

主辅扫描混合编码的嵌入零树小波改进算法

陈冬 张田文

(哈尔滨工业大学计算机科学与技术学院, 哈尔滨 150001)

摘要 提出了主辅扫描混合编码的嵌入式零树小波(EZW)改进算法。使前一阈值下大系数的辅扫描编码和解码优先进行,构成一个新的辅扫描过程;合并了主扫描和新发现的大系数的辅扫描为一个新的主扫描过程,使编码和解码更精细有效。实验结果表明,与传统的EZW算法相比,该改进算法明显提高了图像压缩的峰值信噪比。

关键词 JPEG2000 改进算法 混合编码 图像压缩 小波

中图分类号:TP751.1 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2009)09-1802-06

Improved EZW Algorithm of Dominant and Subordinate Pass Mix-coding

CHEN Dong, ZHANG Tian-wen

(School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract Improved embedded zero-tree wavelet (EZW for short) algorithm of dominant and subordinate pass mix-coding is presented. The subordinate pass of big coefficients that belong to a previous threshold becomes the first step during the encoding process. The dominant pass and the subordinate pass that constituted by the new big coefficients are combined to a new dominant pass. It makes encoding and decoding effective. Experimental result shows that compared to the traditional EZW, the improved algorithm can increase the peak signal to noise ratio (PSNR for short) of image compression.

Keywords JPEG2000, improved algorithm, mix-coding, image compression, wavelet

1 引言

近年来,离散小波变换(DWT)^[1-2]在图像压缩领域的应用越来越广泛,并被JPEG2000所采用,成为其静态图像压缩的核心方法^[3]。基于Lifting的第2代小波具有比第1代小波更高效的快速算法,具有原位计算,不需要辅助内存,逆变换的实现简单等优点^[4-5]。图像经小波多层分解后,其不同频带同一位置处的像素具有很强的相关性,从而形成了小波变换所特有的树状结构,利用这一特性可以构造出高效的图像压缩算法,Shapiro所提出的嵌入式零树小波编码^[6]就是其中之一。许多小波图像压缩的改进算法^[7-12]的思想都来源于它。

通过对传统EZW(嵌入式零树小波)算法及其改进算法的分析,发现了其结构本身仍然存在的一些没有被提出的问题:(1)传统EZW算法前一阈值下大系数的辅扫描编码是在本次扫描的主扫描编码之后进行的。而理论上前一阈值下的大系数更重要,其辅扫描应该在本次扫描过程中优先于主扫描进行。(2)传统EZW算法主扫描过程编码的是小波系数的位置信息,主扫描不直接参与大系数数值的编码。虽然解码时主扫描过程可以以当前阈值的1.5倍对大系数进行数值的初步解码,但从EZW主扫描过程来看,因为先扫描到的大系数处于相对低频的子带,其要比后扫描到的大系数重要,因此先扫描到的大系数解码是否精确对于图像压缩来讲很重要。这就有必要在主扫描编码时把位于辅扫描中的

基金项目:国家自然科学基金项目(60875013, 60475011)

收稿日期:2008-01-23;改回日期:2008-04-25

第一作者简介:陈冬(1976~),男,哈尔滨工业大学计算机学院在读博士研究生。主要研究方向为小波分析、数据压缩、数字信号处理、滤波器设计、图像处理。E-mail: message_cd@hit.edu.cn

大系数的数值信息的编码也融合进来,使先扫描出的大系数优先精确解码。也就是把主扫描过程和新发现的大系数的辅扫描合并为一个新的主扫描过程,使主扫描不仅编码系数的位置信息而且编码大系数的数值信息。

为了解决上述 EZW 算法结构本身的问题,提出了主辅扫描混合编码的 EZW 改进算法。实验结果表明,改进算法提高了解码后恢复图像的质量,取得了较好的效果。

2 嵌入式零树小波编码算法简介

2.1 EZW 算法的基本原理

小波变换后的子图像具有自相似特性,因此能够有效地利用图像中系数之间的相关性,使变换后图像的大部分能量集中在少数一些系数上,从而为大幅度压缩创造条件。同时,不同级相对应位置的系数之间仍然有很强的相关性,这种相关性以小波树的父子系数的形式表现出来。将对应于同一空间位置的系数集合作为一个整体来处理,这些系数可以形成一个树形结构(图1)。由小波变换的空间局域性质可知,对应于同一空间区域内的这些上下级小波系数之间存在着一定的关联,对各高频子带的统计表明:如果某个较低精度级上的某个系数小于某个阈值,则在下一个较高精度以及更高精度上,该系数所对应的后代系数均小于该阈值的可能性极大,因此很容易产生零树。如果较低精度级上的这个父系数被确定为该阈值下的零树根,则在编码时就可以不对其后代系数进行扫描了。EZW 编码方法的压缩效益主要来自于引入零树的概念,即利用

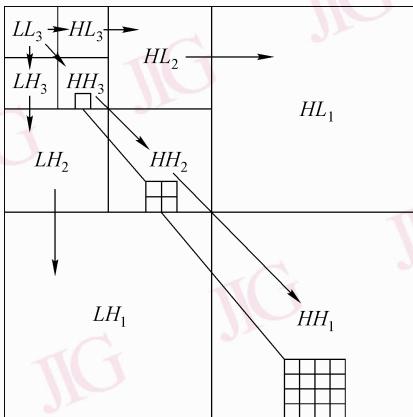


图1 小波系数的子带关系示意图

Fig. 1 Parent-child dependencies of subbands of wavelet coefficients

“零树根”符号不仅对本系数而且对以它为根的所有子树上的所有系数进行编码,可见当这种零树根数目愈多而且所处的精度级愈低时,这种编码方法的压缩率也就愈高。

EZW 编码方法将小波系数分为4类:零树根(T)、孤立零点(Z)、正大系数(N)、负大系数(P)。在设定一个阈值 T 后,开始对系数扫描,采用 Raster 扫描方案,扫描先从最低频的 LL_1 开始,然后按 HL_1, LH_1, HH_1 顺序扫描(图2),再转向下一层子带,形成一张含有以上4类元素的主表,然后将大系数从主表移至辅表,在辅扫描编码中按其绝对值位于区间 $[T, 1.5T)$ 或 $[1.5T, 2T)$ 分别编码为0和1。再将阈值减半,对尚未判定为重要的系数重复上述扫描过程,根据比特率等的要求可随时终止编码过程。以编解码双方完全一致的扫描顺序,逐级递减排阈值搜索重要系数,编码端的主扫描根据搜索结果形成重要系数的坐标序列,解码端的主扫描以同样顺序扫描,生成相应的系数坐标序列。同理,编码和解码端的辅扫描以完全一致的顺序进行即可。

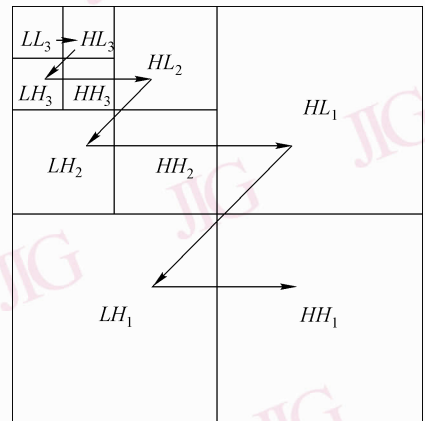


图2 EZW 编码系数分布子带及其主扫描图

Fig. 2 Scanning order of the subbands for encoding a significance map

2.2 EZW 算法的编码流程

(1) 初始化

初始阈值 $T = T_0 = 2^n, n = \lfloor \log_2 \left(\max_{(i,j)} \{ |c_{i,j}| \} \right) \rfloor$,

辅扫描表为空。

(2) 主扫描过程

按照 Raster 扫描顺序(如图2所示)对图像矩阵扫描(该层扫描的阈值是 T)。

① 如果是重要系数

- 如果是正大系数,则输出符号 P;如果是负大系数,则输出符号 N。

- 将大系数的绝对值写入辅扫描表。

- 将大系数所对应位置的图像矩阵系数的数值置零。

② 如果是孤立零点,则输出符号 Z

③ 如果是零树根,则输出符号 T,且其所有的子系数不参与该阈值下的扫描

(3) 辅扫描过程

对辅扫描表中的每个数据 x 依次进行处理(该层扫描的阈值是 T)。

① 如果数据在区间 $[1.5T, 2T)$,则输出 1;且把 x 转化到区间 $[T/2, T)$,以便下层辅扫描时处理:
 $x = x - T$

② 如果数据在区间 $[T, 1.5T)$,则输出 0;且把 x 转化到区间 $[T/2, T)$,以便下层辅扫描时处理:
 $x = x - T/2$

(4) 更新量化

重新设置阈值 $T = T/2$,转至步骤 2。

3 主辅扫描混合编码的 EZW 改进算法

如引言所讲, EZW 算法结构本身存在一些没有被提出问题。为了解决这些问题,提出了主辅扫描混合编码的 EZW 改进算法。其主要思想是:前一阈值下产生的大系数的辅扫描编码优先于主扫描进行,也就是采用“辅扫描—主扫描”的结构;同时,合并本次扫描下的主扫描和对新发现的大系数的辅扫描为一个新的主扫描过程。

3.1 符号说明

为了方便主辅扫描混合编码的 EZW 改进算法的描述,用全新的算法流程框图来描述原始 EZW 算法,并在此基础上逐渐演化出新算法。算法改进过程中所用到的一些符号如下:

D 表示主扫描; S 表示辅扫描; k 表示扫描层数; T 表示初始阈值; $T/2^{k-1}$ 表示当前扫描阈值; n 表示当前要处理的系数是第 n 层扫描时生成的; S_n 表示当前要处理的辅扫描表系数是第 n 层扫描时生成的; $D_k - T/2^{k-1}$ 表示:第 k 层主扫描,扫描阈值为 $T/2^{k-1}$; $S_n - T/2^{k-1}$ 表示:第 k 层辅扫描,扫描阈值为 $T/2^{k-1}$,当前要处理的系数是第 n 层扫描时生成的。

3.2 原始 EZW 编码算法流程的符号化描述

由上节的符号说明,给出原始 EZW 编码算法流

程示意图(图 3),以方便下面的改进算法论述。

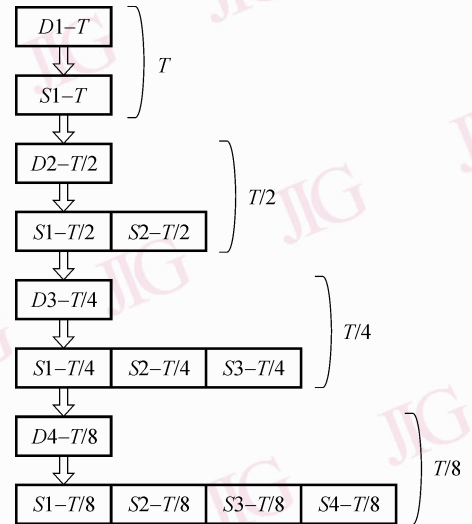


图 3 原始 EZW 编码算法流程示意图

Fig. 3 Flow chart of original EZW encoding

由图 3 可知,每一层扫描由主扫描和辅扫描构成,初始阈值是 T ,以后的扫描阈值依次减半。其中主扫描生成系数的位置编码,并把大系数的绝对值写入辅扫描表;辅扫描表是一个不断增长的表,用来细化大系数的绝对值所在的区间。

3.3 主辅扫描混合编码的 EZW 改进算法的基本原理

首先调整图 3 的 EZW 编码算法的流程图,使前一阈值下产生的大系数的辅扫描编码优先于本次扫描的主扫描进行。可以通过调换主扫描和辅扫描(前一阈值下的辅扫描数据)的顺序来实现这一目标。调整后的流程如图 4 所示。

由图 4 可知,上面的过程实际上是一个“辅扫描—主扫描—辅扫描”的扫描顺序。当扫描阈值为 T 时,虚拟了一个 $S_0 - T$ 的辅扫描过程(如图中的虚线框所示),因为第 1 次扫描时辅表为空,所以实际上这个虚拟的辅扫描过程并不产生任何输出编码,它的作用是使表示完整清晰。当扫描阈值为 $T/2$ 时,把图 3 中的 $S_1 - T/2$ (前一阈值下的大系数)从辅扫描中提取出来放在 $D_2 - T/2$ 之前而获得图 4 所示的结构,使前一阈值下大系数的辅扫描编码和解码优先进行,构成一个新的辅扫描过程。

对于不采用熵编码的传统 EZW 编码,它的主扫描的 4 个表征符号 P(正大系数),N(负大系数),Z(孤立零点),T(零树根)在主扫描输出时分别编码成 11,10,01,00。在辅扫描中,处于区间 $[1.5T, 2T)$

x 转化到区间 $[T/2, T)$, 以便下层扫描时处理: $x = x - T$;

② 如果数据在区间 $[T, 1.5T)$, 则输出 0; 且把 x 转化到区间 $[T/2, T)$, 以便下层扫描时处理: $x = x - T/2$ 。

(3) 主扫描过程

按照 Raster 扫描顺序对图像矩阵扫描(该层扫描的阈值是 T), 设系数的值为 x 。

① 如果是重要系数

• 如果是正大系数, 则

如果数据 x 在区间 $[1.5T, 2T)$, 则输出符号 PH (编码成 111), 且把 x 转化到区间 $[T/2, T)$, 以便下层扫描时处理: $x = x - T$

如果数据 x 在区间 $[T, 1.5T)$, 则输出符号 PL (编码成 110); 且把 x 转化到区间 $[T/2, T)$, 以便下层扫描时处理: $x = x - T/2$

• 如果是负大系数, 则

如果数据 x 的绝对值在区间 $[1.5T, 2T)$, 则输出符号 NH (编码成 101), 且把 $|x|$ 转化到区间 $[T/2, T)$, 以便下层扫描时处理: $|x| = |x| - T$

如果数据 x 的绝对值在区间 $[T, 1.5T)$, 则输出符号 NL (编码成 100); 且把 $|x|$ 转化到区间 $[T/2, T)$, 以便下层扫描时处理: $|x| = |x| - T/2$

- 将转换后大系数的绝对值 $|x|$ 写入辅扫描表
- 将大系数所对应位置的图像矩阵系数数值置零

② 如果是孤立零点, 则输出符号 Z (编码成 01)

③ 如果是零树根, 则输出符号 T (编码成 00), 且其所有的子系数不参与该阈值下的扫描。

(4) 更新量化

重新设置阈值 $T = T/2$, 转至步骤 2。

4 实验

用本文提出的主辅扫描混合编码的嵌入零树小

波改进算法对 $512 \times 512 \times 8$ 位的平滑的 Lena 图像和具有丰富纹理特性的 Barbara 图像进行压缩实验, 采用 JPEG2000 推荐的有损压缩小波滤波器组 (CDF9/7) 的提升格式对图像进行 6 层分解, 压缩过程中不进行熵编码。

图 7 给出了采用 Shapiro 的原始 EZW 算法和本文提出的主辅扫描混合编码的 EZW 改进算法对 Lena 图像进行压缩的比特率-峰值信噪比曲线图。通过对实验数据的详细分析发现: 相对于 Shapiro 的原始 EZW 编码算法, 本文提出的 EZW 改进算法能够使图像压缩的 PSNR 值提高约 0.6 ~ 1.5 dB, 可见本文算法对图像压缩质量的改善是很明显的。

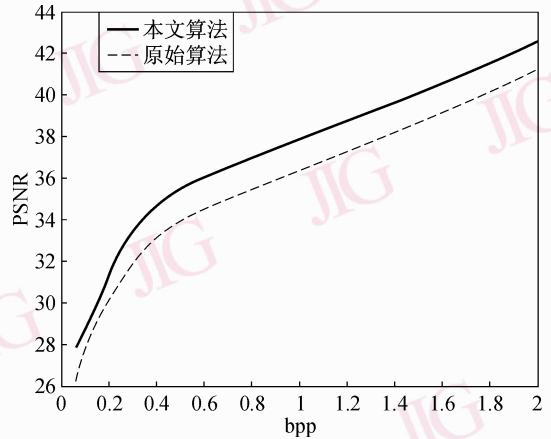


图 7 比特率-峰值信噪比曲线图 (Lena 图像)

Fig. 7 Chart of bpp-PSNR (Lena)

图 8 给出了采用 Shapiro 的原始 EZW 算法和本文提出的主辅扫描混合编码的 EZW 改进算法对具有纹理特性的 Barbara 图像进行压缩的解码图像主观对比图。由图可见, 原始 EZW 解码图像的纹理效果较差, 尤其在桌布处表现明显。而本文提出的主辅扫描混合编码的 EZW 改进算法则取得了较好的解码效果。



图 8 本文改进 EZW 算法与原始 EZW 算法结果比较 (Barbara 图像)

Fig. 8 Comparison of the results between our improved EZW and original EZW (Barbara)

5 结论

分析了 EZW 编码算法的编码过程,并针对其不足提出了主辅扫描混合编码的 EZW 改进算法:使前一阈值下大系数的辅扫描编码和解码优先进行,构成一个新的辅扫描过程;合并了主扫描和新发现的大系数的辅扫描为一个新的主扫描过程,使主扫描不仅编码系数的位置信息而且编码大系数的数值信息。实验结果表明,与 Shapiro 的原始 EZW 算法相比,本文的改进算法明显提高了图像压缩的峰值信噪比,图像解码的主观效果较好。而且本文算法可以与其他 EZW 改进算法(例如文献[10]所提出与游程相结合的改进算法、文献[11]提出的基于形态膨胀运算的改进算法、文献[12]提出的多阈值逐次逼近量化的改进算法等)结合而达到更好的图像压缩效果。

参考文献 (References)

- Mallat S. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989, **11**(7): 674-693.
- Vetterli M, Herley C. Wavelets and filter banks: theory and design [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1992, **40**(9): 2207-2232.
- Christopoulos C, Skodras A, Ebrahimi T. The JPEG2000 still image coding system: an overview [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2000, **46**(4): 1103-1127.
- Sweldens W. The lifting scheme: a construction of second generation wavelets [J]. SIAM Journal on Mathematical Analysis, 1998, **29**(2): 511-546.
- Daubechies I, Sweldens W. Factoring wavelet transforms into lifting steps [J]. The Journal of Fourier Analysis and Applications, 1998, **4**(3): 245-267.
- Shapiro J M. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients [J]. IEEE Transactions on Signal Processing 1993, **41**(12): 3445-3462.
- 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.
- Peng Kewu, Kieffer J C. Embedded image compression based on wavelet pixel classification and sorting [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, **13**(8): 1011-1017.
- Xu Chao, Fan Xin, Zhang Yi-zhen, et al. Zerotree encoder architecture for MPEG-4 texture coding [J]. Journal of Image and Graphics, 2003, **8**(2): 176-180. [许超,范欣,张益贞等. MPEG-4 纹理压缩的零树编码电路 [J]. 中国图象图形学报, 2003, **8**(2): 176-180.]
- Huang Zhuo-jun, Ma Zheng-ming. Wavelet image coding combining zerotree and run length coding [J]. Journal of Image and Graphics, 2001, **6**(11): 1118-1124. [黄卓君,马争鸣. 一种零树与游程相结合的小波图象编码方法 [J]. 中国图象图形学报, 2001, **6**(11): 1118-1124.]
- Ding Xu-xing, Zhu Ri-hong, Li Jian-xin. Image compression based on integer wavelet transform and improved embedded zerotree wavelet encoding [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2004, **26**(7): 1064-1069. [丁绪星,朱日宏,李建欣. 基于整数小波变换和改进嵌入零树编码的图象压缩 [J]. 电子与信息学报, 2004, **26**(7): 1064-1069.]
- Wang Xiang-yang, Yang Hong-ying. An enhanced image coding algorithm based on embedded zerotree wavelet [J]. Journal of Computer Research and Development, 2002, **39**(6): 737-742. [王向阳,杨红颖. 一种改进的嵌入零树小波图象编码算法 [J]. 计算机研究与发展, 2002, **39**(6): 737-742.]