

基于人眼视觉特性的 EZW 图像编码改进算法

付 伟, 顾晓东

(复旦大学 电子工程系, 上海 200433)

摘 要: 在经典 EZW(embedded zero-tree wavelet)算法的基础上, 根据人眼对图像边缘和平滑区信息的失真要比纹理区失真更敏感这一视觉特性, 对小波变换后的系数分类编码, 提出了一种新的有效的图像压缩编码算法. 实验结果表明由于边缘和极平滑区小波系数分配了更多的比特数, 该算法所得的重构图像边缘更清晰, 具有更好的视觉效果.

关键词: 嵌入零树小波编码; 人眼视觉特性; 图像压缩编码; 小波变换

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)03-0047-04

Improved EZW Image Encoding Algorithm Based on HVS

FU Wei, GU Xiao-dong

(Department of Electronic Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: A new and effective improved encoded algorithm based on zero-tree wavelet is proposed, which codes the wavelet coefficients with sorting method according to the Human Visual System(HVS) that we human pay more attention to the edge and flat region of one image than to the texture region. Simulation results show that the algorithm we proposed performs better than that of EZW in image visual quality as the reconstruction image of the improved method has more clear edge because more bits are used to code the coefficients of the edge and flat region.

Key words: EZW; HVS; image coding; wavelet transform

1 引言

小波变换是 20 世纪 80 年代中期出现的新的时/频域信号分析工具, 1989 年 Mallat 将小波变换用于信号处理, 提出了多分辨率分析的概念, 并将小波分析首次应用于图像编码中. 之后小波变换以其良好的时频局部特性和去相关能力以及具有与人眼视觉特性相符的多分辨率分析能力, 在图像压缩编码领域逐渐得到广泛应用, 并取得了很好的效果, 迄今已有不少基于小波变换的图像压缩编码算法被相继提出^[1-2]. 1993 年 Shapiro 根据小波零树的概念提出了嵌入式零树小波编码(EZW)算法^[3], 该算法以其高效的编码效率和良好的图像还原质量被认为是编码效率最好的图像压缩算法之一. 在 EZW 算法基础上 Said 和 Pearlman 提出了分层树的集划分(SPIHT)图像编码算法, 它是对 EZW 算法的一种更一般

化的表示, 它吸取了零树的许多思想, 其目的也是通过方向树最为有效的表示有效值映射, 通过对树的划分, 将尽可能多的无效值系数汇集在一个子集中, 用一个单位符号表示^[4]. 随后不少 EZW 的改进算法也被相继推出^[5-7], 但是经典 EZW 算法以及这些改进算法没有充分考虑人眼视觉特性, 影响了图像复原质量. 若能在图像编码过程中充分利用人眼的视觉特性, 则根据 Shannon 率失真理论可以采用更低的编码比特率使得图像的主观质量保持不变.

实验表明: 人眼对图像边缘区信息的失真很敏感, 对图像平滑区信息的失真比较敏感, 而对图像纹理区信息的失真不敏感. 文中在经典 EZW 算法的基础上, 对图像边缘和极平滑区小波系数分配更多的比特数使之量化更精细. 由于更加注重图像边缘和极平滑区的信息, 重构恢复的图像具有更佳的主观视觉效果.

收稿日期: 2009-01-05; 修回日期: 2009-03-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(60671062, 60571052); 国家重点基础研究发展计划项目(2005CB724303)

2 EZW 编码算法

嵌入式零树小波算法(EZW)合理地利用了小波系数的零树结构,其基本思想是将小波系数的编码分解为标志系数特征的系数重要性编码和重要系数的幅度编码。主要包括三个过程:(1)零树预测;(2)用零树结构编码重要图;(3)逐次逼近量化。一幅图像经过离散小波变换后,小波系数的分布呈树状形式分布,这体现了小波系数间的自相似性——父子关系(Parent-child),如图1所示。而EZW算法则以零树结构为理论基础,通过逐次逼近量化完成嵌入式编码。所谓逐次逼近量化就是通过设置阈值序列 $T_0, T_1, \dots, T_{N-1}$ 来决定重要系数。其中 $T_i = T_{i-1}/2$,且初始阈值 $T_0 = 2M, M = \log_2[\text{Max}(\text{abs}(X_i))]$, X_i 是小波系数。首先进行主扫描,即对于给定阈值 T_i ,如果该节点小波系数及其所有节点小波系数均小于 T_i ,即是不重要的,而且该节点不是处于最细尺度上,则称该节点为零树根,编码为ZTR,这些小波系数便形成了一棵零树。如果该节点小波系数对于阈值是不重要的,但其子节点中有小波系数是重要的,则称该节点为孤立零,编码为IZ。如果该节点小波系数对于阈值是重要的,则称为重要系数,正值编码为POS,负值编码为NEG。在完成主扫描后进行辅扫描,辅扫描是对主扫描取出的带有符号 P 或者 N 的系数进行量化,产生代表对应量化值的符号“0”和“1”,这种符号称为量化符号。在量化系数之前要构造量化器。量化器的输入间隔为 $[T_{i-1}, 2T_{i-1}]$,该间隔被 $1.5T_{i-1}$ 分成两个部分: $[T_{i-1}, 1.5T_{i-1}]$ 和 $[1.5T_{i-1}, 2T_{i-1}]$,量化间隔为 $0.5T_{i-1}$,其中 i 为第 i 次编码。量化器的输出为量化符号“0”和“1”,“0”对应量化值为 $(1.5 - 0.25)T_{i-1}$;“1”对应量化值为 $(1.5 + 0.25)T_{i-1}$ 。

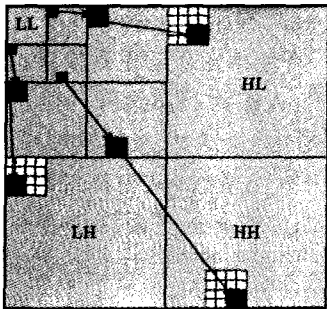


图1 小波系数树状结构

3 基于人眼视觉特性的改进算法

文中利用人眼对于图像边缘区、平滑区、纹理区

敏感程度的不同,将小波分解后的系数分为边缘系数,平滑区系数以及纹理区系数。由于图像平滑区的熵值较小,而熵值较大的区域则属于图像边缘区或纹理区,同时纹理区对应的方差较小,而边缘区对应的方差较大,所以可以选择合适的熵阈值和方差阈值来确定图像不同区域。文中通过计算小波系数的四个子节点的熵值和方差的大小来反映该小波系数是否属于边缘系数,平滑系数还是纹理系数。若某小波系数 X 的4个子节点系数为 X_1, X_2, X_3 和 X_4 ,该四个子节点系数的熵值定义为

$$\text{ENTROPY} = \sum_{i=1,2,3,4} \text{probs}(X_i) \cdot I(i)$$

式中,

$$I(i) = -\log_2(\text{probs}(X_i))$$

同时定义四个子节点系数的方差为

$$D(X) = \sum_{i=1,2,3,4} (X_i - E(X))^2,$$

其中

$$E(X) = \frac{1}{4} \sum_{i=1,2,3,4} X_i.$$

当子节点系数的熵值小于某个阈值 δ (取值较小)时,则父节点系数为极平滑区系数。(简称为平滑区系数),否则为边缘或纹理区系数,而同时当子节点系数方差大于某个阈值 Δ 时,则父节点系数为边缘区系数,否则为纹理区系数。而对于最高频系数,则以其父节点系数的性质来判定,即父节点系数为边缘区系数,则其为边缘区系数。

根据上面的小波系数分类结果,文中算法定义6种符号:零树根 T 、孤立零值 Z 、正重要系数 P 、负重要系数 N 、正边缘平滑区系数 R 和负边缘平滑区系数 S (文中将边缘系数和极平滑区系数同等对待)。同样通过逐次逼近量化完成嵌入式编码。也即设置普通阈值序列 $T_0, T_1, \dots, T_{N-1}$ 来决定重要系数,其中 $T_i = T_{i-1}/2$ 且初始阈值 $T_0 = 2M, M = \log_2[\text{Max}(\text{abs}(X_i))]$, X_i 是小波系数。同时设置边缘平滑区域值系列 $DT_0, DT_1, \dots, DT_{N-1}$ 来决定边缘和平滑区系数,其中 $DT_i = DT_{i-1}/2$,而 $DT_i = T_i/2$ 。这样在某一量化级 T_i ,对于相同大小的小波系数,边缘和平滑区系数由于量化更精细而具有更小的量化误差(普通小波系数最大量化误差为 $T_i/4$,而边缘和平滑区系数为 $DT_i/4 = T_i/8$),同时更小一级的边缘和平滑区系数 $DT_i = T_i/2$ (因为边缘平滑区量化级)也被同时量化。显然当设定某一特定比特率后,边缘和平滑区系数分配了更多的比特率。文中算法具体的扫描过程如下:

主扫描:扫描每一个系数以产生系数符号.

- (1) 如果系数幅度大于阈值 T 且为正数,输出符号 P ;
- (2) 如果系数幅度大于阈值 T 且为负数,输出符号 N ;
- (3) 如果系数幅度小于阈值 T ,但大于阈值 $T/2$ 且为正数,而树枝中的 4 个孩子节点系数熵值小于阈值 δ 或者方差大于阈值 Δ ,输出符号 R ;
- (4) 如果系数幅度小于阈值 T ,但大于阈值 $T/2$ 且为负数,而树枝中的 4 个孩子节点系数熵值小于阈值 δ 或者方差大于阈值 Δ ,输出符号 S ;
- (5) 如果系数不满足上面四者之一,而树枝中有孩子节点系数值大于阈值 T ,则用符号 Z 表示;
- (6) 如果系数及其所有节点系数均小于 T ,而且该系数又不满足边缘平滑区系数条件,则该系数为零树根,输出 $T^{[8-9]}$.

辅扫描:量化带符号 P 、 N 、 R 和 S 的系数.

- (1) 对于 P 和 N 的量化,与 EZW 算法相同.在量化系数之前要构造量化器.量化器的输入间隔为 $[T_{i-1}, 2T_{i-1})$,该间隔被 $1.5T_{i-1}$ 分成两个部分: $[T_{i-1}, 1.5T_{i-1})$ 和 $[1.5T_{i-1}, 2T_{i-1})$,量化间隔为 $0.5T_{i-1}$,其中 i 为第 i 次编码.量化器的输出为量化符号“0”和“1”,“0”对应量化值为 $(1.5 - 0.25)T_{i-1}$,“1”对应量化值为 $(1.5 + 0.25)T_{i-1}$.
- (2) 对于符号 R 和 S ,由于它们对应了图像边缘或平滑区,量化器的输入间隔为 $[DT_{i-1}, 2DT_{i-1})$,其中 $DT_{i-1} = T_{i-1}/2$.该间隔被 $1.5DT_{i-1}$ 分成两个部分: $[DT_{i-1}, 1.5DT_{i-1})$ 和 $[1.5DT_{i-1}, 2DT_{i-1})$,量化间隔为 $0.5DT_{i-1}$,其中 i 为第 i 次编码.量化器的输出为量化符号“0”和“1”,“0”对应量化值为 $(1.5 - 0.25)DT_{i-1}$,“1”对应量化值为 $(1.5 + 0.25)DT_{i-1}$.

4 仿真实验结果

以标准的 $512 \times 512 \times 8\text{bit}$ 的 Lena, Man 和

Mandril 灰度图像为例(分别代表平滑图像,边缘丰富图像以及纹理丰富图像)来验证文中算法的效果,并与经典 EZW 算法进行比较.其中小波分解和重构采用 $D(9, 7)$ 双正交小波进行,熵值阈值 δ 取 4.0,方差阈值 Δ 为 $0.02DT_{i-1}^2$,其中 DT_{i-1} 为第 i 次编码的边缘平滑区系数量化阈值.且对 EZW 算法和文中算法扫描后产生的系数符号系列和量化符号系列采用 Huffman 编码算法进行嵌入式编码以产生最终的码流.由于 PSNR 对评价图像的主观视觉效果具有一定的局限性,文中采用分别由文献[8]和文献[9]提出的更接近主观视觉评价质量的 MSSIM 值以及 VIF 值作为图像质量评价指标来衡量重构图像的实际主观视觉质量,其中 MSSIM 和 VIF 值越大,表明恢复图像的主观质量越好.图 2(a)和图 2(b)分别是 Ma0.25bpp 下的 EZW 算法的恢复图像和文中算法的恢复图像.图 2(b)中的边缘比图 2(a)中的边缘更加清晰,如手表、手背、帽子、头发,衣服花纹等边缘区更清晰,具有更好的视觉效果.



图2 文中算法与 EZW 算法直观重构图像比较

表 1 是不同码率下重构图像的 MSSIM 和 VIF 值比较.由表可以看出对于平滑图像和边缘丰富图像,文中算法相对于经典 EZW 算法,恢复图像具有更好的主观视觉质量.而对于纹理丰富图像在低比特率下,文中算法同样可以得到更好视觉质量的恢复图像,而在高比特率情况下则略逊于原 EZW 算法.

表1 文中算法与 EZW 算法的 MSSIM/VIF 值比较

比特率/bpp	Lena 图像	Man 图像	Mandril 图像			
	EZW	文中算法	EZW	文中算法	EZW	文中算法
0.100	0.758/0.169	0.761/0.160	0.621/0.115	0.631/0.122	0.382/0.061	0.419/0.079
0.200	0.816/0.258	0.824/0.261	0.704/0.194	0.719/0.219	0.493/0.119	0.512/0.131
0.250	0.840/0.311	0.853/0.318	0.726/0.234	0.744/0.248	0.546/0.148	0.554/0.140
0.500	0.890/0.483	0.901/0.503	0.817/0.367	0.831/0.404	0.636/0.218	0.659/0.229
1.000	0.927/0.666	0.935/0.683	0.904/0.579	0.905/0.588	0.791/0.356	0.783/0.324

5 结束语

近年来,以 EZW 为基础的各种改进算法相继推出,它们主要是针对 EZW 算法本身实现效率或其他相关问题进行改进算法的研究,而大多都忽略人眼视觉特性对图像编码的影响.文中根据人眼视觉特性,在经典 EZW 算法的基础上提出一种新的改进算法,目的是对边缘和极平滑区小波系数分配更多的比特数,以使重构图像具有更好的主观视觉质量.实验结果表明文中算法对平滑图像和边缘丰富图像具有更好的重构效果,对于纹理丰富图像则在低比特率情况下具有更好的重构图像质量.

参考文献:

- [1] 余平,马小虎,李建国. 基于 LS9/7 小波的图像压缩算法研究[J]. 微电子学与计算机,2008,25(9): 109 - 111.
- [2] 刘丹,王湘海. 提升方案小波和位平面下的图像质量可分级编码研究[J]. 微电子学与计算机,2007,24(2): 150 - 153.
- [3] Shapiro J M. Embedded image coding using zero trees of wavelet coefficients[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 41(12): 3445 - 3463.
- [4] Said A, Pearlman W A. A new, fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees[J].

IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1996,6(3):243 - 250.

- [5] Patel S, Srinivasan S. Modified embedded zerotree wavelet algorithm for fast implementation of wavelet image codec [J]. Electronics Letters, 2000, 36(20):1713 - 1714.
- [6] Ouafi A, Ahmed A T, Baarir Z, et al. Color image coding by modified embedded zerotree wavelet (EZW) algorithm [C]// IEEE International Conference on Information & Communication Technologies. Damascus, Syria, 2006(1): 1451 - 1456.
- [7] 丁海涛. 一种 EZW 编码的改进算法[J]. 仪器仪表学报, 2005,26(8): 565 - 569.
- [8] Wang, Bovik A C, Sheikh H R, et al. Image quality assessment: from error measurement to structural similarity [J]. IEEE Transactions on image processing, 2004, 13(4):600 - 612.
- [9] Sheikh H R, Bovik A C. Image information and visual quality[J]. IEEE Transactions on image processing, 2006, 15(2): 430 - 444.

作者简介:

付伟男,(1984-),硕士研究生.研究方向为图像质量评价、图像压缩编码.

顾晓东男,(1970-),博士后,副教授.研究方向为人工神经网络、图像处理、模式识别等.

(上接第 46 页)

5 结束语

文中提出的 TSRBAC 模型结合网格环境中的角色和任务,实现了动态授权和按需授权以及权限的细粒度分配.在以后的工作中,将考虑用户属性角色的冗余和权限角色的矛盾等问题,进一步作深入的研究.

参考文献:

- [1] Pearlman L, Kesselman C, Welch V, et al. The community authorization service: status and future[C]//Proc. of Int'l Conference for Computing in High Energy and Nuclear Physics. USA: La Jolla, 2003.
- [2] Sandhu R, Coyne E, Feinstein H, et al. Role-based access control models[J]. IEEE Computer, 1996, 29(2): 38 - 47.
- [3] 毛碧波,孙玉芳.角色访问控制[J].计算机科学, 2003, 30(1):121 - 125.
- [4] Thomas R K, Sandhu R. Task-based authorization con-

trols: a family of models for active and enterprise-oriented authorization management[C]//Proceedings of the 11th I-FIP WG11. 3 on Database Security. Canada, Vancouver, 1997: 166 - 181.

- [5] 张亚红,王勇,陈辉.网格环境下基于角色和任务的访问控制模型设计与研究[J].微电子学与计算机, 2008,25(5):179 - 181.
- [6] 吴毓毅,贺也平.关于网格计算授权机制的研究[J].计算机应用研究,2005,22(8):81 - 83.
- [7] 孙翥,张毓毅,李军怀,等.基于角色的轻量级多粒度访问控制框架研究[J].微电子学与计算机,2008,25(7): 87 - 91.

作者简介:

鲍美英女,(1975-),博士研究生,讲师.研究方向为网络安全、符号矩阵.

马礼男,(1968-),博士,教授.研究方向为高性能计算、网络计算.

高玉斌男,(1962-),博士,教授.研究方向为组合矩阵、符号矩阵.