同的区域, 由于小波分解的低频子带集中了图像的大部分信息, 因此, 再对其中的低频子带子图像进行二级小波分解, 以此类推, 进行小波三级分解, 直到压缩结束, 如图 2 所示。

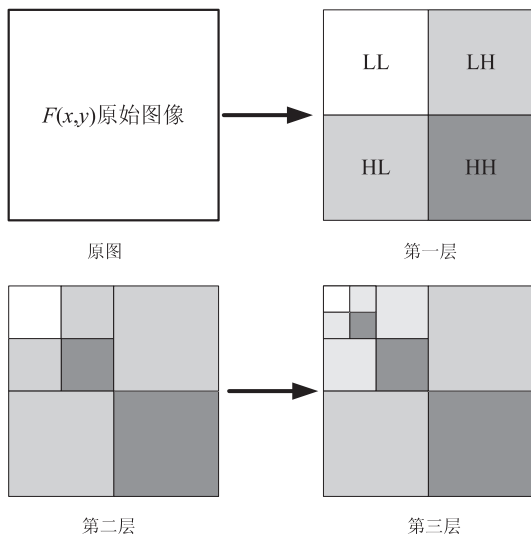


图 2 三级小波分解示意图

其中, LL 为低频子带, HL、LH、HH 为高频子带。

3.2 SPIHT 编码方法

基于零树的多级树集合分裂 (SPIHT)^[14-15]是目前基于零树结构的压缩算法中压缩效率较高、图像重构效果较好的算法之一。

SPIHT 算法继承了 EZW (嵌入式零树编码) 的小波系数树状结构, 并在其基础上进行了两点改进: 一是采用空间方向树分层分割的方法, 通过对空间方向树的元素间进行分裂来获取树的重要元素, 借此消除空间树的冗余信息, 从而在进行图像的重构时达到较高的峰值信噪比 (PSNR) 和良好的图像视觉感受。二是充分利用了小波系数量化编码后, 量化级别越大的索引元素对于图像重构时保持图像的完整性方面贡献越大和量化编码后得到的扩展系数的高位信息的重要性要高于低位信息这两个重要特点对其重要信息优先传输, 实现了较好的图像压缩效果。

虽然 SPIHT 算法相对于其他图像压缩算法进行了一定的改进, 但对其进行充分研究和实验后发现, 该算法也存在一定的不足之处, 即在小波系数与指定阈值进行比较的过程中存在重复编码和数据冗余现象, 降低了编码速度, 因此选择适合的小波系数和寻找去除冗余信息的频率子带是保证 SPIHT 算法高效运行的基础。

4 基于遗传分形编码的嵌入式小波图像编码

图像在进行小波变换后分解为不同空间频带的子图像,其中低频子带继承了图像的绝大部分能量,并且子带间存在着较高的自相似性。分形编码的原理就是利用图像的自相似性对其值域块 R 在定义域池中搜索最优的定义域块 D ,由此便可以在小波变换后的低频子带内进行基于遗传算法的分形编码,利用低频子带间的相似性和改进后算法的全局快速搜索能力进行算法展开,从而在进行分形编码过程中图像分割产生的 R_i 块区域及其对应的 D_j 块区域进行图像的匹配搜索时间大幅缩短。

经过前期的实验分析发现,小波分解后产生的高频子带中含有一部分冗余信息,即图像噪声,由于图像高频子带部分保存的是图像的空间结构信息和图像边缘信息,这些噪声会对图像的重构产生一定影响,使图像出现局部模糊的现象。因此在进行图像编码之前首先对其进行平衡阈值去噪处理。在去除噪声的高频子带内执行 SPIHT 编码算法,这样既可以提高算法的编码速度,又可以提高图像的重构质量,进而提高压缩效率。

基于遗传分形编码的嵌入式小波编码流程如图 3 所示。

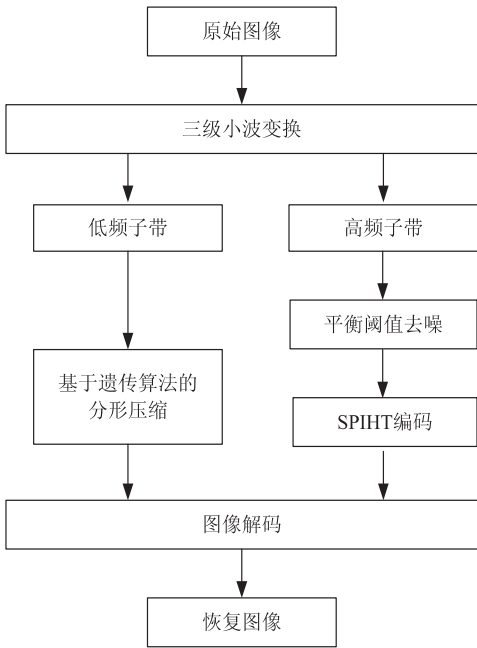


图 3 基于遗传分形编码的嵌入式小波编码流程

基于遗传分形编码的嵌入式小波图像编码算法具体步骤为:

(1)对图像进行三级小波变换分解。首先对原图像进行一级小波分解,得到一级高、低频四个图像分量 $L1, L2, L3, L4$; 然后对低频分量 $L1$ 进行二级和三级小波分解,得到三级高、低频分量 $LLL1, LLL2, LLL3, LLL4$;

- (2)对图像的高频子带部分进行平衡阈值去噪,除去图像的冗余信息;
- (3)对处理后的高频子带进行 SPIHT 编码压缩;
- (4)对小波变换得到的低频子图像进行分割和分类,利用不同层子图像之间的关联及相似性,进行改进后的基于遗传算法的快速分形编码;
- (5)分别进行小波反变换和分形编码部分的函数迭代,重构原图像。

5 仿真测试

为了验证基于遗传算法的嵌入式小波图像编码算法的压缩效果及其压缩效率,文中选取了 512×512 的 Lena 灰度图像作为原始图像。首先对原始图像采用三级小波变换分解,这使得分解后的图像既保存了原图像的低频子带信息,同时也兼顾了高频子带中图像空间结构信息的完整性以利于图像的重构。然后对小波变换后的低频部分进行基于遗传算法的分形编码,该算法中选取分类块 R 块的大小为 8×8 ,并选取重叠块 D 块的大小为 16×16 ,最后进行图像整体的压缩。文中算法的压缩效果与具有代表性的基本分形编码和 SPIHT 编码算法进行了比较。结果如图 4 所示。



图 4 不同编码算法 Lena 的重构图像

从图 4 和表 1 可以进一步看出,文中算法与基本分形编码相比在低码率下具有较高的 PSNR,且重构图像没有出现块效应。

表 1 文中算法与分形编码在不同码率 PSNR 的对比

比特率/(b · p ⁻¹)	文中算法 PSNR	基本分形编码 PSNR
0.04	26.23	25.62
0.08	29.05	27.24
0.16	30.87	29.19
0.22	32.26	31.57

在文中算法中,由于基于遗传算法的分形编码的

快速搜索能力,使得值域块与定义域块的匹配搜索时间大幅度降低,同时对高频进行去噪后的 SPIHT 编码也使得 PSNR 得到了较大提高。表 2 给出了不同码率下文中算法和 SPIHT 算法的执行时间和 PSNR 值对比,通过数据可以看出算法编码速度提高了 1.4 倍以上,同时重构图像的 PSNR 平均提高了 2.52 dB。

表 2 文中算法与 SPIHT 在不同码率 PSNR 及时间的对比

比特率/ (b · p ⁻¹)	文中算法		SPIHT 算法	
	PSNR	时间/s	PSNR	时间/s
0.10	29.15	81.6	26.59	124.7
0.15	30.47	92.5	27.32	132.5
0.20	31.29	115.2	28.25	159.2
0.25	32.62	133.5	30.61	187.9
0.30	33.91	151.7	32.07	203.1

通过分析实验数据,原始图像在经过小波变换得到的高频子带首先经过平衡阈值去噪,除去了图像大部分冗余信息。虽然在执行这部分算法时花费了部分时间,但在图像的重构效果上得到了提高,同时也加快了后续 SPIHT 算法的执行速度。

在对图像的低频部分进行改进后的基于遗传算法的分形编码时,图像低频子带间的关联和自相似性与改进后的算法拥有的良好的全局快速搜索能力相结合,使值域块与定义域块间的匹配搜索速度得到很大提高,匹配搜索的时间大幅度降低。这样使得分形压缩的效率得到了较大提升,减掉高频压缩时去除冗余信息的时间,图像实际的压缩效率仍比其他两种算法要高,并且图像的清晰度也得以加强。

6 结束语

文中从提高图像的压缩效率出发,在分析小波变换与分形图像压缩特点的基础上,在其低频子带部分利用遗传算法的全局快速搜索获取最优解的能力,实现了值域块与定义域块的快速匹配,在降低分形编码的匹配搜索时间的同时提高了匹配精度,同时对高频子带去除噪声后进行 SPIHT 编码,实现了基于遗传分形编码的嵌入式小波图像编码算法,在使图像的编码时间得到较大缩减的同时也使重构图像的质量得到了改善,从而表明该算法是一种有效的编码方案。目前由于分形编码和小波变换自身存在的一些特点,使得

小波变换与分形编码相结合时仍存在一些亟待解决的问题,因此对它们进行优化和挖掘其内在潜力仍是今后图像编码的研究重点。

参考文献:

[1] 李高平. 分形法图像压缩编码[M]. 成都:西南交通大学出版社,2010.

[2] 宁培兴,黄 仁. 数理统计特征的快速图像分形压缩算法研究[J]. 计算机工程与应用,2012,48(31):161-165.

[3] 王向阳,于雁春. 基于改进 K-均值聚类的快速分形图像编码算法[J]. 计算机科学,2008,35(2):219-222.

[4] 刘维胜,高占国,李 力. 分形图像编码的快速算法[J]. 计算机工程与应用,2009,45(9):182-185.

[5] 裔传俊,徐 涛. 基于平均偏差的快速分形图像编码[J]. 计算机工程与设计,2008,29(1):112-114.

[6] He C,Xu X,Yang J. Fast fractal image encoding using one-norm of normalized block[J]. Chaos,Solitons & Fractals,2006(5):1178-1186.

[7] 王小平,曹立明. 遗传算法—理论、应用与软件实现[M]. 西安:西安交通大学出版社,2002.

[8] 田振川,李冠朋,王蒙蒙,等. 基于遗传算法的分形图像压缩技术的研究[J]. 计算机应用与软件,2013,30(4):138-140.

[9] 陈玉萍,须文波. 基于遗传算法的图像压缩[J]. 计算机应用研究,2007,24(6):167-169.

[10] Medeiror L X,Carrijo G A,Flores E L,et al. Genetic algorithms applied in face recognition[J]. IEEE Latin America Transactions,2012,10(6):2280-2285.

[11] Ates H F,Orchard M T. Spherical coding algorithm for wavelet image compression[J]. IEEE Transactions on Image Processing,2009,18(5):1015-1024.

[12] 张宗念,黄仁泰,闫敬文. 基于小波变换和快速矢量量化的 InSAR 图像压缩[J]. 计算机应用,2006,26(5):1009-1011.

[13] Chappelier V,Guillemot C. Oriented wavelet transform for image compression and denoising[J]. IEEE Transactions on Image Processing,2006,15(10):2892-2930.

[14] 龚 劬,阮 华. 基于改进的 SPIHT 整数提升小波变换的图像压缩技术研究[J]. 计算机仿真,2009,26(3):195-197.

[15] Reddi D P,Prasad M N G. A new image compression scheme using hyperanalytic wavelet transform and SPIHT[J]. Contemporary Engineering Sciences,2013(2):87-98.

基于遗传分形编码的嵌入式小波图像编码算法

作者：[张方舟](#)，[王徐研](#)，[郝庆辉](#)，[ZHANG Fang-zhou](#)，[WANG Xu-yan](#)，[HAO Qing-hui](#)
作者单位：[东北石油大学 计算机与信息技术学院, 黑龙江 大庆, 163318](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)
年，卷(期)：2015(1)

引用本文格式：[张方舟](#). [王徐研](#). [郝庆辉](#). [ZHANG Fang-zhou](#). [WANG Xu-yan](#). [HAO Qing-hui](#) [基于遗传分形编码的嵌入式小波图像编码算法](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(1)