

图像的多描述编码

丁绪星 朱日宏 李建欣

(南京理工大学电光学院, 南京 210094)

摘要 图像的多描述编码(MDC)是针对单描述编码(SDC)而言,其编码方法是将图像编码为多个位流(描述),并使每个描述都能恢复可接受质量的图像。其恢复图像的质量只依赖描述的个数,即如果解码器接收到的描述越多,则由这些描述共同形成的图像质量就越高。在图像通信应用中,在无信道编码的情况下,用MDC方法可适应传输条件恶劣的信道,尤其是无线信道和网络信道。为了能在传输信道恶劣的条件下进行有效的图像传输,在对MDC的基本理论及其应用以及近几年MDC的研究现状进行概述和总结的基础上,提出了一种基于EZW编码的MDC方法。实验结果表明,此法简单、有效,其不仅实现了压缩图像传输的健壮性,同时兼顾了压缩效率。

关键词 多描述编码 图像压缩 嵌入小波零树

中图法分类号: TN919.81 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2005)09-1184-06

Multiple Description Coding for Image

DING Xu-xing, ZHU Ri-hong, LI Jian-xin

(School of Electric Engineering and Photoelectric Technology, Nanjing University of Sciences & Technology, Nanjing 210094)

Abstract Controposed to single description coding(SDC), multiple description coding(MDC) for image is source coding in which several bit streams(descriptions) of original image are produced such that acceptable quality of the reconstructed image can be obtained from each description. The quality of reconstructed image only depends on the number of descriptions, the more descriptions, the higher quality of reconstructed image is obtained from combining these descriptions. MDC scheme is well suited to the channels which transmission conditions are very poor for image communication without channel coding, especially for networks and wireless channels. In this paper, the theoretical and practical techniques of MDC are exposed, the advances of MDC are described for these years. A MDC scheme of image based on EZW (Embedded Zerotree Wavelet) is presented. The simulation results show that this method is simple and efficient, and implements robust transmission of compressed image considering the compression efficiency.

Keywords multiple description coding, image compression, embedded zerotree wavelet

1 引言

近年来,图像信号在误码多发环境中的传输问题越来越受到重视。传统的图像压缩编码是单描述编码(single description coding, SDC),即只有一个码流,虽然其编码性能优良,但如果码流遭到破坏,则解码端将无法解码,一般来说,这种码流难以适应在网络、无线信道中传输;多描述编码(multiple

description coding, MDC)^[1]是减少传输误码影响的比较有效的方法之一,是近年来的研究热点。MDC是先将图像信号压缩为多位流,并使每个位流对应一种描述;然后使每个描述分别通过一个相对独立的信道传输到解码端,且每个描述都可以恢复出视觉可接受质量的图像,若接收到的描述越多,则多个描述结合起来恢复出的图像质量就越高。其中描述的设计原则是使图像质量只依赖于接收到的描述的数量,而与具体哪个描述被接收无关,且随着描述丢

收稿日期:2003-06-30;改回日期:2005-03-21

第一作者简介:丁绪星(1971~),男,2005年获南京理工大学通信与信息系统专业博士学位,现为安徽师范大学通信工程系系主任。主要研究方向为图像压缩与传输、光纤通信等。E-mail: dxx200@163.com

失数量的增加,重构图像的质量相差不是很大,其优点是实现了图像数据的健壮性传输和重构图像质量的提高;缺点是相比单描述编码,压缩效率低。

由于基于小波变换的编码(如著名的 EZW (embedded zerotree wavelet)、SPIHT (set partitioning in hierarchical trees)、EBCOT (embedde block coding with optimized truncation) 等)提供的嵌入码流对误码非常敏感,1bit 的错误就有可能导致解码器无法解码,所以不适应在传输条件恶劣的信道中传输。本文在分析 MDC 的基础上又提出一种基于 EZW 的 MDC 方法,此方法在无信道编码的情况下,既利用了基于小波变换的优异的压缩性能,又实现了图像的健壮传输。

2 多描述编码

MDC 的思想最早由 Bell 实验室的 Gersho、Ozarow、Witsenhausen 等人于 1979 年提出,旨在进行语音编码时,利用冗余信息来减轻因信道损坏而带来的不良后果。

2.1 MDC 的一般模型

最初针对语音的多描述编码框图如图 1 所示^[1]。

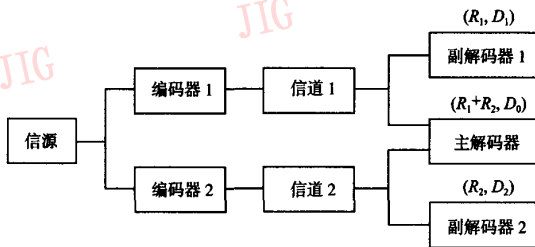


图 1 MDC 的框图

Fig. 1. Scheme of MDC

其工作原理为:两个信道相对独立,每个描述分别被两个编码器编码,且各占用一个信道,当其中一个信道出错时,另一副解码器则根据从正常工作的相应信道中接收到的信息恢复出较为满意的信号;当两个信道都正常时,则主解码器将两个描述加起来重构出质量更高的信号。一般情况下,两个信道同时出错的概率较小,这就实现了信号的健壮传输。显然,MDC 的编码效率是两种极端情形的折衷:一是两信道传送的信号完全相同,即都是原信号,这样只要有一个信道正常工作,就能保证获得最好质量

的重构信号,但如果两信道都正常工作时,则一个信号被传送两次,这对信号的重构是无任何帮助的;另一极端情况是仅仅将信号分成互不相同的两部分(如简单的奇、偶分裂),在此情况下,当只有一个信道正常工作时,则恢复信号的质量很差,甚至只是一部分;当两个信道都正常工作时,恢复信号的质量达最佳。因此,MDC 的设计过程就是根据信道的传输条件、失真度、码率等限制进行不断优化编码性能的过程。由此可见,显然可将 2 个信道的 MDC 推广到多个信道的情形。

2.2 MDC 设计准则

MDC 的设计必须遵守率失真准则。如图 1 所示, $R_1, R_2, R_0 = R_1 + R_2, D_0, D_1, D_2$ 为信道的码率和失真, $R(D)$ 表示率失真函数,即保证失真不大于 D 时所获得的最低码率。理论上讲,MDC 需满足如下条件^[2]:

$$R_1 + R_2 \geq R(D_0) \quad (1)$$

$$R_1 \geq R(D_1) \quad (2)$$

$$R_2 \geq R(D_2) \quad (3)$$

从率失真理论和实际的压缩应用角度来看,MDC 引发的问题是:尽管 R_1 对于信道 1 是最佳的, R_2 对于信道 2 是最佳的,但不能保证对主解码器 $R_1 + R_2$ 是最佳的。因此设计 MDC 时,要使对应 R_1, R_2 的两个描述有一定的相关性,而在进行图像压缩时,则需尽可能地去除相关,以提高压缩效率。可见式(1)~式(3)不能同时成立,具体实现时,只能是一种折衷。

2.3 MDC 的应用领域

MDC 主要用于信号的有损压缩与传输,即数据在传输过程中有可能会丢失,恢复的信号又允许有一定的失真,例如图像、语音、视频等信号的压缩处理与传输^[3,4]。其应用的场合主要有以下几个方面:

(1) 网络通信,如 Internet 在此信道中,常会受网络阻塞、骨干网的容量、带宽、路由选择等原因的影响而造成数据包的丢失。传统的解决方法是采用 ARQ (automatic error request) 技术,但由于此法需要有反馈机制,且会进一步加重阻塞和造成延迟等,因此对于实时应用的情形显然是不利的,而用 MDC 技术就可避免这种情况。

(2) 无线通信 无线信道因信道衰落常会造成较长的突发比特错误,其解决的办法是将信道分为多个虚拟信道,如跳频系统就非常适合用 MDC 技

术。另外, MDC 技术对解决无线广播系统的邻频干扰问题也很有效。

(3) 分区存储系统 对大型的图像数据库, 采用 MDC 技术将图像的不同拷贝存储在不同的位置, 以便在快速浏览时, 可很快找到存储在最近区域的所需图像的较低质量的一个拷贝, 如需要更高质量的图像, 则可搜索存储在较远区域的一个或多个图像拷贝, 并和最近的拷贝一起来提高重构图像的质量, 以满足不同的应用需求。

2.4 几种典型的 MDC 方法

纵观近几年有关 MDC 的研究, 主要有以下 4 种方法:

(1) 多描述量化编码

第 1 个实用的 MDC 方法是由 Vaishampayan 提出的多描述标量量化技术 (multiple description scalar quantizers, MDSQ)^[5], 其关键是设计索引分配, 以便将原信号分为两个互补的有一定冗余的描述, 这种方法后来又被改进为熵约束的标量量化^[6]。Tian 等人在此基础上又提出一种通用的 MDSQ 设计方法^[7]。Agnieszka, Sherwood, Sergio 等人则利用小波变换和 SPIHT 算法来设计 MDSQ 量化器, 也取得了较好的实验结果^[8-10]。为了实现任意多个描述的 MDC, Norber 等人设计了一种被称为 MD-BSA (multiple description-binary switching algorithm) 的算法, 用于进行重构图像的多描述矢量量化 (multiple description vector quantizers, MDVQ), 这种算法在重构图像的峰值信噪比上比 MDSQ 技术有显著的提高^[11]。

(2) 基于变换的 MDC

基于变换的多描述编码最早由 Baillo 等人提出^[12], 后来 Goyal 等人提供了对任意信道进行多描述相关变换的一般结构, 并对高斯信源的最优化 MDC 设计进行了分析^[13]。由于小波变换及其编码器 (如 EZW、SPIHT、EBCOT 等) 在图像压缩领域有突出表现, 因此近两年, 将它们应用到 MDC 技术的研究成为热点。Il-kyu Eom 等人用重叠阈值量化的 EZW 方法进行 MDC^[14], 其描述的相关性由重叠的阈值决定, 该算法简单, 尤其是在进行高冗余编码时, 效率高, 但对于大于两个信道的情况, 实现起来较困难。Varnia 等人把 SPIHT 嵌入码流中的状态信息与信源数据相结合^[15]; Subalakshmi 利用 EBCOT 的压缩性能和分块编码的特性来进行图像的 MDC^[16], 也都取得了较好的效果。

(3) 前向纠错 MDC

前向纠错编码 (forward error correct, FEC) 是在发信端采用某种在解码时能纠正一定程序传输错误的较复杂的编码方法, 其主要用于均衡损失保护系统中, 以防止数据包的丢失。Mohr 等人用非均衡损失保护的 FEC 方法, 即所谓的 MD-ULP (multiple description-unequal loss protection) 编码^[17], 其目的是实现图像的累进传输, 即在知道哪些信息对图像质量最重要的情况下, 用优化算法对每个描述分配冗余, 使其很容易与 SPIHT 相结合。基于此方法, Sachs 等人提出一种在无线信道中进行图像的 MDC 策略^[18]。

(4) 基于量化框架膨胀的 MDC

此种 MDC 方法最初由 Goyal 等人提出^[19]。它是先将原信号在过完备、紧框架下分解为多个描述, 然后利用框架系数的线性相关性从任意数量的描述中恢复原信号。此方法还在发展的初始阶段, 具体实现时, 还有许多问题有待解决。

在实现语音、图像、视频的健壮传输时, 随着 MDC 技术的良好表现和有关 MDC 技术研究的深入, 相信新的算法将会不断涌现。

3 基于 EZW 的 MDC

EZW 编码^[20]是对小波变换后的系数进行空间小波树结构的递归编码, 由于其有效剔除了对高频系数的编码, 从而极大地提高了小波系数的编码效率, 并且因为它采用了渐进式量化和嵌入编码模式, 算法复杂度较低, 所以在数据压缩史上具有里程碑意义。

3.1 算法

本算法对 EZW 算法进行了修正, 以适应 MDC, 其基本思想是先把小波变换后的系数分成 X 组 ($X \geq 4$), 然后通过每组进行独立量化和编码来生成 X 个嵌入码流 (描述)。为了解码方便, 可使每组的数据长度相等, 以便将小波零树结构均匀遍布整个图像, 这样当解码端接收到任一描述时, 经过插值操作处理就能恢复出可接收质量的图像, 这样随着接收到的描述数量的增加, 图像恢复的质量也越来越高。图 2 为基于 EZW 的 MDC 的算法示意图 (这里以 3 级小波分解, 4 个描述为例)。图中每个灰度方块图对应一个小波系数, 并使具有相同方块图的系数为一组, 其对应的码流为一个描述。编码步骤

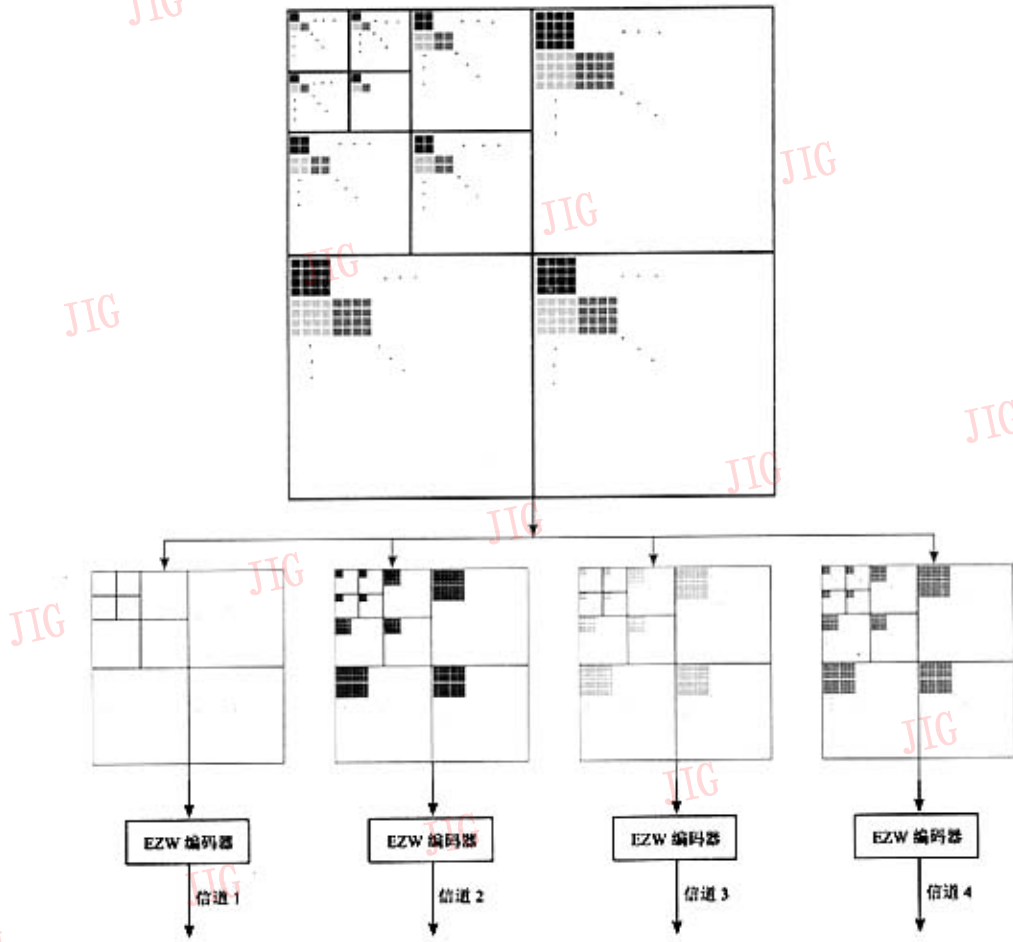


图2 基于 EZW 的多描述编码示意图
Fig.2 Sketch map of MDC based on EZW

如下:

- (1)先对原图像进行小波分解,设分解级数为 L ;
- (2)对小波系数进行分组,分组的原则如图 2 所示,设分组个数为 X ;
- (3)将每个组的小波系数,按小波零树结构进行重组;
- (4)对每组分别用相同的 EZW 编码器编码,每个编码的码流对应一个描述,然后经各自的信道传输。

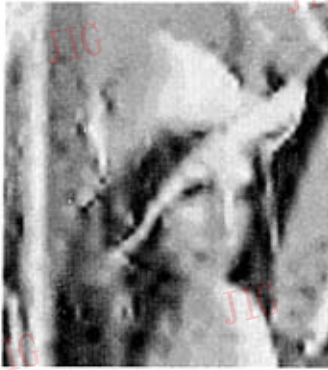
设原图的大小为 $M \times N$,显然 $X \leq M \times N / 4^L$ 。解码是编码的逆过程,只不过在解码时,当并非所有的信道都正常工作时,要进行插值处理,即用恢复的数据填充其相邻的因描述丢失而缺失的数

据,以重构出与原图同样大小,且视觉质量可接受的图像。

3.2 实验结果

为验证本文算法的效果,用 512×512 大小的“Lena”标准图像进行了实验,实验时,选用 D9/7 小波,分解级数为 5 级,描述的数量为 4,压缩码率为 1.0bpp,结果如图 3 所示(每种情况都是对应的最坏结果)。

实验证明,利用基于 EZW 的多描述编码,其算法复杂度并未增加多少,不仅相对于其他的 MDC 方法要简单,且信息冗余较少,虽然在只有一个描述时,其恢复的图像,质量(信噪比)略差,但人眼还是能够接受的。这种方法很容易推广到基于 SPIHT、EBCOT 等嵌入编码的 MDC 方法。



(a) 1 个描述重建图像 (PSNR = 24.82dB)



(b) 2 个描述重建图像 (PSNR = 28.75 dB)



(c) 3 个描述重建图像 (PSNR = 35.18dB)



(d) 4 个描述重建图像 (PSNR = 36.86dB)

图 3 实验结果

Fig.3 Simulation results

4 结 论

MDC 技术还远未成熟,到目前为止,用于图像编码的经得住考验的实用 MDC 方法几乎没有,且当前绝大多数的 MDC 算法都是在均衡损失保护的情况下加入冗余。对图像通信而言,如果信道传输条件恶劣,则将使接收端不能接收到所有的数据,由于通常只希望能保证接收到图像中的最需要的部分,所以非均衡损失保护的 MDC 算法在实际应用中更有意义。另外,因为目前的大多数 MDC 算法都不能自适应信道条件的变化,如网络信道的数据包丢失率随时间、路由选择和连接容量而不同,所以根据信道条件自适应调整冗余量对编码效率尤为重要。

本文的算法是一种试图实现压缩图像健壮传输的高效编码方法,因为它将优秀的 EZW 编码器用于 MDC,虽然其编码的总体效率和性能比单描述编码

低,但其在误码多发环境中却增强了传输的健壮性。

参考文献 (References)

- 1 Wolf J K, Wyner A D, Ziv J. Source coding for multiple descriptions [J]. Bell System Technology Journal, 1980, 59(6):1083 ~ 1087.
- 2 Gammal A A El, Cover T M. Achievable rates for multiple descriptions[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1982, 28(6):851 ~ 857.
- 3 Goyal V K. Multiple description coding: compression meets the network[J]. IEEE Signal Magazine, 2001, 18(5):74 ~ 93.
- 4 Miguel A C. Image compression using overcomplete wavelet representations for multiple description coding [D]. PhD thesis, University of Washington, USA, 2001.
- 5 Vaishampayan V A. Design of multiple description scalar quantizers [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1993, 39(3):821 ~ 834.
- 6 Vaishampayan V A, Domaszewicz J. Design of entropy-constrained multiple description scalar quantizers [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1994, 40(1):245 ~ 250.

- 7 Tian C, Seila S H. Universal multiple description scalar quantization: analysis and design[A]. In: IEEE Proceedings of Data Compression Conference[C], Snowbird, UT, USA, 2003,1:183 ~ 192.
- 8 Agnieszka C M, Alexander E M, Eve A R. SPIHT for generalized multiple description coding [A]. In: IEEE Proceedings of Internatioanl Conference on Image Processing [C], Kobe, Japan, 1999,1:842 ~ 846.
- 9 Sherwood P G, Tian X D, Zeger K. Efficient image and channel coding for wireless packet networks[A]. In: IEEE Proceedings of Internatioanl Conference on Image Processing[C], Vancouver, BC, Canada, 2000,2:132 ~ 135.
- 10 Sergio D S, Kannan K, Vinary A V. Multiple description wavelet based image coding[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(5):813 ~ 825.
- 11 Norbert G, Pornchai I. Optimization of the index assignments for multiple descriptions vector quantizers [J]. IEEE Transactions on Communications, 2003,15(3):336 ~ 340.
- 12 Batllo J C, Vaishampayan V A. Asymptotic performance of multiple description transform codes [J]. IEEE Transactions on Information Theory,1997,43(2):703 ~ 707.
- 13 Goyal V K, Kovacevic J. Generalized multiple description coding with correlating transforms[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2001,47(6):2199 ~ 2224.
- 14 Il-kyu E, Yoo-shin K. Multiple description EZW coding using overlapped threshold[A]. In:Proceedings of International Conference on Signal Processing[C], Beijing, China, 2002:796 ~ 799.
- 15 Varnia N, Flemming M, Effros M. Multi-resolution adaptation of the SPIHT algorithm for multiple description[A]. In:Proceedings of Data Compression Conference [C], Snowbird, UT, USA, 2000:303 ~ 312.
- 16 Subbalakshmi K P, Siva S. Multiple description image coding framework for EBCOT[A]. In: Proceedings of IEEE Internatioanl Conference on Image Processing[C], Rochester, New York, USA, 2002:541 ~ 544.
- 17 Mohr A E, Riskin E A, Ladner R. Generalized multiple description image coding through unequal forward error correction [A]. In: Proceedings of Internatioanl Conference on Image Processing [C], Singapore, 1991,1:411 ~ 415.
- 18 Sachs D G, Anand R, Ramchandran K. Wireless image transmission using multiple description based concatenated codes [A]. In: Proceedings of Data Compression Conference[C], Snowbird, Utah, USA, 2000:569 ~ 563.
- 19 Goyal V K, Kovacevic J, Vetterli M. Multiple description transform coding: Robustness to erasures using tight frame expansions[A]. In: Proceedings of International Symposium on Information Theory [C], Boston, USA, 1998:408 ~ 493.
- 20 Shapiro J M. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 41(12):3445 ~ 3462.