

X 树非平衡保护多描述编码

陈 婧 蔡灿辉 丁润涛*

(华侨大学信息科学与工程学院 泉州 362021)

*(天津大学电子信息工程学院 天津 300072)

摘 要: 本文提出了一种新的多描述图像编码方案——X 树非平衡保护多描述子带编码。首先把小波变换图像分解为结构信息和残余非零系数。其中结构信息包括非零系数的位置、符号和位数, 是小波变换图像的关键信息, 必须复制到每个描述。残余非零系数则通过多描述标量化器生成两个索引分别放入不同的描述。两个描述通过不同的信道进行传输。由于每个描述都包含了图像的重要信息, 因此, 接收到一个信道的信息就可以重建出一定质量的图像。如果所有的信道传输的信息都被接收, 就会得到比任何一个单独信道更好的重建图像。实验结果验证了本算法的有效性和正确性。

关键词: 多描述编码, 子带编码, 错误恢复, X 树编码, 非平衡保护

中图分类号: TN919.8

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2005)12-1973-05

X-Tree Unequal Protected Multiple Description Coding

Chen Jing Cai Can-hui Ding Run-tao*

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

*(School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract A new Multiple Description Coding (MDC) scheme, X-tree based unequal protected MDC subband coding is proposed in this paper. The information of the wavelet transformed image is decomposed into two parts, the structure information and residues of significant coefficients. The structure information, including positions, signs and bit lengths of significant coefficients, is crucial and should be duplicated into both descriptions. The residues are mapped into couples of indices by a multiple description scalar quantizers, and sent to separate descriptions. Two descriptions are dispatched from different channels. Because every description includes all critical information of the picture, the reconstructed image from any single channel can have acceptable fidelity. The reconstructed image is of much better quality if both channels are available. Simulation results have verified the performance of the proposed algorithm.

Key words Multiple description coding, Subband coding, Error resilience, X-tree coding, Unequal protection

1 引言

在不可靠分组网络和无线信道中, 多描述编码(MDC)是一种减小传输错误的有效方法^[1]。多描述的基本思想是: 将信源分解成两个或多个具有同等重要性的码流, 分别通过不同的信道传输到接收端。对信源而言, 每个码流都是一个描述。多描述编码具有下述特点: (1)每一个描述都有自己的一组编码、解码函数, 因此可以独立编解码; (2)每一个描述都包含一些别的描述所没有的信息。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。

在传输过程中, 信道可能会暂时中断或遭到长的突发误码, 但如果各信道误码或信息丢失的发生概率是相互独立的, 所有信道同时发生误码或丢失信息的概率很小, 因此,

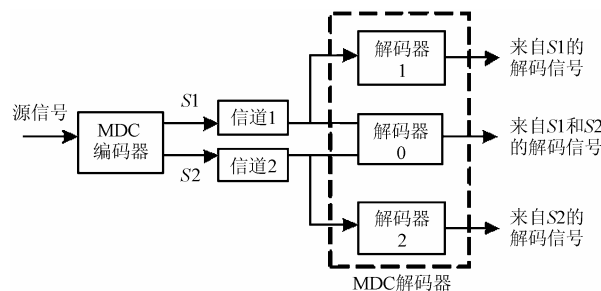


图1 两个描述编解码示意图

2004-07-22 收到, 2004-12-30 改回
国家自然科学基金(60472106)和福建省自然科学基金(A0410018)资助课题

绝大多数情况下,总会有一个或多个描述到达接收端。只要接收到一个描述信息,解码端就能够通过这个描述信息对信源进行一定质量的重建。由于每个描述都含有其他描述所没有的信息,因此,重建的效果将随着接收到的描述数的增多而得到改善。若所有的描述都能被准确地接收,则解码端可得到高质量的重建信号。

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MDC的冗余,因此,如何选择每个描述所包含的基本信源信息,是提高MDC效率的关键。

第一个MDC方法是Vaishampayan提出的多描述标量量化(MDSQ)^[2]。文献[3]介绍了多描述变换编码(MDTC)和有记忆信源的速率-失真理论。Wang等人提出了成对相关变换的多描述变换编码^[4],给出了在不同信道中传输的两个描述的相互关系。MDSQ把每个系数变换为一对索引,其效率取决于索引分配,而MDTC则是靠对系数进行相关变换在描述中引入其他描述的保护信息。为了简化处理,Jiang和Ortega提出了多相变换和选择量化(PTSQ)多描述编码^[5],将零树分成多个相,每个相中的数据 and 另外一个相的保护信息构成一个描述。Miguel等人用类似的思想设计了一个多重保护的方法,在16个描述的情况下获得了更好的错误恢复结果^[6]。在文献[7]中,Servetto提出了一种结合多描述标量量化和子带编码的算法。Cai等人提出了一种分割非零系数的多描述子带编码^[8],并进而提出了结构一致性多描述编码方法^[9]。直观地看,两个描述间的结构相关性将可以帮助我们克服多描述视频编码的误匹配问题,因此,文献[8,9]提出的MDC算法优于文献[5-7]的算法。然而基于结构一致性的多描述编码器难于调节其冗余度。

考虑到结合结构一致性MDC和MDSQ子带编码的优点,本文提出了一种新的多描述编码方案——基于X编码的非平衡保护的MDC子带编码。在这个系统中,每个描述都包含了两类信息:(1)X树编码,它包含非零系数的位置、位数和符号信息;(2)非零系数的残余部分(非零系数的其他部分)。由于非零系数的位置、位数和符号是变换图像的关键信息,因此,必须把X编码复制给每个描述。非零系数的残余部分包含的是细节信息,可以通过简单的多描述标量量化器^[2]进行量化,得到两组量化索引,编入不同描述进行传输。

本文余下部分安排如下:第2节提出X树非平衡保护多描述编码算法,第3节给出仿真结果并分析,最后给出总结。

2 X树非平衡保护多描述编码

2.1 非平衡保护的基本思想

对小波变换图像进行编码,其码流必须包含两个部分的

信息:结构信息和非零系数。其中,结构通常包含非零系数的位置、系数的长度和系数的符号等。这些信息提供了图像的框架结构,是图像的关键信息;而非零系数的其他部分(残余非零系数)则提供了图像描述的细节,是较次要的信息。根据错误恢复编码的思想,关键信息必须进行重点保护,使它们以低得多的误码率传输,而普通信息只需提供一般保护即可。基于以上思想,本文将关键信息复制到所有描述,而把残余非零系数映射为一对索引,分别加入不同描述进行传输。考虑到这样,即使只收到一个描述,也可以从获得的图像关键信息和部分细节信息进行一定质量的图像重建。

图2给出了非平衡保护的双描述编解码系统框图。其中,X代表图像的小波变换(DWT);S表示小波系数的结构信息,它包含了系数的位置、符号和长度等重要信息,这部分重要数据被复制到两个描述生成器SD₁和SD₂中;残余非零系数X'经多描述标量量化器A(·)产生索引对(i,j)。描述生成器SD₁和SD₂合成结构信息和索引形成两个描述,分别送入不同的信道传输到达解码端的描述分解器ISD₁和ISD₂中。ISD₁和ISD₂把相应的描述还原出结构信息和索引信息分别送到解码器和多描述标量反量化器IA(·)。中心解码器G₀用来处理两个描述都接收到的情况,而G₁和G₂用来处理只收到单个描述的情况。X_i(R_i,D_i)(i=1,2)是边缘解码器G_i在速率为R_i失真为D_i情况下的重建图像,X₀是中心解码器在中心误差为D₀,速率为R₀情况下的重建图像。失真D₁和D₂的平均值称为边缘失真,而速率R₁和R₂的平均值称为边缘速率。

如果两个信道均能被有效地接收,中心解码器G₀可以根据树结构和两个描述的索引对(i,j)重建小波系数。如果其中一个信道丢失了,由于相同的树结构信息S包含在每个描述中,重要部分信息还可以从接收到的部分中获得;因此,小波系数就可以根据获得的重要信息和单索引i或j由边缘解码器G₁或G₂重建。为了提高编码效率,我们采用X树结构^[10]对关键信息进行编码。

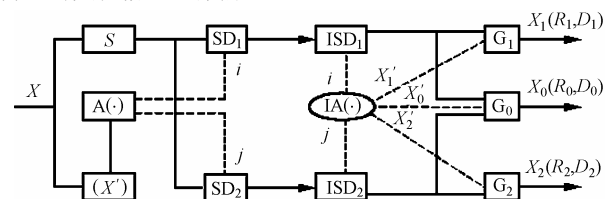


图2 非平衡保护的双描述编解码系统框图

2.2 X树结构

Shapiro提出的EZW图像编码大大提高了小波变换的图像编码效率^[11]。然而,零树结构并非最佳编码结构,合理调整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^[10]。

与零树一样,X树也是生长在各子带间的四叉树,每一

个节点对应一个小波变换系数。在金字塔分解中, 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(图 3)。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, 若相应的四叉树满足:

$$N(p, q) = 0 \mid_{(p, q) \in Q(i, j)} \quad (1)$$

则称该四叉树为 X 树。

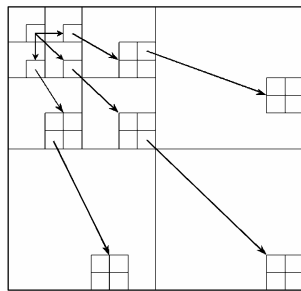


图 3 分级四叉树示意图

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。由于零树的根节点必须为 0, 而 X 树的根节点可取任何值, 因此 X 树比零树更具有普遍性。

对四叉树而言, 通常有 $|N(i, j)| > Q(i, j)$, 即根节点的数值大于其子孙节点的数值。这时, 当门限值 T 大于根节点的数值时, 可用零树来表示该四叉树。然而, 当门限值降低时, 很可能出现:

$$|N(i, j)| > T > |N(p, q)| \mid_{(p, q) \in Q(i, j)} \quad (2)$$

如果仍旧采用零树结构, 就必须用四棵树和一个独立节点来表示该四叉树。反之, 用一棵 X 树就能表达该四叉树。因此, X 树比零树有更高的编码效率。

2.3 结构信息的产生

结构信息的产生实际上就是根据给定的门限值 T 对系数进行重要性检查, 建立 X 树并对各节点进行编码输出的过程。具体算法如下:

- (1) 根据给定的门限值 T 对系数进行重要性检查, 建立 X 树;
- (2) 如果节点是 X 树的根节点, 输出 ‘1’ 到描述生成器 SD_1 和 SD_2
 - (a) 如果 $X(i, j) = 0$ 输出 ‘0’ 到 SD_1 和 SD_2 , 否则
 - (b) 如果 $X(i, j) > 0$ 输出 ‘10’ 到 SD_1 和 SD_2 , 残余非零根 $X' = |X(i, j)| - T$ 送多描述标量量化器 $A(\cdot)$, 否则
 - (c) 如果 $X(i, j) < 0$ 输出 ‘11’ 到 SD_1 和 SD_2 , 残余非零根 X' 送 $A(\cdot)$;
- (3) 如果节点不属于任何 X 树, 输出 ‘0’ 到 SD_1 和 SD_2

- (a) 如果 $X(i, j) = 0$ 输出 ‘0’ 到 SD_1 和 SD_2 , 否则
- (b) 如果 $X(i, j) > 0$ 输出 ‘10’ 到 SD_1 和 SD_2 , 残余非零系数 $X' = |N(i, j)| - T$ 送多描述标量量化器 $A(\cdot)$, 否则
- (c) 如果 $X(i, j) < 0$ 输出 ‘11’ 到 SD_1 和 SD_2 , 残余非零系数 X' 送 $A(\cdot)$ 。

2.4 细节信息的产生

细节信息的产生过程就是对输入多描述标量量化器的残余非零系数和残余非零根 X' 进行多描述标量量化(MDSQ)产生索引对的过程。MDSQ产生的两个索引分别送入描述生成器 SD_1 和 SD_2 。改变MDSQ索引矩阵的对角线宽度可调整多描述编码的冗余量^[7]。为了减小计算复杂度, 本文采用对角线数为 2 (A_2) 和 3 (A_3) 的索引矩阵进行多描述标量量化。

2.5 非平衡保护的多描述编码算法

非平衡保护的多描述编码算法实际上就是选择一组门限值 T_1, \dots, T_N 对图像进行逐步量化, 产生和输出结构信息和细节信息的过程:

```
for(i = 1; i <= N; i++) {
     $T_i = T_{i-1} / 2$ ;
```

根据当前门限值 T_i 产生 X 树结构信息并输出到两个描述;

对残余信息 X' 进行多描述标量量化, 把生成的两个索引分别输出到两个描述;

```
}
对各描述进行算术编码[12];
```

把各个描述分别通过不同信道传输到接收端。

其中各门限值满足: $(\text{MAX } |N(i, j)|) < T_0$ 。解码算法是编码算法的逆过程, 根据编码算法和非平衡保护的多描述编解码系统框图(图 2)不难得出。

3 实验结果和讨论

我们用 3 幅标准的 8 位灰度图像 “Lena”, “Goldhill” 和 “Barbara” (512×512) 测试本系统的性能。用文献[13]中介绍的 7/9 正交小波滤波器、五层小波变换产生变换图像 X, 并对各描述输出进行算术编码, 实验见表 1—表 3 和图 4—图 7。

表 1—表 3 分别列出由非零系数解码算法(SCD)^[8]和本算法在两个描述的比特率平均值分别为 0.25, 0.5 的情况下对每幅图像进行编解码后计算得到的 PSNR 值。通过所列的数据我们不难看出用 X 树编码结构进行非平衡保护的多描述算法优于 SCD 算法。图 4 给出了本算法对图像 “Lena” 在单个描述比特率为 0.5 时所得到的重建结果, 可以发现即使只收到单个描述, 重建图像的失真度也可得到较好的控制。

表 1 图像 “Lena” 的仿真实验结果

比特率	接收到的描述	算法	
		SCD (dB)	本算法 (dB)
0.25	两个描述	32.83	33.21
	第一描述	28.68	29.71
	第二描述	28.57	29.44
0.50	两个描述	35.89	36.25
	第一描述	31.59	32.74
	第二描述	31.49	32.34

表2 图像“Barbara”的仿真实验结果

比特率	接收到的描述	算法	
		SCD (dB)	本算法 (dB)
0.25	两个描述	27.05	27.26
	第一描述	23.13	23.49
	第二描述	23.85	23.90
0.50	两个描述	30.45	30.55
	第一描述	25.90	26.33
	第二描述	25.05	25.67

表3 图像“Goldhill”的仿真实验结果

比特率	接收到的描述	算法	
		SCD (dB)	本算法 (dB)
0.25	两个描述	29.90	30.08
	第一描述	26.81	27.18
	第二描述	26.67	27.18
0.50	两个描述	32.41	32.50
	第一描述	28.84	29.13
	第二描述	28.47	29.03



图4 本系统对Lena图像进行仿真的结果(比特率=0.5 bpp)
 (a) 接收到两个描述(36.25dB) (b) 只接收到第一描述(32.74dB)
 (c) 只接收到第二描述(32.34dB)

图5—图7是分别用PTSQ^[5], MDSQ子带编码^[7]和本文提出的方法在对角线数为2(A2)和3(A3), 冗余率分别为53%和26%的条件下的实验结果。其中, 冗余率的定义为 $\rho = (R_1 + R_2 - R_0) / R_0$ 。从图中我们可以看到在比特率为1.0时, 本算法的编码效果明显优于MDSQ子带编码而与PTSQ效果相当; 冗余度较高时, 不如PTSQ, 而在冗余度较低的时候优于PTSQ。在比特率为0.25时, 本算法的效果均优于

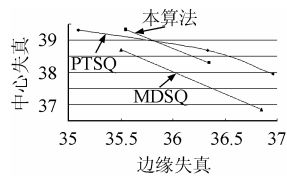


图5 Lena的实验结果
(比特率=1.0)

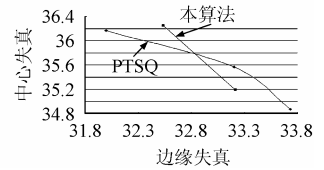


图6 Lena的实验结果
(比特率=0.5)

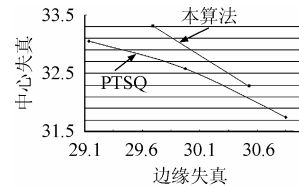


图7 Lena的实验结果(比特率=0.25)

PTSQ。实验结果还表明采用最简单的A2索引分配时, 编码效率随着表示非零系数位数增长而下降。设计一个更好的索引分配方法可望达到更好的编码效果。

4 结束语

本文提出了一种新的多描述编码方法——X树非平衡保护多描述编码, 在X树编码结构的基础上, 将每个描述分为结构部分和细节部分。结构信息由重要系数的位置、符号和位数信息构成, 细节信息由残余非零系数经多描述标量量化器产生。结构信息是小波变换图像的关键信息, 必须重点保护, 因此被备份到两个描述中。细节信息是非关键信息, 经MDSQ形成两组索引分别送入不同的描述。由于对关键信息和细节信息采用不同的保护策略, 因此本算法能够对传输的图像进行较好的错误恢复。实验结果验证了本算法的有效性和正确性。

参考文献

- [1] Wang Yao, Ostermann J, Zhang Ya-Qin. Video Processing and Communications. Beijing: Tsinghua University Press, 2003, 494-498.
- [2] Vaishampayan V A. Design of multiple description scalar quantizers. *IEEE Trans. on Information Theory*, 1993, 39(3): 821-834.
- [3] Battlo J C, Vaishampayan V. Asymptotic performance of multiple description transform codes. *IEEE Trans. on Information Theory*, 1997, 43(2): 703-707.
- [4] Wang Y, Orchard M T, Reibman A R. Multiple description image coding for noisy channels by pairing transform coefficients. Proc. of the First IEEE Workshop on Multimedia Signal Processing, Princeton NJ, June 1997: 419-424.
- [5] Jiang W, Ortega A. Multiple description coding via polyphase

- transform and selective quantization. Proc. of VCIP, San Jose, CA, USA, January 1999: 998 – 1008.
- [6] Miguel A C, Mohr A E, Riskin E A. SPIHT for generalized multiple description coding. Proc. of the International Conference on Image Processing (ICIP), Kobe, Japan, Oct. 1999, 842 – 846.
- [7] Servetto S D. Multiple description wavelet based image coding. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2000, 9(5): 813 – 26.
- [8] Cai Canhui, Chen Jing, Ding Runtao. Significant coefficient decomposition based stack x-tree multiple description coding. Proc. of ICNNSP2003, Nanjing, China, December 14-17, 2003: 1181 – 1184.
- [9] Cai C, Chen J. Structure unanimity based multiple description subband coding. Proc. of ICASSP2004, May 17-21, 2004, Montreal, Canada, IEEE Press, 2004: III-261 – 264.
- [10] 蔡灿辉, 丁润涛. X树图像编码. 电子与信息学报, 2003, 25(2): 164 – 170.
- [11] Shapiro J M. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 1993, 41(12): 3445 – 3463.
- [12] Witten I H, Neal R M, Cleary J G. Arithmetic coding for data compression. *Commun. ACM*, 1987, 30(6): 520 – 540.
- [13] Antonini M, Barlaud M, Mathieu P, Daubechies I. Image coding using wavelet transform. *IEEE Trans. on Image Processing*, 1992, 1(4): 205 – 221.
- 陈 婧: 女, 1980年生, 硕士生, 研究方向为图像编码与传输.
- 蔡灿辉: 男, 1954年生, 教授, 主要研究方向为图像编码与传输.
- 丁润涛: 男, 1938年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为图像处理.