

基于分层结构的多描述编码

陈 婧 蔡灿辉

(华侨大学信息科学与工程学院, 泉州 362021)

摘 要 为了适应不可靠网络传输对编码抗干扰能力的要求, 提出了一种基于分层结构的多描述编码方案, 该方案根据质量可分级的编码思想将小波系数分为两个描述, 独立传输。其每个描述均包含基本层和增强层两部分信息。基本层由系数的关键信息组成, 可拷贝到两个描述中同时传输, 而增强层是系数的剩余信息, 可拆分成两个部分通过不同描述传输。由于每个描述均包含可以恢复图像基本质量的关键信息, 因此即使在丢失一个描述的情况下也可以保证较高的图像重建质量。实验结果表明, 该方案是正确的和有效的, 其在保证较高编码效率的同时, 还能提高编码的抗干扰能力。

关键词 多描述编码 错误恢复 X 树编码

中图法分类号: TN919.81 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2008)01-0047-06

Layered Based Multiple Description Coding

CHEN Jing CAI Can-hui

(Institute of Information Science and Technology, Huaqiao University, Quanzhou 362021)

Abstract A novel multiple description coding framework, called layered based multiple description coding (LBMDC), is proposed in this paper to meet the requirement of unreliable network transmission. The two-description coding scheme is proposed from SNR scalable layer coding: each description has a base layer and an enhancement layer. The base layer is composed of key information of coefficients and duplicated into both descriptions. The enhancement layer is the rest part of coefficients and split into two parts then sent to separate descriptions, respectively. Thus, the key information of the image is well protected. Even in the condition that one of descriptions is lost, the quality of restructured image is still good. Experimental results have verified the performance of the proposed MDC framework, which improves the ability of error resilient as well as the coding efficiency.

Keywords multiple description coding (MDC), error resilient, X tree coding

1 引 言

对于不可靠的分组网络和无线信道传输而言, 到达解码端的信息由网络状况所决定。因此, 信源编码方法的优劣不能简单地以压缩率来衡量, 而应更多地考虑经网络传输后到达解码端的信息的可用性和有效性。多描述编码 (multiple description coding, MDC) 就是这么一种有效的信源差错复原编码方法, 它不仅具有较好的抗突发干扰能力, 而且在实

现差错掩盖和重建丢失分组方面具有较广泛的适用范围^[1]。MDC 的基本思想是: (1) 将信源分解成两个或多个具有同等重要性的码流, 每个码流称为一个描述; (2) 在描述间引入相关, 形成信息的互相增强保护机制; (3) 各描述通过相互独立的信道传输; (4) 接收端采用不同的解码器: 若完整地接收到所有的描述, 则信号通过中心解码器, 并根据各描述的重要信息获得高质量的重建效果; 若接收到一部分的描述, 则信号通过边缘解码器, 并从接收到的描述所携带的冗余信息中恢复出丢失的部分信息, 以获

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60472106)

收稿日期: 2006-01-04 改回日期: 2006-06-15

第一作者简介: 陈婧 (1980~), 女, 助教, 硕士。主要研究方向为图像及视频编码。E-mail: jingz@hqu.edu.cn

得可接受的重建质量。接收到的描述数越多,重建的图像质量越高。多描述编码方案无需错误重传,可以很好地解决实时系统中的延时问题;而通过有控制地引入描述间的相关来实现信息保护和部分恢复的思想更适合于现实系统中不可靠且不可预测的网络传输。

目前常用的多描述方案多数是讨论两个描述的情况。图 1 是两个描述的编解码示意图。多描述编码器将源信号分成两个描述 S_1 和 S_2 , 分别通过两个信道传输到 3 个接收端, 接收两个信道传输的解码器 0 称为“中心解码器”, 只接收相应信道传输的解码器 1 和解码器 2 称为“边缘解码器”。信道 $i(i=1, 2)$ 上的编码比特率 $R_i(i=1, 2)$ 表示该信道传输的比特数。解码器 $i(i=0, 1, 2)$ 对信号的重建失真用 $D_i(i=0, 1, 2)$ 表示。其中 D_0 表示接收到两个描述的中心失真, 而 D_1 和 D_2 则表示单个描述的边缘失真。

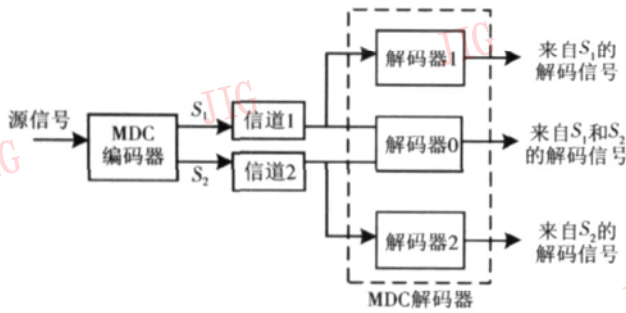


图 1 两个描述编解码示意图

Fig 1 The two-description codec scheme

为了使每个描述都能保证一定的重建质量, 必须让所有的描述都包含信源的一些基本信息, 使解码器能由接收到的描述估计丢失的描述, 提高信号在不可靠网络中传输的鲁棒性。这些重复的基本信息构成了多描述编码的冗余信息。多描述编码的编码效率可用冗余度 ρ 来衡量^[2],

$$\rho = R_1 + R_2 - R(D_0) \quad (1)$$

其中, $R(D_0)$ 表示采用普通编码结构(单描述)时所需的比特率。如果 $\rho=0$ 则为单描述编码, 若 $\rho=1$ 则相当于将单描述编码结果通过不同信道传输两次, 各描述间没有相互独立的信息, 无法形成互补增强, 中心解码相当于只用一个描述的边缘解码效果。因此, 协调描述间的独立性和相关性是多描述编码的关键。

从 1996 年 Vaishampayan 提出第 1 个多描述图像编码方案^[3]到现在, 已经出现了多种有效的多描

述编码方案^[4], 其中主要有多描述标量量化 (multiple description scalar quantizer, MDSQ)^[3] 编码方案, 多描述变换编码 (multiple description transform coding, MDTC)^[5] 方案, 多相变换和选择量化 (poly-phase transform and selective quantization, PTSQ) 多描述编码^[6] 方案, MDSQ 子带编码^[7] 方案和笔者先前提出的基于结构一致性的多描述编码^[8] 以及非平衡丢失保护多描述编码^[9] 方案等。本文结合信噪比 (SNR) 可分级思想和非平衡丢失保护原理, 提出了一种新的多描述编码方案——基于分层结构的多描述编码 (layered based multiple description coding, LBMDC) 方案。在两个描述的情况下, 由于基本层包含信源的重要信息, 拷贝到两个描述中; 而较次要的增强层信息则通过下采样分解成两个部分分别送到不同描述。随后, 将两个描述的主要和次要信息打包, 并通过不同的信道传输。

2 基于分层思想的 X 树多描述编码

2.1 两层多描述编解码结构框图

图 2 给出了两层多描述编解码系统结构框图。图 2(a) 是编码端框图, 其中 CQ 和 FQ 分别为粗量化器和细量化器, CQ^{-1} 是与 CQ 对应的反量化器。 Z^{-1} 为单位延迟单元, $\downarrow 2$ 表示 2 下采样, C 为 X 树编码器, MUX 为层间混合器, DWT 是离散小波变换, IDWT 是其反变换。所谓 X 树是零树的推广, 其树根可以取任意值。从图 2(a) 可看出这个两层多描述编码器只不过是把增强层下采样分解为两个子层的 SNR 质量可分级分层编码器。对小波变换系数进行粗量化并编码形成图像的基本层。由于基本层包含信号的关键信息, 需要重点保护, 因此编码后同时送给两个描述。原始小波分解系数与粗量化系数的反量化之差 (本文后续部分将称其为剩余系数) 经细量化后产生图像的增强层。增强层只包含信号的细节信息, 因此可对这些增强层系数进行下采样, 形成两个子增强层, 编码后分别送到两个描述。这样, 通过基本层和两个子增强层结合, 产生两个描述, 分别送入不同的信道传输到达接收端。

图 2(b) 给出解码端框图。其中, MUX 是层间分离器, C^{-1} 是解码器, $\uparrow 2$ 表示 2 上采样, CQ^{-1} 和 FQ^{-1} 是 CQ 和 FQ 的反量化器。如果能完整地接收到两个描述, 接收端即采用中心解码器对基本层信息和完整的增强层信息进行合成、解码并重建原始

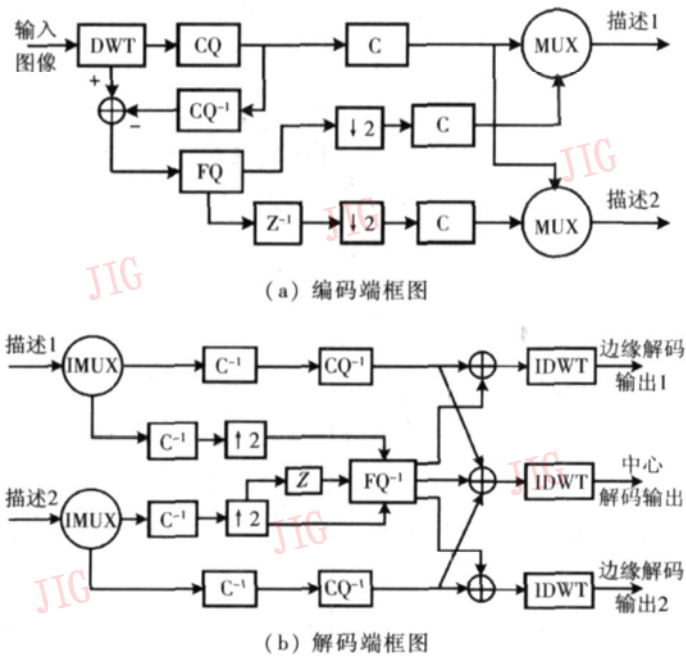


图 2 基于分层思想的两层多描述编解码结构框图

Fig 2 The layered based MDC scheme

信号,产生高质量的重建图像。若只能接收到一个描述,则采用边缘解码器对该描述中的基本层的信息和一个子增强层信息进行合成、解码,产生具有一定质量的重建图像。本方法和分层编码的区别就在于本文方法的分层目的是找出关键信息进行保护,提高编码的抗干扰能力。为了获得较高的编码效率,我们采用 X 树结构^[10]对关键信息进行编码。

2.2 X 树结构介绍

Shapiro 提出的零树结构是高效的图像编码方案^[11],而合理调整其树结构可进一步提高编码效率。X 树就是通过对零树结构进行合理调整而产生的一种编码结构。

与零树一样, X 树也是生长在各子带间的二叉树。如图 3 所示的分级二叉树结构示意图中,每一

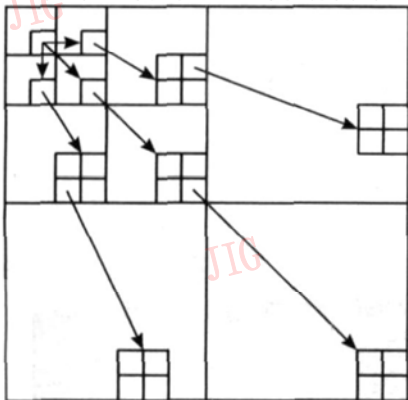


图 3 分级二叉树示意图

Fig 3 The hierarchical wavelet tree

个节点对应一个小波变换系数。在金字塔分解过程中,上层子带中的节点称为父节点,下层子带中相应的节点(通常有 4 个)称为其子节点。令 $N(i, j)$ 表示第 (i, j) 节点的系数值,对给定的门限值 T ,若 $|N(i, j)| < T$,则称该系数为非重要系数或零系数,记为 $N(i, j) = 0$ (这里, i, j 编号是沿着金字塔顶向金字塔底部的方向进行的);否则,称其为重要系数或非零系数。令 $Q(i, j)$ 表示节点 (i, j) 所有子孙节点的集合,若相应的二叉树满足:

$$N(p, q) = 0 \mid (p, q) \in Q(i, j) \quad (2)$$

则称该二叉树为 X 树。

记 X 树的根节点值为 $X(i, j)$,则当 $X(i, j) = 0$ 时, X 树就退化为零树。对比零树的根节点必须为 0 而 X 树的根节点可取任何值,可知 X 树比零树更具有普遍性。

提出 X 树的目的是为了解决 EZW^[11]算法对满足: $N(i, j) \neq 0 \mid N(p, q) = 0 \mid (p, q) \in Q(i, j)$ 的二叉树编码效率低的问题。从小波分析的角度上讲,零树代表图像的平滑部分。当图像足够平滑时,就会产生零树。零树出现的位置取决于图像的平滑程度和门限 T 的选择。在图像平滑区域,通常父节点的值大于子孙节点,即

$$|N(i, j)| > |N(p, q)|, (p, q) \in Q(i, j)$$

当 $|N(i, j)| < T$ 时,节点 (i, j) 及其子孙节点的集合 $Q(i, j)$ 形成零树(或零树的一部分)。但是当门限值较低时,譬如说 $|N(i, j)| > T > |C(i, j)|$ 时(为了简单起见,这里用 $C(i, j)$ 代表该集合中绝对值最大的元素), $(i, j) \cup Q(i, j)$ 已不再是零树。如果采用零树结构来表示,就必须用 4 棵树和一个独立节点来表示。采用 X 树结构,只用一棵树就能表达该部分图像,从而提高了编码效率。

2.3 X 树编码

X 树编码既可以用逐次逼近的内嵌编码实现,也可以用一次扫描的非内嵌编码实现。本文采用一次扫描编码方式。整个编码过程包括以下两个步骤:

2.3.1 X 树的生成

类似于零树的建立过程,生成 X 树的第 1 步是对系数进行重要性检查。用给定的步长 T 对图像的小波变换系数进行量化,量化结果仍记为 $N(i, j)$ 。若 $N(i, j) = 0$ 则该系数是不重要的,否则该节点是重要的。如果节点 (i, j) 的子孙节点均为 0(不妨记为 $Q(i, j) = 0$),则 $N(i, j)$ 属于某 X 树。如果还满足 $N(i, j) \neq 0$ 或其父节点的子孙不全为 0 则 (i, j) 是

X 树的根节点。在 X 树编码中, 一个节点可以是 X 树的根节点、独立节点或非独立节点 (根节点的子孙节点)。根据节点的特点, 对其进行标注。

2.3.2 编码的产生

对标注后的节点进行扫描输出, 具体算法如下:

(1) 建立重要系数队列 SC (significant coefficients) 和输出队列 XT (X tree)。

(2) 对所有节点进行扫描:

① X 树的根节点判别: 如果节点 (i, j) 不是 X 树的根节点, 则转步骤 ②

1) 输出根节点标志: 如果 $X(i, j) = 0$ 则输出 '00' 到队列 XT , 转步骤 ② 否则输出 '01' 到队列 XT

2) 输出非零根节点系数:

I) 符号作为系数分隔符输出: 如果 $X(i, j) > 0$ 则输出 '10' 到 SC , 否则输出 '11' 到 SC

II) 系数输出: 对 $|X(i, j)|$ 去掉最高位, 对其余各位, 如果该位为 0 则输出 '00' 到 SC , 否则输出 '01' 到 SC

② 独立节点判别: 如果节点 (i, j) 不是独立节点, 则无需编码, 转步骤 (2):

1) 独立节点编码输出: 如果 $X(i, j) = 0$ 则输出 '10' 到队列 XT , 转步骤 ② 否则输出 '11' 到队列 XT

2) 非零独立节点系数输出:

I) 符号作为系数分隔符输出: 如果 $X(i, j) > 0$ 则输出 '10' 到 SC , 否则输出 '11' 到 SC

II) 系数输出: 对 $|X(i, j)|$ 去掉最高位, 对其余各位, 如果该位为 0 则输出 '00' 到 SC , 否则输出 '01' 到 SC

(3) 对 XT 和 SC 分别进行算术编码, 合并这两个码流, 形成 X 树编码。

2.4 基本层信息的产生

基本层信息产生的过程如下:

(1) 根据给定的编码总比特率和冗余系数, 可得出基本层 (base layer) 的编码比特率为

$$R_B = \frac{\rho}{1 + \rho} (R_1 + R_2) \quad (3)$$

由 R_B 确定量化步长 $T_B^{[12]}$;

(2) 用量化步长 T_B 对图像的小波变换系数进行粗量化;

(3) 产生 X 树并对各系数属性 (X 树根节点、独立节点或非独立节点) 进行标注;

(4) 进行 X 树编码, 产生基本层比特流。

2.5 增强层信息的产生

增强层信息产生的过程如下:

(1) 根据给定的编码总比特率和冗余系数可得出增强层 (enhancement layer) 编码的比特率为

$$R_E = \frac{1 - \rho}{1 + \rho} (R_1 + R_2) \quad (4)$$

由 R_E 确定细量化步长 T_E ;

(2) 根据小波分解系数与基本层重要系数的反量化值计算出残余 (未编码) 的小波变换系数;

(3) 用给定步长 T_E , 对残余的小波变换系数进行细量化, 并对系数进行下采样, 产生两幅增强层子图像;

(4) 对每幅子图像分别产生 X 树并对各系数属性 (X 树根节点、独立节点或非独立节点) 进行标注;

(5) 对每幅子图像分别进行 X 树编码, 产生两个增强层比特流。

2.6 两层多描述编码算法

综上所述, 可得两层多描述编码算法如下:

(1) 根据给定的编码总比特率和冗余系数, 计算基本层的编码比特率, 由此计算粗量化步长。用计算的步长对图像的小波系数进行粗量化、编码, 并把编码输出同时拷贝到两个描述中;

(2) 根据给定的总比特率和冗余系数, 计算增强层的比特率, 由此计算细量化步长。用计算的步长对图像的小波系数进行细量化、下采样产生两幅增强层子图像, 编码后形成两路输出比特流, 分别送入两个描述;

(3) 将两个描述送入不同信道进行传输。

解码算法可参照编码算法和图 2(b) 得出, 限于篇幅, 不作详述。

3 实验结果及讨论

为验证本文编码方案的效果, 可采用 7/9 滤波器对标准的 8bit 512×512 灰度 "Lena" 图像进行 5 层小波分解, 系数通过基于分层思想的多描述编码器形成码字, 并进行了算术编码实验。图 4 是本方法在编码比特率为 0.5bpp, 冗余度为 25% 时, 对 "Lena" 图像的中心和边缘进行重建的结果。由图 4 可以看出, 在接收到所有描述时, 可以重建出高质量的图像 (图 4(a)); 即使丢失部分描述, 也可以恢复



(a) 接收到两个描述 (36.15dB)

(b) 只接收到描述 1 (32.43dB)

(c) 只接收到描述 2 (33.04dB)

图 4 本方法在比特率为 0.5bpp, 冗余度为 25% 时对“Lena”图像的中心和边缘进行重建的图像

Fig. 4 The simulation results of LBMDC for Lena (bit rate = 0.5 bpp, $\rho = 25\%$)

出高质量的图像 (图 4(b), 图 4(c))。

图 5~图 7 分别是本文提出的 LBMDC 编码方案和 PTSQ^[6]、MDSQ^[3] 编码方案在总比特率分别是 0.25bpp、0.5bpp、1.0bpp 时的编码结果比较。由图 5~图 7 可以看到, 在相同速率条件下, LBMDC 方案较之其他两种方案, 无论是在部分重建还是在完全重建的情况下均可得到较好的图像重建效果。这说

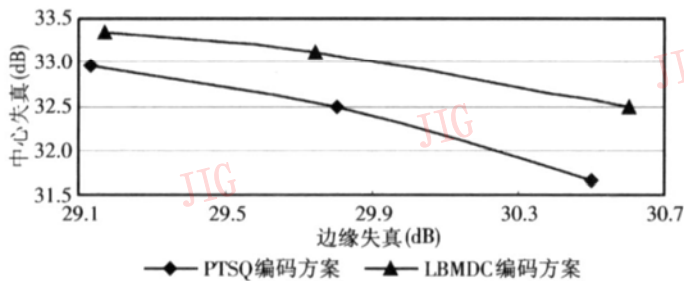


图 5 在总比特率为 0.25bpp 时, LBMDC 和 PTSQ 编码方案对“Lena”图像进行编码的结果比较

Fig 5 The simulation results by LBMDC and PTSQ for Lena (bit rate = 0.25 bpp)

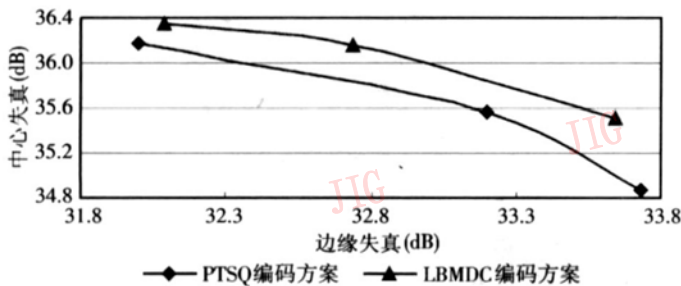


图 6 在总比特率为 0.5bpp 时, LBMDC 和 PTSQ 编码方案对“Lena”图像进行编码的结果比较

Fig 6 The simulation results by LBMDC and PTSQ for Lena (bit rate = 0.5 bpp)

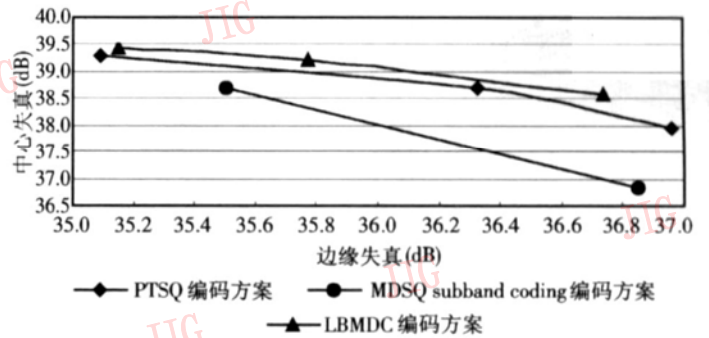


图 7 在总比特率为 1.0bpp 时, LBMDC 和 PTSQ、MDSQ 编码方案对“Lena”图像进行编码的结果比较

Fig 7 The simulation results by LBMDC, PTSQ and MDSQ for Lena (bit rate = 1.0 bpp)

明了本方案在保证一定编码效率的同时可以较好地解决不可靠网络传输的抗干扰和错误恢复的问题。

4 结 论

本文提出了一种基于分层思想的多描述编码方案。该方案充分利用了质量可分级的思想, 将小波系数的重要信息作为描述的基本层, 通过各个信道传输, 加强保护; 将系数的其余次要信息作为描述的增强层, 分信道传输。这样, 即使丢失部分信道, 也可以重建出一定质量的图像。仿真实验证明了该方法的正确性和有效性。

参考文献 (References)

[1] Wang Yaq, Ostermann J, Zhang Ya-qin. Video Processing and Communications [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.

- 494~ 498
- 2 ElGamal A A, Cover T. Achievable rates for multiple descriptions [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1982, **28**(6): 851~ 857.
 - 3 Vaishampayan V A. Design of multiple description scalar quantizer [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1993, **39**(5): 821~ 834.
 - 4 Goyal V K. Multiple description coding: Compression meets the network [J]. IEEE Signal Processing, 2001, **18**(9): 74~ 93.
 - 5 Wang Yao, Orchard M T, Vaishampayan V, *et al*. Multiple description coding using pairwise correlating transforms [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, **10**(3): 351~ 366.
 - 6 Jiang W, Ortega A. Multiple description coding via polyphase transform and selective quantization [A]. In: Proceedings of Visual Communications and Image Processing (VCIP) [C], San Jose, CA, USA, 1999: 998~ 1008.
 - 7 Servetto S D, Ramchandran K, Vaishampayan V A, *et al*. Multiple description wavelet based image coding [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, **9**(5): 813~ 826.
 - 8 Cai Can-hui, Chen Jing. Structure uncertainty based multiple description subband coding [A]. In: Proceedings of International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP) 2004 [C], Montreal, Canada, 2004, **3**: 261~ 264.
 - 9 Chen Jing, Cai Can-hui, Ding Run-tao. X-tree unequal protected multiple description coding [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2005, **27**(12): 1973~ 1977. [陈婧, 蔡灿辉, 丁润涛. X树非平衡保护多描述编码 [J]. 电子与信息学报, 2005, **27**(12): 1973~ 1977.]
 - 10 Cai Can-hui, Mitra S K, Ding Run-tao. Smart wavelet image coding: X-tree Approach [J]. Signal Processing, 2002, **82**(2): 239~ 249.
 - 11 Shapiro J M. Embedded image coding using the zero trees of wavelet coefficients [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, **41**(12): 3445~ 3462.
 - 12 Cai Can-hui, Ding Run-tao. Significant coefficient percentage based bit-rate control for image transmission [J]. Journal of Signal Processing, 2002, (5): 417~ 420. [蔡灿辉, 丁润涛. 基于非零小波系数的图像传输速率控制 [J]. 信号处理, 2002, (5): 417~ 420.]