

# 基于 DCT 变换的内嵌静止图像压缩算法

陈 军, 吴成柯

(西安电子科技大学综合业务网国家重点实验室, 陕西西安 710071)

**摘 要:** 提出了一种有效的基于离散余弦变换(DCT)的内嵌子带图像编码算法. Xiong 等人提出的 EZDCT 算法采用零树结构实现了一种内嵌 DCT 编码器, 且其性能优于 JPEG. 本文指出 DCT 的零树结构在内嵌 DCT 算法中并非很有效, 同时提出了一种不依赖零树结构的简便、高效的内嵌 DCT 子带编码算法. 实验结果表明本文算的压缩性能(PSNR)比 EZDCT 高约 0.5~1.5dB, 且接近当前最通用的内嵌小波 SPIHT 算法, 在对某些图像压缩时还优于 SPIHT 算法.

**关键词:** 图像压缩; DCT; 内嵌编码; 子带编码

**中图分类号:** TN919.81      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112(2002)10-1570-03

## Still Image Compression Using Embedded DCT Approach

CHEN Jun, WU Cheng-ke

(National Key Laboratory on ISN, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

**Abstract:** An efficient embedded subband image coding algorithm based on the discrete cosine transform (DCT) is presented in this paper. Xiong et al.'s EZDCT scheme employs the zerotree structure and fulfills a DCT-based embedded zerotree quantizer with its performance outperforming any other DCT-based coders, including the baseline JPEG and improved JPEG. We point out the zerotree structure of DCT coefficients is not efficient in embedded codec. We proposed an efficient embedded subband coder for the DCT image (ESDCT), without relying on the zerotree structure. A comparison reveals that the PSNR results of our ESDCT are 0.5~1.5 dB higher than those of EZDCT. The compression performance is close to the popular embedded wavelet based SPIHT, slightly superior to SPIHT in some cases.

**Key words:** image compression; DCT; embedded coding; subband coding

### 1 引言

近些年图像压缩在小波和子带编码方面取得了很大进展, 这些成就主要归功于人们对小波系数特性的充分认识和对数据进行有效的组织. Shapiro 提出的内嵌零树编码方法 EZW<sup>[1]</sup> 成为在甚低比特率情况下图像压缩的里程碑. Said 和 Pearlman 提出的基于分层树集合分割的 SPIHT<sup>[2]</sup> 算法, 比 EZW 获得了更有效的重要图编码性能, 是内嵌小波编码算法的一个通用基准, 这些零树算法充分利用了子带之间系数在空间和方向上的相似性. Asad Islam 提出的 SPECK<sup>[3]</sup> 算法则利用了子带内的重要系数聚集性并采用了简便有效的四叉树集合分割策略, 实现了一个低复杂度的内嵌编码器. 这些内嵌小波算法允许图像渐进传输并且码率控制简单, 因此近几年来内嵌算法也逐步应用到 DCT 编码器方面<sup>[4,5]</sup>. Xiong 提出的 EZDCT<sup>[4]</sup> 算法采用了一种类似小波的零树结构和 SPIHT 编码方法, 其性能优于采用 DCT 的 JPEG 标准. 虽然 EZDCT 通过改进零树结构来表示 DCT 系数, 但其中仍然存在很大的任意性, 因为零树结构最初是表示小波子带间相似性的, 因此 DCT 的

零树编码还有很大的冗余度. 本文提出了一种不依赖零树结构的 DCT 内嵌子带编码算法(ESDCT), 新算法易于硬件实现且能够获得较高的压缩性能. 实验结果表明本文提出的算法在压缩性能上(峰值信噪比 PSNR)比 EZDCT 高约 0.5~1.5dB, 且接近最流行的内嵌小波算法 SPIHT, 在对某些图像压缩时还优于 SPIHT.

### 2 内嵌 DCT 子带编码算法

#### 2.1 DCT 系数的子带表示

输入图像首先分成若干个  $N \times N$  大小的子块, 每个子块分别进行 DCT 变换. 对于任一个  $N \times N$  的 DCT 子块, 可以把这些 DCT 系数分成  $\log_2 N$  级类似小波分解的子带结构. 因为内嵌编码首先传输的是幅值较大的系数的重要位平面, 为了充分利用相邻 DCT 块的相关性, 有必要把所有 DCT 块的相应频率系数集中起来, 即将所有 DCT 子块重组成一个新的分层子带结构. 图 1 所示为两块  $4 \times 4$  DCT 系数重组成子带结构的示例, 即所有的 DC 系数构成最低频子带, 相应子块的 AC 系

构成同一个高频子带。

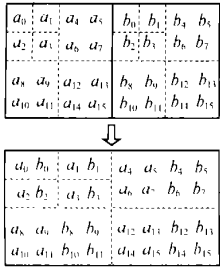


图 1 重组的 DCT 子带结构

0	1	4	5	16	17	20	21
2	3	6	7	18	19	22	23
8	9	12	13	24	25	28	29
10	11	14	15	26	27	30	31
32	33	36	37	48	49	52	53
34	35	38	39	50	51	54	55
40	41	44	45	56	57	60	61
42	43	46	47	58	59	62	63

图 2 重组系数的编码顺序

### 2.2 内嵌子带编码算法

虽然 EZW 和 SPIHT 都采用了一种有效的分层数据结构 (即零树) 以便对小波系数进行量化和熵编码, 但其编码效率主要取决于小波变换产生零树的能力。在 EZDCT 算法中, DCT 系数的表示采用了一种改进的零树结构<sup>[4]</sup>, 其后采用类似小波的 SPIHT 编码, 实现了一个内嵌编码器。而大量实验结果表明, DCT 产生零树的能力低于小波变换, 因此零树结构在内嵌 DCT 编码中并非十分有效。应该指出的是, 大量实验还表明在重组的 DCT 子带中, 如果一个系数是不重要的 (幅度值小于当前量化门限), 则与其相邻的系数很可能也是不重要的。因此子带内的重要系数的集合分割可以只在子带内进行, 而不必在子带间进行, 即可以不依赖零树结构。这种思想就是利用了重组 DCT 子带中的系数在频率和空间上具有能量集中特性, 本文对重组的 DCT 子带并不采用零树结构, 相反采用了一种更简单的二叉树结构进行集合分割, 即在重要集合编码时若一个子带 (子块) 是重要的, 则将其按二叉树结构等分为新的四个子块<sup>[3]</sup>。

为了优先扫描低频系数, 本文采用了图 2 所示的扫描顺序 (以  $8 \times 8$  大小的子带为例)。为了便于硬件实现, 本文算法采用了状态表<sup>[6]</sup>来标识系数或子块的重要性, 详细的编码算法描述如下:

(1) 符号说明。  $C(i)$ : 扫描顺序  $(i)$  处的系数;  $x(i)$ :  $C(i)$  的符号位;  $S_n(\tau)$ : 测试系数或子块在比特平面  $n$  编码时的重要性函数,  $S_n(\tau) = \begin{cases} 1, & \max\{|C(i)|\} \geq 2^n, i \in \tau \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$ ;

$\sigma_c(i)$ :  $C(i)$  的状态标记,  $\sigma_c(i) = \begin{cases} \text{INSIG}, & |C(i)| < 2^n \\ \text{SIG}, & |C(i)| \geq 2^n; \\ 0, & C(i) \text{ 未编码} \end{cases}$

$\sigma_b(i)$ : 子块标记,  $\sigma_b(i) = \begin{cases} 1, & C(i) \text{ 是子块的第一个系数} \\ 0, & C(i) \text{ 和 } C(i-1) \text{ 属于同一个子块} \end{cases}$ ;

$B(i)$ : 子块的所有系数的坐标集合,  $B(i) = \{i, i+1, \dots, i+N-1\}$   $\sigma_b(i) = 1, \sigma_b(i+N) = 1$  且  $\sigma_b(k) = 0, k = i+1, \dots, i+N-1$ 。

(2) 初始化: 输出初始编码比特平面  $n = \lfloor \log_2(\max\{|C(i)|\}) \rfloor + 1$ ; 对  $\sigma_c(i), \sigma_b(i)$  清零并置  $\sigma_b(0) = 1$ 。

(3) 不重要系数编码: 对每一个  $\sigma_c(i) = \text{INSIG}$ , 输出  $S_n(i)$ ; 若  $S_n(i) = 1$  则输出  $x(i)$  并令  $\sigma_c(i) = \text{SIG}$ 。

(4) 子块分割: 对每个  $\sigma_b(i) = 1$  且  $\sigma_c(i) = 0$ , 进行子块编码  $\text{CodeBlock}(i)$ 。

(5) 重要系数编码: 对每个  $\sigma_c(i) = \text{SIG}$  (不含最近更新的  $\sigma_c(i)$ ), 输出  $C(i)$  第  $n$  层 MSB。

(6) CodeBlock: 输出  $S_n(B(i))$ ; 若  $S_n(B(i)) = 1$  则如果  $B(i)$  超出 4 个系数, 则进行二叉树分割为新的四个子块:  $B(i), B(i1), B(i2), B(i3)$ ; 并对每个  $k \in \{i, i1, i2, i3\}$ , 令  $\sigma_b(k) = 1$  并进行子块编码  $\text{CodeBlock}(k)$ ;

否则对每个  $k \in B(i)$ : 输出  $S_n(k)$ ; 若  $S_n(k) = 1$ , 输出  $x(k)$  并令  $\sigma_c(k) = \text{SIG}$ ; 否则令  $\sigma_c(k) = \text{INSIG}$ 。

(7) 比特平面更新:  $n$  减 1, 转第(3)步。

### 3 实验结果

表 1 给出了对标准测试图像 Lena 及 Barbara 采用本文算法、EZDCT 和小波 SPIHT 算法的编码结果比较, 其中图像为  $512 \times 512 \times 8$  比特灰度图像, SPIHT 采用了 3 级小波变换, 三种编码算法均不含算法熵编码。结果表明本文算法的峰值信噪比 PSNR 比 EZDCT 高约 0.5~1.5 dB。对于 Barbara 图像, 本文算法还要优于小波 SPIHT。另外当变换部分采用  $16 \times 16$  的 DCT 变换时, 则 PSNR 还能提高 0.5~1.4 dB。图 3 所示为对 Lena 图像采用四种不同大小 DCT 变换时本文算法的信噪比比较曲线, 由图可以看出选择  $16 \times 16$  以及  $32 \times 32$  的 DCT 变换可以取得更好的压缩效果。还应指出的是, 加上后端的算术编码器, 本文算法的性能还可提高约 1 dB。图 4 所示为图像 Barbara 编码结果的主观比较, 其中为了便于显示, 误差图像采用了反相和自动对比度处理, 即颜色越深、对比度越大表示误差越大, 可见本文算法比 EZDCT 具有更好的主观质量。

图 3 不同 DCT 变换块时的压缩性能曲线

表 1 不同编码算法的峰值信噪比比较 (单位: dB)

比特率 (bpp)	EZDCT (8×8DCT)		SPIHT (3级小波)		本文算法 (8×8DCT)		本文算法 (16×16DCT)	
	Lena	Barbara	Lena	Barbara	Lena	Barbara	Lena	Barbara
	1.00	38.7	34.9	39.63	35.50	39.17	35.55	39.64
0.75	37.1	32.5	38.06	33.03	37.57	33.16	38.09	34.55
0.50	34.8	29.4	36.21	30.25	35.38	30.59	36.33	31.91
0.25	30.7	25.4	32.35	26.19	31.55	26.83	32.87	28.15

### 4 结束语

本文提出一种基于 DCT 变换的具有完全内嵌编码特性子带编码算法。DCT 系数重组成不同频率的子带并利用系数的能量集中特性和重要系数的聚集性进行子带内集合分割, 实现了一种有效的内嵌编码算法。新算法比 EZDCT 获得了更好的压缩性能。更为显著的是, 本文算法在计算复杂度和硬件



(a)EZDCT的误差图像 (b)本文算法的误差图像

图4 Barbara 主观压缩效果(0.25bpp)

可实现上也具有竞争性和一定的实用价值. 另外, 本文算法也可适用于对小波变换系数进行编码, 可以达到或优于SPIHT算法的性能.

由于块变换编码存在一定的方块效应, 特别是在甚低比特率时(低于0.25bpp)更为明显. 为了减小方块效应, 可以在解码端加上方块效应的滤波器. 因此后处理在下一步研究和应用中应该引起重视.

#### 参考文献:

- [ 1 ] J M Shapiro. Embedded image coding using zerotrees of wavelets coefficients [ J ]. IEEE Trans on Signal Processing, 1993, 41(12): 3445-3462.
- [ 2 ] A Said, W A Pearlman. A new, fast, and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees [ J ]. IEEE Trans on Circuit and System for Video Technology, 1996, 6(3): 243-250.

- [ 3 ] Asad Islam, W A Pearlman. An embedded and efficient low-complexity hierarchical image coder [ A ]. Proc. of SPIE Vol. 3653, Visual Communications and Image Processing '99 [ C ]. San Jose, CA: SPIE, 1999.
- [ 4 ] Z Xiong, O Guleryuz, M T Orchard. A DCT-based embedded image coder [ J ]. IEEE Signal Processing Letters, 1996, 3(11): 289-290.
- [ 5 ] D Nister, C Christopoulos. An Embedded DCT Based Still Image Coding Algorithm [ J ]. IEEE Signal Processing Letters, 1998, 5(6): 135-137.
- [ 6 ] CHEN Jun, LI Yunsong, WU Chengke. A listless minimum zerotree coding algorithm for wavelet image compression [ J ]. Chinese Journal of Electronics, 2001, 10(2): 200-203.

#### 作者简介:



陈 军 男, 1971 年 12 月生于湖北江陵, 现为西安电子科技大学信号与信息处理专业博士研究生, 主要研究方向为图像压缩编码和数字图像处理.

吴成柯 男, 1938 年 8 月生于安徽黄山, 1962 年毕业于原西北电讯工程学院无线电通信工程系, 现为西安电子科技大学教授、博士生导师, 1980 年至 1982 年在美国宾西法尼亚大学做访问学者, 1990 年至 1991 年在法国南锡大学做客座教授, 目前主要从事计算机视觉、计算机图形学、图像处理和图像通信的教学和科研工作.