

文章编号:1673-5005(2007)06-0117-03

基于形态学膨胀操作的小波图像压缩编码算法

郑秋梅, 李新安, 杨发科

(中国石油大学 计算机与通信工程学院, 山东 东营 257061)

摘要:提出了一种基于形态膨胀运算的对子带间重要系数位置信息进行联合编码的新型小波图像压缩编码算法。该算法首先对同一分辨率下水平、垂直、对角线子带内重要系数的位置信息统一表示在一个子带中,然后依据小波图像的能量聚类特性,采用一种形态膨胀编码算法来对重要系数的位置信息进行高效压缩编码。试验结果表明,该算法要优于零树小波图像压缩编码算法。

关键词:图像压缩;小波变换;空间聚类;形态膨胀;联合编码

中图分类号:TP 391

文献标识码:A

Wavelet image compression coding algorithm based on a morphological operator

ZHENG Qiu-mei, LI Xin-an, YANG Fa-ke

(College of Computer and Communication Engineering in China University of Petroleum,
Dongying 257061, Shandong Province, China)

Abstract: A new wavelet image compression algorithm was proposed based on morphological dilation and the positional information of the important coefficient couplet belt. In this algorithm, the position information of important factor in horizontal, vertical and diagonal sub-belt of the same resolution is uniformly denoted in one sub-belt, then based on the wavelet image with the energy clustering features, the morphological dilation method is used to compress the important coefficient positional information effectively. The experimental results show that this algorithm is superior to the zero tree wavelet image compression algorithm.

Key words: image compression; wavelet transform; spatial clustering; morphological dilation; union coding

近年来,小波变换由于其较强的变焦功能和更大的压缩率^[1],在图像压缩领域的应用取得了空前的成功。若按编码器对小波系数统计特性的利用方式进行划分,小波编码器主要分为零树编码器^[2-3]和形态学编码器^[4-5]。由于形态学编码器搜索重要系数的过程直观简单,其性能也超越了零树编码器,因此正受到越来越多的关注。其中,零树编码器算法复杂度高,多数形态学编码器没有利用带间位置信息的相关性。随着网络和地理信息系统的发展,人们对能快速解码出不同分辨率下的图像的需求越来越迫切,这就要求在数据库中存储这类图像时,应使不同分辨率下图像信息的关联性尽可能减少。为此,笔者根据小波变换后带间重要系数位置信息的相关性及聚类特性,结合游程编码算法,提出一种新

的基于形态膨胀运算、对带间重要系数位置信息进行联合编码的新型小波编码器。

1 图像小波变换系数的特性

自然图像由大面积平滑区域和纹理区域组成,同时包括小部分重要的边缘信息。图像经小波变换后,光滑区域信息和纹理区域的低频分量进入了低频子带,纹理区域的高频分量和边缘信息则进入高频子带。因此小波变换后图像的大部分能量集中在低频子带系数上,同时各高频子带小波系数的能量沿低频向高频衰减。

如果小波变换系数的幅值不小于给定阈值 T ,则称为重要系数;反之称为非重要系数。小波变换后高频子带内大部分是非重要系数,少量的重要系

收稿日期:2007-04-10

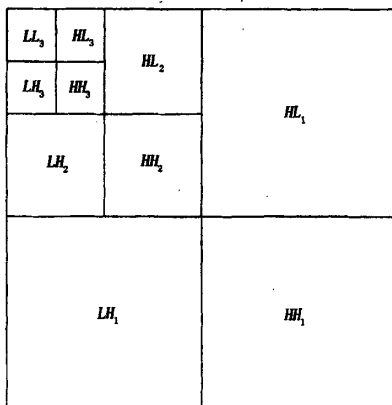
作者简介:郑秋梅(1964-),女(汉族),山东高密人,教授,硕士,研究方向为图像检索、图像压缩编码、数字水印等。

数则体现了图像的边缘和纹理信息,因此重要系数都是沿边缘或纹理聚集。

在每级小波变换中,图像的高频信息被分解为 LH , HL 和 HH 子带。这 3 种子带分别提取了图像沿水平、垂直和对角线方向的边缘和纹理信息。由于 3 种子带提取的是同一图像的不同方向的边缘和纹理信息,因此这 3 种子带间在位置上和数值上有很强的相关性。研究表明,在对小波变换后图像的高频数据进行编码时,其中保存的位置信息占据很大的信息量,如果能将这 3 种子带的重要系数位置信息统一编码到一个子带中,将有利于提高编码效率,而且由于这种统一,使得本不连续的信息能重新连续起来,也有利于利用形态膨胀算法进行搜索。

2 压缩编码方案

本算法包括:①对输入的图像信号实施二维离散小波变换;②对系数进行量化处理;③对子带间重



(a) 小波分解和父子关系示意图

要系数位置信息进行联合编码;④利用形态膨胀算法对位置联合编码信息进行组织;⑤采用游程算法对种子系数进行编码,采用哈夫曼对小波系数进行编码。

2.1 子带间重要系数位置信息联合编码

对图像进行 L 级小波分解后,若记低频子带为 LL_l ,记分辨率 l 上水平、垂直和对角线方向的高频子带分别为 HL_l , LH_l 和 HH_l ,其中 $l=1,2,\dots,L$ 。各子带按其重要性由高到低依次排列为 $LL_l, HL_l, LH_l, HH_l, HL_{l-1}, LH_{l-1}, HH_{l-1}, \dots, HL_1, LH_1, HH_1$ 。图 1 是一个图像经小波分解后的示意图。在各高频子带内,重要的小波系数呈聚类特性,它们反映了原始图像中边界和纹理区域的信息。同时小波变换又是原始图像的多分辨率表示,因此各子带重要系数的分布是相似的。分辨率 l 上水平、垂直和对角线方向的子带重要系数的分布在位置上和数值上都是相关的。



(b) Lena 图像小波变换系数示意图

图 1 图像小波变换示意图

图像经小波变换,对小波系数进行量化,研究表明,在对量化后的小波系数高频细节信息进行有效保存时,重要性系数的位置信息占据了大量的信息量。零树编码器依据的是小波变换后在低分辨率空间上的系数是否重要,若是不重要的,那么它们后代的系数也是不重要的概率极大。零树编码器利用了非重要系数的位置信息来间接体现重要系数的位置信息。但是,从另一角度考虑,也可以采用直接对高频重要系数位置信息保存的方法来提高编码效率。在同一分辨率下,一个子带中的变换系数若为重要系数,则其他两个方向相同位置系数也为重要系数的概率也很大。借助于这个结论,将 3 个子带中重要系数的位置信息进行联合编码。这样如果 3 个子

带中某一位置均为非重要系数,用编码 000 表示;如果该位置至少有一个系数为重要系数,就用一个非零符号表示。编码后,非重要系数位置信息仍然是非重要的,重要系数位置信息统一编码到一个子带中,而且把由于不同方向的子带导致重要系数位置不连续的重新使他们连续起来,便于以后利用形态膨胀算法进行搜索编码。

算法 1 子带间重要系数位置信息统一编码

BEGIN pos_encode()

for($i = \text{img_width}/2; i < \text{img_width}; i++$)

for($j = \text{img_height}/2; j < \text{img_height}; j++$)

(1) 如果点($i - \text{img_width}/2, j$)为重要系数

Pos_info(i, j) = 1;

(2) 如果点 $(i, j - \text{img_height}/2)$ 为重要系数

$\text{Pos_info}(i, j) = \text{Pos_info}(i, j) + 10;$

(3) 如果点 (i, j) 为重要系数

$\text{Pos_info}(i, j) = \text{Pos_info}(i, j) + 100;$

End for

End for

End pos_encode()

2.2 形态算子

图像经过线性小波变换后,相邻系数的相关性很小,可以忽略不计,而对相邻系数幅度的相关性进行度量之后发现,它们之间还有着较大的相关性^[6-7]。针对这种系数幅度之间的非线性相关性,有必要引入一些非线性的处理措施,因为线性变换只能去除线性的相关性,而基于数学形态学的形态膨胀算法,则由于其能够捕捉小波系数的空间聚类特性,从而满足了去除非线性相关的要求。具体利用形态算子实现膨胀的过程如下:

(1) 编码器以光栅扫描的方式对小波子带进行扫描,直到检测到一个重要的系数。在这种情况下,编码器把该位置作为一个种子节点,向输出码流中添加该节点距离上种子节点的距离和该节点的值,这样解码器就会知道在这个位置上的是一个种子节点,并获得了重要系数在3个子带中的分布情况。

(2) 利用形态算子进行膨胀运算^[10]。编码器以上述重要系数为中心,在一个邻域范围内对重要的系数进行标识。如果邻域内的系数是作为新的重要系数出现的,则以这些系数为中心重复该膨胀过程;否则,迭代过程中止,再以光栅扫描方式扫描不重要的系数,直到整个子带都访问过为止。

算法2 重要系数位置信息形态膨胀算法

BEGIN Cluster_encode(i, j)

For($i=0; i < \text{img_width}; i++$)

For($j=0; j < \text{img_height}; j++$)

(1) 如果 $\text{Pos_info}(i, j)$ 为非零

(2) 输出 $\text{Pos_info}(i, j)$ 的值;

(3) 将 $\text{Pos_info}(i, j)$ 变量赋值为0;

(4) 根据膨胀算子判断其相邻元素 $\text{Pos_info}(i + di, j + dj)$ 是否为重要系数;

(4.1) 为重要系数;

(4.1.1) 输出 $\text{Pos_info}(i + di, j + dj)$;

(4.1.2) 将 $\text{Pos_info}(i + di, j + dj)$ 变量赋值为0;

(4.1.3) 以 $\text{Pos_info}(i + di, j + dj)$ 为起点循环判断;

(4.2) 为非重要系数,退出循环;

End for

End for

End Cluster_encode(i, j)

2.3 种子系数的游程编码

种子系数是重要系数位置信息聚类膨胀运算的起始点,从种子系数出发,利用算法2就能搜索到整个聚类。由于小波变换后图像的能量只集中在少数系数上,非重要系数出现的概率要大于重要系数出现的概率。特别是对于形态学小波编码器,很多重要系数位置编码都可以通过膨胀运算搜索到,因此在尚未被搜索到的非重要系数位置信息进行扫描以寻找种子系数的过程中,种子系数出现的概率将会更小。如果对依次扫描到的两个种子系数之间的非重要系数位置信息的游程进行编码输出,不仅能够确定种子系数的位置,也可以达到压缩的目的。之后再以种子系数为起点进行膨胀运算,就能搜索到聚类中所有的重要系数位置信息。

3 试验结果

通常使用的图像压缩质量评价标准分为主观评价和客观评价两种,本文中使用的均方误差(ϵ_{MSE})和峰值信噪比(γ_{PSNR})客观评价方法,计算公式为^[8]

$$\epsilon_{\text{MSE}} = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{i,j} - x'_{i,j})^2, \quad (1)$$

$$\gamma_{\text{PSNR}} = 10 \lg \frac{b^2}{\frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{i,j} - x'_{i,j})^2}. \quad (2)$$

式中, b 为原始图像可能取得的最大像素值(典型值为255); $x_{i,j}$ 和 $x'_{i,j}$ 分别为原始图像和重构后的图像的像素值; m 和 n 都取值为512。

对原始图像Lena(512×512)及Barbara(512×512)进行红-黑小波变换^[9],比较后的指标参数见表1。

表1 本文算法与EZW、SPIHT算法峰值信噪比(γ_{PSNR})比较

图像	编码算法	编码率(位/像素点)			
		1.00	0.50	0.25	0.125
Lena	EZW	39.55	36.28	33.17	30.23
	SPIHT	40.20	37.00	33.95	30.93
	本文算法	40.23	37.42	33.53	31.16
Barbara	EZW	35.14	30.53	26.77	24.03
	SPIHT	36.17	31.25	27.35	24.48
	本文算法	36.37	31.26	27.39	24.51

(下转第126页)

- quantum genetic algorithms and performance analysis [J]. Control and Decision, 2005, 20(2): 156-160.
- [7] NIELSEN M, CHUANG I. Quantum computation and quantum information [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000: 13-17.
- [8] 杨俊安, 庄镇泉, 史亮. 多宇宙并行量子遗传算法[J]. 电子学报, 2004, 32(6): 923-928.
- YANG Jun-an, ZHUANG Zhen-quan, SHI Liang. Multi-universe parallel quantum genetic algorithm [J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(6): 923-928.
- [9] 李盼池, 李士勇. 基于量子遗传算法的正规模糊神经网络控制器设计[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(16): 3710-3714.
- LI Pan-chi, LI Shi-yong. Optimal design of normalized fuzzy neural network controller based on quantum genetic algorithm [J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(16): 3710-3714.
- [10] 张葛祥, 李娜, 金炜东, 等. 一种新量子遗传算法及其应用[J]. 电子学报, 2004, 32(3): 476-479.
- ZHANG Ge-xiang, LI Na, JIN Wei-dong, et al. A novel quantum genetic algorithm and its application [J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(3): 476-479.
- [11] 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: 25-50.
- (编辑 修荣荣)

(上接第119页)

从表1可以看出, 相同码率下, 本文算法具有比 EZW 和 SPIHT 更高的峰值信噪比, 即使在较低码率时, 峰值信噪比仍较高。

4 结 论

(1) 本文算法利用小波变换后带间系数的相关性, 对重要系数的位置信息进行联合编码, 有效去除了带间相关性, 同时增强了重要系数位置信息的聚类特性。

(2) 利用形态膨胀算法能够捕捉小波系数的空间聚类特性, 对高频联合编码的重要系数的位置信息进行编码, 满足了去除非线性相关的要求。

(3) 利用一种高效的游程编码算法记录种子系数的位置, 不必对系数的重要性逐个进行编码, 提高了编码效率。

(4) 对不同分辨率下的高频子带分别进行编码, 可使图像信息的关联性减少, 方便网络环境下快速解码出不同分辨率下的图像。

参考文献:

- [1] 张军华, 全兆岐. 用小波变换法定量压缩地震数据 [J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2003, 27(5): 28-35.
- ZHANG Jun-hua, TONG Zhao-qi. Quantitative compression of seismic data with wavelet transformation method [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2003, 27(5): 28-35.
- [2] SHAPRIO J M. Embedded image coding using zerotree of wavelet coefficients [J]. IEEE Trans on Signal Processing, 1993, 41(12): 3445-3462.
- [3] SAID A, PEARLMAN W A. A new, fast, and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees [J]. IEEE Trans on Circuits Syst Video Technol, 1996, 6(3): 243-250.
- [4] SERVETTO S D, RAMCHANDRAN K, ORCHARD M T. Image coding based on a morphological representation of wavelet data [J]. IEEE Trans on Image Processing, 1999, 8(9): 1161-1174.
- [5] CHAI B, VASS J, ZHUANG X. Significance-linked connected component analysis for wavelet image coding [J]. IEEE Trans on Image Processing, 1999, 8(6): 774-784.
- [6] ZHONG J M, LEUNG C H. Image compression based on energy clustering and zero-quadtrees representation [J]. IEEE Proceedings of Vision, Image and Signal Processing, 2000, 147(6): 564-570.
- [7] LAZZARONI Fabio, LEONARDI Riccardo. High-performance embedded morphological wavelet coding [J]. IEEE Signal Processing letters, 2003, 10(10): 293-295.
- [8] 刘利章, 史浩山, 杨少军. 基于快速逐次逼近量化的零树编码图像压缩算法 [J]. 计算机工程与应用, 2005(14): 12-14.
- LIU Li-zhang, SHI Hao-shan, YANG Shao-jun. A zerotree coding image compression algorithm based on fast successive approximation quantization [J]. Computer Engineering and Applications, 2005(14): 12-14.
- [9] 刘家胜, 刘仁金, 仲兴荣. 红-黑小波变换 [J]. 皖西学院学报, 2004, 20(5): 26-29.
- LIU Jia-sheng, LIU Ren-jin, ZHONG Xing-rong. The red-black wavelet transform [J]. Journal of West Anhui University, 2004, 20(5): 26-29.
- [10] 吴铮, 何明一. 小波图像的膨胀-游程编码算法 [J]. 电子与信息学报, 2005, 27(7): 1031-1034.
- WU Zheng, HE Ming-yi. Wavelet image coding by dilation-run algorithm [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2005, 27(7): 1031-1034.
- (编辑 修荣荣)