

图像信号的多描述编码方法

张 炜^{1),2)} 蒋刚毅^{2),3)} 汪增福¹⁾ 郁 梅^{2),3)}

¹⁾(中国科学技术大学自动化系,合肥 230026) ²⁾(宁波大学电路与系统研究所,浙江宁波 315211)

³⁾(北京大学视觉与听觉信息处理国家重点实验室,北京 100871)

摘 要 鉴于数据在不可靠信道传输时,可能会发生数据包丢失或出错的问题,因此在图像与视频信号传输中如何解决由此而产生的图像质量严重下降问题已成为近年来的一个重要研究课题,而多描述编码作为一种可选的解决方案已开始受到关注。由于多描述编码是将信号分解为多个独立的码流,并通过不同的信道进行传输,因而可在较高压缩效率下增强信号的稳健性。在对目前的图像多描述编码文献进行分析和综合的基础上,首先阐述了多描述编码的历史和信息论背景;然后对图像多描述编码方法进行了分类,即分为基于量化、基于变换和基于空间扩展的多描述编码等几类,并对各种方法的数学模型以及适用情况等进行了讨论;最后给出了图像多描述编码的存在问题及研究展望。

关键词 多描述编码 数据丢失 信息冗余 错误恢复编码

中图分类号: TN919.81 TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2004)03-0257-08

Research on Image Multiple Description Coding

ZHANG Wei^{1),2)}, JIANG Gang-yi^{2),3)}, WANG Zeng-fu¹⁾, YU Mei^{2),3)}

¹⁾(Dept. of Automation, USTC, Hefei 230026)

²⁾(Institute of Circuits and Systems, Ningbo University, Ningbo Zhejiang 315211)

³⁾(National Key Laboratory of Machine Perception, Peking University, Beijing 100871)

Abstract Recently, the problem of packet loss and errors in image communication over erasure channels, such as Internet and wireless networks, becomes an important topic. This creates the need for new approaches to image coding, which combine high compression efficiency and robustness. As a new approach, multiple description coding (MDC) is attractive in this field, which separates the source into several equally important bit-streams (descriptions) and then transmitted over different channels. Based on many related literatures, an overview on the state of the art of MDC is given in this paper. Firstly, MDC's history and background in information theory are introduced. And then MDC is classified into several categories, including quantization-based, transform-based, space expansion-based and so on. Each is described respectively from the mathematic model and its applied conditions. Comparisons between MDSQ and MDPCCT are made followed. At the end, some conclusions are given, including problems in MDC and what will MDC be in the future.

Keywords image processing, multiple description coding, packet loss, information redundancy, error resilient coding

1 引 言

随着互联网和无线移动通信的飞速发展,多媒体业务在服务中所占的比重与日俱增,但其在带给

人们生活方便快捷的同时,实时网络数据传输出现的网络阻塞问题也日益突出。在互联网通信中,数据丢失和延迟是常见情况之一,而在无线多媒体数据通信中,由于深度衰落信道可能导致数据传输出错或数据丢失,因而致使接收端不能正确解码。对于这

些问题,通常是采用纠错编码(如 FEC)、ARQ 协议和错误隐藏(error concealment)等方法来进行解决,但是对于网络视频这类实时业务,上述方法通常难以达到令人满意的效果。由此可见,对差错信道上数据传输的鲁棒性及错误控制的研究具有十分现实的意义。近年来,多描述编码(multiple description coding, MDC)受到了越来越广泛的关注。因为通过采用 MDC 方法可以阻止噪声信道的图像通信中,因数据包误码或丢失而导致的图像与视频质量的严重下降问题,从而节省了传输的成本。多描述编码的思想最早是在 1979 年的 IEEE Shannon Theory Workshop 会议上由 Gersho 等人作为一个信息论问题提出的^[1,2],但图像多描述编码的研究主要是在 1997 年后,国内目前很少见相关研究报道。

在分集接收中,系统通过多径信道传播,其从衰落信道中接收的信号是到达接收机的各径分量的合成。如果接收端同时获得几个不同路径的信号,并将这些信号适当合并,以构成总的接收信号,则能够大大削减衰落的影响,也就是只要被分集的几个信号之间是统计独立的,那么信号经适当合并后就能使系统的性能大为改善。多描述方法与此类似,它也是采用多个相互独立,但同时又具有一定相关性的子信号(描述)来刻画同一信号,其中各个描述可以分别独立解码,以获得失真为 d_i 的重建值,这样系统即可将这些描述独立编码后,再通过不同信道传输到客户端。如果某些信道的数据包丢失或出错,接收端的解码器仍可从单个正确接收的描述中恢复出视觉上可接受的重建信号,而如果多个描述都同时收到,则可获得更好的重建效果。

2 多描述编码

2.1 多描述编码基本框架

设 X 和 \hat{X} 分别表示待传输信源与重建信号, $D(X, \hat{X})$ 表示 \hat{X} 相对于 X 的失真值, R_i 表示码率。多描述编码是指设计多个编解码器 $\{C_i, i=1, 2, \dots, M\}$ ^[3],使得

(1) 各个 C_i 的率失真函数 $f(R_i, D_i)$ 满足给定要求;

(2) 任何一个以上 C_i 的组合所得失真函数 D 必须小于 $\min\{D_i\}$;

(3) (C_1, C_2, \dots, C_M) 的失真函数值取全局最优值。

这里,任一 C_i 都可独立解码,并包含原信源信

息,同时重建信号质量与所接收到的描述数量呈正比。对于方差为 σ^2 的高斯信源,采用两个描述的多描述编码(MDC)时,在均方误差准则下,信源失真函数 $D(\sigma^2, R_1, R_2)$ 满足^[4]:

$$d_1 \geq \sigma^2 2^{-2R_1} \quad (1)$$

$$d_2 \geq \sigma^2 2^{-2R_2} \quad (2)$$

$$d_0 \geq \frac{\sigma^2 2^{-2(R_1+R_2)}}{1 - \left[\sqrt{\left(1 - \frac{d_1}{\sigma^2}\right) \left(1 - \frac{d_2}{\sigma^2}\right)} - \sqrt{\left(\frac{d_1 d_2}{\sigma^4}\right) - 2^{-2(R_1+R_2)}} \right]^2} \quad (3)$$

对于方差为 σ_x^2 的一般信源,在高分辨率下,其失真函数的上下界具有与单描述编码(SDC,即通常意义下的编码)相同形式的结果^[4]:

$$D(\sigma_x^2, R_1, R_2) \leq D(R_1, R_2) \leq D(P_X, R_1, R_2) \quad (4)$$

其中, $P_X = (2\pi e)^{-1} 2^{h(X)}$ 为信源 X 的熵功率, $h(X)$ 为信源的微分熵。其他关于多描述编码的率失真函数的推导可参阅文献^[5,6]。

对于两个描述的描述 MDC,其结构如图 1 所示,解码器 1 和 2 所在信道称为边沿信道(side channel),解码器 0 所在信道称为中央信道(central channel)。对两个描述的描述 MDC,若只有一个信道的信号正确传输到接收端,则重建信号的失真值大于最小限度失真值;而如果两个信道的信号都收到,则其中一个信号可用来增强另一信号,以获得更高质量的重建值。

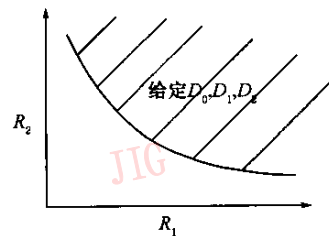
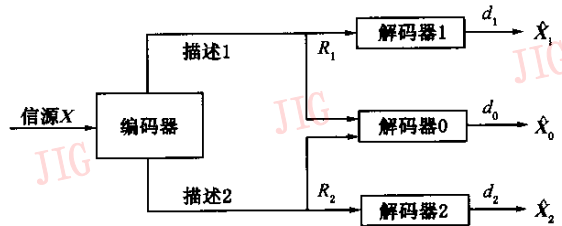


图 1 双信道描述结构图

2.2 多描述编码与分层编码及联合信源信道编码

多描述编码与分层编码的不同之处在于:分层编码的码流之间存在依赖关系,只有当基本层接收

到时才可能正确解码;而多描述编码中各码流之间是相互独立的,且具有同等的重要性,但因为多描述编码通过某种方式引入了附加的冗余信息,故而相对于单描述编码而言,其编码效率要略低一些^[7]。

国外有的文献^[8]将多描述编码归为联合信源信道编码(JSCC)一类,但MDC与通常意义的JSCC存在很大差异。通常所说的JSCC一般是根据信道状况动态地改变信源和信道编码各自所占的带宽来达到全局优化。尽管多描述编码可以和网格(trellis)编码、前向纠错(FEC)等方法相结合,但从多描述编码问题的信息论本质来看,它属于信源编码,所不同的是,传统的编码是信源编码和信道编码分离的,而MDC则是根据信道状况来动态调整各描述之间的相关性大小,即信源间信息冗余量的大小,然后再分别进行编码和多径传输,从这个意义上说,MDC应该属于JSCC。尽管JSCC和MDC都以提高系统的容错性为目标,但两者的思路却是不一样的,更重要的是,如果在网络视频通信中发生数据包丢失的情况,则MDC依然能够从其他正确接收到的描述中快速解码,而一般的JSCC则很难做到。

3 图像多描述编码方法分类

目前图像的多描述编码方法主要可分为基于量化、基于变换和基于空间扩展的多描述编码等几类。其中,基于量化的方法主要包括标量量化和矢量量化多描述编码等;基于变换的多描述编码主要包括对变换(PCT)和多描述变换编码(MDTC)等;基于空间扩展的多描述编码有重叠正交变换(LOT)、框架扩展(frame expansion)等。

3.1 基于量化的多描述编码

基于量化的多描述编码其共同点是需要设计一个复杂的量化函数(标号函数),用于对信源进行不同精度的量化,其基本思想是对单个描述进行大步长的量化,而多个描述相互结合时,则可得到精细的量化。

3.1.1 标量量化多描述编码^[9]

两个描述的标量量化多描述编码(MDSQ)结构如图2所示,即将信号利用量化器 Q_1 或 Q_2 进行标量量化后输入到标号分配函数 $a(\cdot)$,如图3所示,按对应区间进行标号分配后即直接形成两个描述;在解码端,若只收到一个描述,则根据收到的是描述1还是描述2来选择相应的量化器 Q_1 或 Q_2 进行解码,以得到质量可接受的重建信号,而如果两个描述

都收到,则采用量化器 Q_0 进行解码来得到质量更高的解码信号。

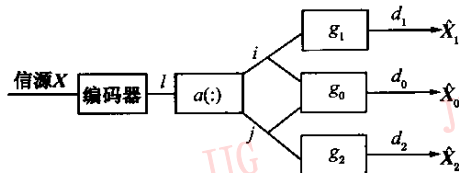


图 2 MDSQ 结构图

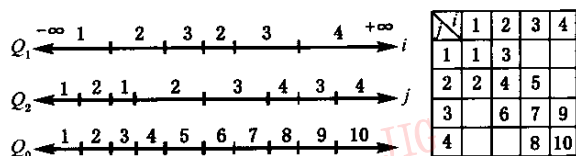


图 3 MDSQ 的量化形式

该方法关键之处在于标号分配函数 $a(\cdot)$ 的设计,即所谓的标号分配(index assignment)问题。Vaishampayana认为系统的性能主要由标号区间的长度(spread)所决定,并给出了两种不同的标号分配方法^[9]:嵌套式和线性式标号分配^[9](如图4所示)。

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	3						
2	2	4	5					
3		6	7	9				
4			8	10	11			
5				12	13	15		
6					14	16	17	
7						18	19	21
8							20	22

(a) 嵌套式分配 $|Q_1|=8, |Q_2|=8, |Q_0|=22$

	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	1	2							
2	3	4	6						
3		5	7	8					
4			9	10	11				
5					12	14			
6						13	15	16	
7							17	18	20
8								19	21

(b) 线性式分配 $|Q_1|=8, |Q_2|=8, |Q_0|=21$

图 4 MDSQ 的两种标号分配形式

人们在上述MDSQ的基础上进行了改进,如提出了基于熵约束的MDSQ^[10],其编码比特率是可变的,并随后被推广到多个描述的情况^[11]。另外,

MDSQ 与小波变换^[12]、子带编码^[13]和网格量化^[14]相结合也取得了较好的编码效果。

3.1.2 基于矢量量化的多描述编码

多描述矢量量化(MDVQ)主要有广义矢量量化^[15]、树形矢量^[16]和格型矢量量化(LVQ)^[17],其中LVQ性能较好,而格型矢量量化的特点是码书构造容易,且具有规律性。多描述格型矢量量化(MDLVQ)的思想类似于MDSQ,它是通过标号函数 l 将主格映射成两个子格,即对于每一个格点 $\lambda \in \Lambda$ 有

$$\Lambda \xrightarrow{1-1} l(\Lambda) \subset \hat{\Lambda} \times \hat{\Lambda} \quad (5)$$

式中, Λ 表示精细量化的格点, $\hat{\Lambda}$ 表示粗量化的格点, l 是一个单射函数。Servetto将其转化成一个网络流图问题,并给出了 l 的设计方法^[18]。参数 $N = |\Lambda/\hat{\Lambda}|$ 表示每个 $\hat{\Lambda}$ 中所包含的 Λ 的数目。多描述格型矢量量化系统的性能主要与 N 有关, N 与MDSQ中标号的区间长度(spread)相似,且 N 越大,意味着当只收到一个描述时,原格点的不确定性也越大。但是该文提出的采用SVS方案设计的MDLVQ系统存在较大的不足,因为它只考虑了使中央信道失真 D_0 最小的情况,即网络丢失率 $p=0$,而如果 $p \neq 0$,则边沿信道的性能将可能恶化。文献^[19]对此进行了改进,它建立了一个关于 p 的代价函数,并通过迭代计算来确定映射规则,该方案复杂度增加并不大,但性能却有明显改善。

文献^[12]虽对小波系数进行了标量量化,但它没有利用小波系数的分布特性。由于小波系数的分布是服从拉普拉斯分布的,且金字塔型格型矢量量化被证明是最适合拉氏信源的量化方法,因此常成为小波变换结合矢量量化的首选。目前SVS方案只能设计二维格型矢量(如 A_2 格),而将SVS方案推广到多维格型矢量(如 E_8 格等),并和小波变换相结合则将具有很好的应用前景,这将是MDLVQ今后的一个主要研究方向。

MDSQ和MDVQ都有一个共同点,即信号通过编码器后,可直接形成两个描述。根据香农速率-失真理论,相同编码速率下,因为矢量量化的失真明显小于标量量化,所以,MDVQ适合低码率下的应用,并优于MDSQ。

3.1.3 基于多相变换的多描述编码

Jiang等人提出了基于多相变换的多描述编码^[20],与矢量量化多描述编码方式相比,它要简单些,

其结构如图5所示。信号通过亚采样先直接被分解成两个描述,之后分别通过两个量化器进行量化后,再复合成一个码流,其中量化器 Q_1 为精细量化, Q_2 为粗量化,这样通过量化器的量化步长可控制描述间相关性的。令总码率 $R=R_0+\rho$,其中, R_0 为单描述编码SDC所需码率, ρ 为冗余码率,在给定总码率 R 、最小化总失真 d_c 和边沿失真(side distortion) d_1 与 d_2 的情况下,Jiang构造了一个拉格朗日方程^[20] $J=d_c+\lambda(d_1+d_2)$,而对无记忆高斯信源则有

$$J=h\sigma^2 2^{-2(R-\rho)} + \lambda \left(\frac{1}{2}h\sigma^2 2^{-2\rho} + \frac{1}{2}h\sigma^2 2^{-2(R-\rho)} \right) \quad (6)$$

解之可得如下最优冗余码率

$$\hat{\rho} = \frac{1}{2}R + \frac{1}{4}\log_2 \frac{\lambda}{\lambda+2} \quad (7)$$

注意到解的第2项恒负,其意义显而易见。

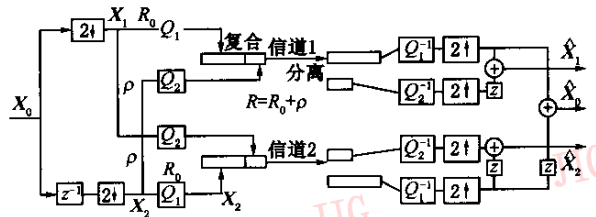


图5 多相变换多描述编码结构图

由于多相位变换编码利用了相邻像素间的连续性,所以在低冗余度的情况下,其性能相对较好,但在高冗余度下,如果所有描述都收到,则将造成码率的浪费。文献^[21]先对小波树进行了类似的处理,然后对各描述进行SPIHT编码,其性能是目前MDC系统中最好的一个,但作者并未考虑SPIHT,因为其编码自身的鲁棒性并不强,如果改用PZW算法^[22],则可能更合适。

3.2 基于变换的多描述编码

基于变换的多描述编码其基本思想是通过特定的相关变换将经过正交变换后的系数重新引入可控数量的相关性,以便丢失的数据能够从其他接收到的数据中近似估计得到。

3.2.1 对变换多描述编码^[23,24]

在传统的变换编码中,对输入变量做变换是为了消除变量间的相关性,而对PCT变换则是通过变换在系数之间引入可控的相关性。对于两个描述而言,对变换多描述编码(MDPCT)如图6所示,按如下方法将 N 个DCT系数均分成两组:先将DCT系数按方差大小排列,然后取方差大于预定阈值的前

L 个系数,并将第 k 个系数与第 $L-k$ 个系数配对进行所谓对变换,其余的 $N-L$ 个系数则按奇偶分离的原则分别分配到两个描述中。如果在传输过程中有一组数据丢失,则利用变换产生的相关性把另一组数据估计出来。设 A 和 B 为输入变量, C 和 D 为输出变量, T 为变换矩阵,则有

$$\begin{bmatrix} C \\ D \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} \quad (8)$$

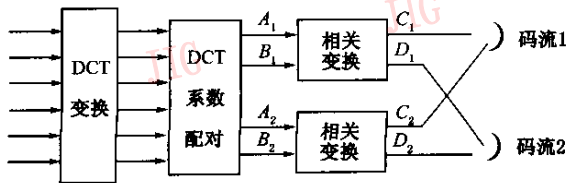


图 6 对变换结构图

如果只收到描述 \hat{C} (\hat{C} 表示 C 经量化后再反量化的值),则可由 $\tilde{D} = \gamma_{D,\hat{C}} \hat{C}$ 计算来得到 D 的估计值 \tilde{D} ,其中 $\gamma_{D,\hat{C}} = (\sigma_D / \sigma_{\hat{C}}) \cos \hat{\phi}$,参数 $\hat{\phi}$ 用于控制 C 和 D 之间冗余量的大小。对于相互独立,且均值为零的正态随机变量 A 和 B ,设其方差 $\sigma_A^2 \geq \sigma_B^2$,则最佳变换矩阵为

$$T = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

3.2.2 多描述变换编码^[25,26]

MDPCT 虽改善了单个描述的性能,但同时也加大了中央信道的失真。如果 σ_A / σ_B 趋近 1,则边沿失真将趋近于 0(即便在非正交的情况下),但是如果采用非正交变换的话,则因为量化胞腔是非立方体,所以在变换之前应先对系数进行量化,然后再对变换矩阵进行 LU 分解,这样可使量化后的胞腔仍保持为立方体。

由于多描述变换编码(MDPCT)只能产生两个描述,因此 Goyal 等人将变换编码推广到多个变量的情况,并扩展了变换矩阵集合,即所谓的“整数变换”。该过程如下:首先设计好相关变换矩阵 T ,然后将其因式分解成主对角线元素为 1 的上三角和下三角矩阵序列的乘积(T 分解形式非唯一): $T = T_1 T_2 \dots T_k$,再构造 T 的离散形式及其逆变换

$$\hat{T}(x_q) = [T_1 [T_2 \dots [T_k x_q]_{\Delta}]_{\Delta} \quad (10)$$

$$\hat{T}^{-1}(y) = [T_k^{-1} \dots [T_2^{-1} [T_1^{-1} y]_{\Delta}]_{\Delta} \quad (11)$$

其中, x_q 表示量化后的矢量信号, $[\cdot]_{\Delta}$ 表示量化步长为 Δ 的量化取整操作, y 为其经相关变换后的信息。如果 y 的元素都接收到,则可以通过逆变换正确恢复出 $\hat{x} = x_q$,否则可由 \hat{T} 所引入的相关性估计出丢

失数据。由于 DC 系数的重要性,它将占据大部分冗余码率,所以作者假设 DC 系数可以通过其他可靠信道传输,即只对 AC 系数进行变换,故而性能较好。

基于变换的多描述编码在较低码率下性能较好,但在高码率下,如果只有一个信道的信号被正确接收到,其性能会下降很多。这是因为基于变换的多描述编码对丢失系数的估计是通过统计得到的,即使相关变换引入了高冗余度,但由于接收到的描述中只包含一个系数,所以其失真还是比较大的。文献[27]对此进行了改进,即在低冗余度下用 PCT,而在高冗余度时,则用分层编码的混合编码系统。

基于变换的多描述编码从某种意义上说是 JPEG 式的,由于这类方法只需在正交变换之后再进行一次相关变换,因此和当前的压缩标准具有较好的兼容性。

3.3 基于空间扩展的多描述编码

各种基于空间扩展的多描述编码的共同点是:通过正交变换将 K 维信号空间扩展到 L 维 ($L \geq K$),再进行亚采样。如果 $L \geq NK$ (N 为描述个数),则根据抽样定理,每个描述都可以单独无失真地恢复出原信号,否则须建立误差函数来估计,误差估计一般均采用 MSE 准则。显然,该类方法中, L 决定了描述间的冗余度。

3.3.1 重叠正交变换(LOT)多描述编码^[28]

LOT 通过对信号重叠采样来引入系数间的相关性,再对变换后的信号进行亚采样来得到各描述。设 LOT 的变换矩阵 $T = [A_0 A_1]_{N \times 2N}$,其中 A_0 和 A_1 为 $N \times N$ 矩阵,它们满足如下正交条件:

$$A_0^T A_0 + A_1^T A_1 = A_0 A_0^T + A_1 A_1^T = I_{N \times N} \quad (12)$$

$$A_0^T A_0 + A_1^T A_0 = A_0 A_1^T + A_1 A_0^T = \mathbf{0}_{N \times N} \quad (13)$$

如果某些变换系数传输时丢失,则可以通过构造一个 MSE 误差函数,并考虑外加约束(图像的平滑特性等)来估计出来,而相关性的大小则可由重叠采样的数目决定。

3.3.2 DCT 变换补零^[29]

和 LOT 相似,它首先对图像进行 DCT 变换,然后在 DCT 系数的高频方向补零,如将 $N \times N$ 的系数矩阵补零成为 $M \times M$ 的矩阵,之后再做 DCT 反变换,以得到过采样图像;最后通过将过采样图像进行奇偶采样来形成各描述,并采用 JPEG 编码。该方法中相关性的大小是由补零的数目决定的。如果某个描述丢失,则可通过建立如下一个代价函数来将问题转化为对 J 的寻优问题:

$$J = \|y_{M/2} \tilde{T}_{M/2} F_N x\| + \lambda f(x) \quad (14)$$

其中, x 和 $y_{M/2}$ 分别表示原信号和接收到的一个描述的信号, F_N 为 $N \times N$ 的 DCT 变换, $\tilde{T}_{M/2}$ 为 $M \times M$ 大小的一个采样矩阵, 它对应于所接收到的信号 $y_{M/2}$, λ 为常数, $f(x)$ 与 x 的信号模型有关, 在马尔可夫模型下, 可表示为

$$f(x) = \sum_{n=1}^N (x(n) - x(n-1)) \quad (15)$$

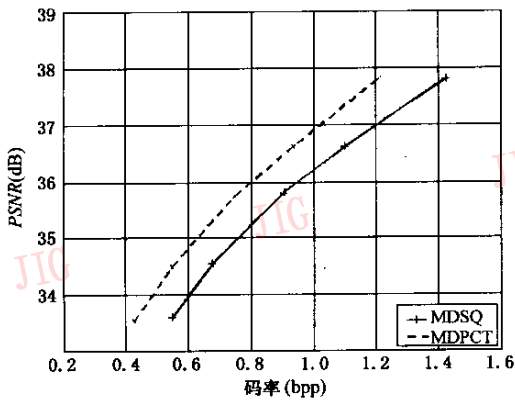
框架扩展(frame expansion)^[30]的方法, 其思想和以上两者相类似, 而基于空间扩展的 MDC 不仅增加了系统的计算量, 尤其是在估计丢失系数时需要进行优化计算, 且计算量随空间扩展的维数加大而增大。

另外还有其他的一些方法, 如与信道编码(FEC)相结合^[31], 空域或变换域分割采样(基于域的多描述图像编码, DC 系数分离)等。其中, 基于域的多描述图像编码方法是先将信号变换到小波空间, 然后对小波空间进行集合分割(亚采样)^[32]; DC

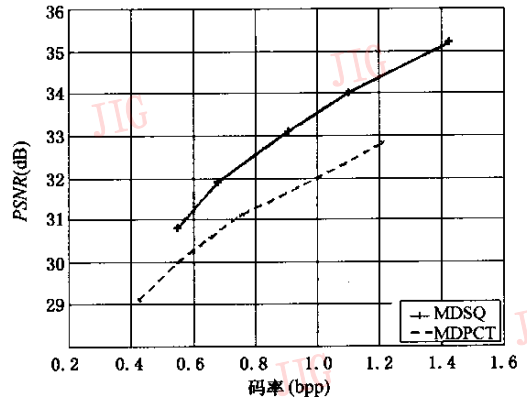
系数分离的方法采用的是在图像 DCT 变换后, 将直流系数分离出来并平分到各描述中, 而对交流系数则进行奇偶取样^[33]。如果只有某些描述正确收到的话, 则通过插值方法来恢复。

4 部分多描述编码方案的实验比较

图 7 为 MDSQ 和 PCT 两种编码方案对 Lena (512×512) 图像进行编码试验的结果比较^[24], 其中图 7(a)为中央信道, 图 7(b)为边沿信道。由图 7 可以看出, 解码图像的信噪比随码率的增大而增大, 并且 MDSQ 边沿信道的性能要明显优于 PCT, 而中央信道的性能则略逊于 PCT。这是因为 PCT 是类似于 JPEG 编码的缘故, 即使冗余度很低, 只要两个描述都收到, 则可以获得和 JPEG 相近的压缩性能, 但如果一个描述丢失, 则只能通过统计信息来估计丢失信息。这和前面的理论分析结果是一致的。



(a) 中央信道的比较



(b) 边沿信道的比较

图 7 MDSQ 和 PCT 两种方案对 Lena 图像编码结果对比

图 8 为文献^[29]中基于 DCT 变换补零的多描述编码方案和 MDSQ 及 PCT 编码方案的边沿信道结果比较。由图 8 可见, 随着补零个数 $M-N$ 的增多(即过采样像素增多), 其边沿信道的性能虽有所改善, 但最后估计丢失数据时, 计算量也呈 N 的平方增长, 这使得用硬件来实现会很变得很困难。

在低码率下, 补零个数少的方案效果要好一些, 这可能是因为, 在估计 x 时, 是以 y 为参照的, 而 y 是 DCT 系数量化后的重建值, 所以在相同码率下, 若过采样像素越多, 则量化步长也越大, 从而导致 x 对原信号的偏差也越大。

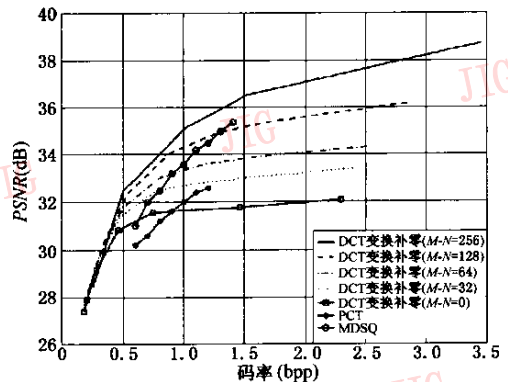


图 8 基于 DCT 变换补零的多描述编码方案与 MDSQ 及 PCT 编码方案的边沿信道结果比较

5 结论和展望

多描述编码的提出与当前信息产业的发展背景是分不开的,因为无论是互联网,还是其他的通讯网络,它们都是资源受限的系统,在网络空闲时,虽可以提供一些较高档次和某些实时业务,但是当网络拥挤时,即使是普通的数据传输,也可能由于数据包差错或丢失而受到影响,而且随着未来网络用户数及多媒体业务量的指数型增长,对网络规模的要求也必然越来越大,这类问题也必然会越来越突出,因此如何在现有技术下获得更高质量的服务是迫切需要解决的问题,如果当前网络结构还不会改变的话(否则另当别论),那么多描述编码作为一个解决此类问题的可选方案依然具有一定的生命力。

另外,从信息论的角度来看,多描述编码最初只是作为一个信息论问题展示在人们面前的,但后来却被应用到信号处理方面。以往数字通信系统较多采用的是信源编码和信道编码相互独立的设计方式,即通过一般的信道编码或技术保护来克服信号传输过程中的受损。这是因为从信息论的角度来看,这样的选择是最优结果,但是其前提是两个编码模块都是最优的,这便也决定了其在实际应用中的局限性,而现实中的互联网和无线移动通信网都是一类易受环境噪声干扰的网络,极易导致较高的误码率,甚至数据包丢失。由于人们发现根据分离理论设计出的这类系统,如果信道性能下降到某个阈值后,则服务质量也会随之突然下降,因此如何在差错控制和压缩效率之间寻求一种平衡,就促使了人们对 JSCC 的研究。正是在这种环境下,多描述编码才被赋予了现实的意义。多描述编码研究的热点现已深入到视频编码领域,它与图像多描述编码的关键区别在于对运动矢量的误匹配问题,但以上图像多描述编码的各种方法也是视频编码的基本方法。

多描述编码作为一种面向网络传输的编码方法虽有其特殊性,但是它并不是独立于现有各种编码方法之上的,它可以和已有的各种成熟方法相结合,比如如果网络对信元提供了优先级的话,那么 MDC 就可以和分层编码相结合,即给基本层以最高优先级,以保证图像最重要信息的可靠传输,而对增强层则采用多描述编码,并送入低优先级信元中传输,虽然它们有丢失和延时的可能性,但这样比单纯的 MDC 能提高编码的效率,同时与分层编码相比也提

高了系统的可靠性。

尽管多描述编码从提出到现在已有 20 多年的历史,但多描述编码真正得到重视也只是随着互联网和移动通信等业务的兴起,国外也是从 1997 年才开始将注意力转移到 MDC 的信号处理方面的应用,故而还有许多问题亟待探讨,包括:

- (1) 目前只有无记忆高斯信源的率失真区域是已知的,而对于记忆信源的情况则还有待研究;
- (2) 多个(两个以上)描述编码的实现及系统结构的优化问题;
- (3) 多描述图像编码算法的设计和优化;
- (4) 多描述编码的方案虽已有多种,但至今没有一个系统的比较工作,而且为获得良好的编码性能,通常也是与其他一些方法相互结合的;
- (5) 由多描述编码所引发的网络流量的增加与所要达到的目的利弊均衡问题;
- (6) 基于感兴趣区域的多描述编码;
- (7) 面向无线网络和互联网传输的信源信道相结合的多描述编码。

参 考 文 献

- 1 Wolf J K, Wyner A D, Ziv J. Source coding for multiple descriptions[J]. *Bell System Technology Journal*, 1980, **59**(8): 1417~1426.
- 2 Ozarow L. On a source-coding problem with two channels and three receivers[J]. *Bell System Technology Journal*, 1980, **59**(10):1909~1921.
- 3 Gamal A A El, Cover T M. Achievable rates for multiple descriptions [J]. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1982, **IT-28**(6):851~857.
- 4 Zamir R. Gaussian codes and Shannon bounds for multiple descriptions [J]. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1999, **45**(7):2629 ~2636.
- 5 Fleming M, Effros M. The rate distortion region for the multiple description problem [A]. In: *IEEE International Symposium Information Theory [C]*. Sorrento, Italy, 2000, 208.
- 6 Fu F W, Yeung R W. On the rate-distortion region for multiple descriptions [J]. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2002, **48**(7):2012~2021.
- 7 Singh R, Ortega A, Perret L, et al. Comparison of multiple description coding and layered coding based on network simulations[A]. In: *Proceedings of SPIE [C]*. San Jose, CA, USA, 2000, **3974**:929~939.
- 8 Kovacevic J. Multiple descriptions as joint source channel codes [EB/OL]. <http://cm.bell-labs.com/jelena/Courses/98-03-30-dec.ps>.
- 9 Vaishampayan V A. Design of multiple description scalar quantizer[J]. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1993, **39**(3):821~834.
- 10 Vaishampayan V A, Domaszewicz J. Design of entropy-

- constrained multiple description scalar quantizers [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1994, **40**(1):245~250.
- 11 Tanya Y, Berger-Wolf, Reingold E M. Index assignment for multichannel communication under failure [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2002, **48**(10):2656~2668.
- 12 Servetto S D, Ramchandran K, Vaishampayan V, *et al.* Multiple description wavelet based image coding [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, **9**(5):813~826.
- 13 Srinivasan M, Chellappa R. Multiple description subband coding [A]. In: IEEE International Conference on Image Processing [C]. Chicago, IL, USA, 1998, **1**:684~688.
- 14 Wang X, Orchard M T. Multiple description using trellis coded quantization [A]. In: IEEE International Conference on Image Processing [C]. Vancouver, CA, USA, 2000, **1**:391~394.
- 15 Fleming M, Effros M. Generalized multiple description vector quantization [A]. In: IEEE Data Compression Conference [C]. Snowbird, UT, USA, 1999:3~12.
- 16 Cardinal J. Design of tree-structured multiple description vector quantizers [A]. In: IEEE Data Compression Conference [C]. Snowbird, UT, USA, 2001:23~32.
- 17 Servetto S D, Vaishampayan V A, Sloane N J A. Multiple description lattice vector quantization [A]. In: IEEE Data Compression Conference [C]. Snowbird, UT, USA, 1999:13~22.
- 18 Vaishampayan V A, Sloane N J A, Servetto S D. Multiple-description vector quantization with lattice codebooks: design and analysis [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2001, **47**(5):1718~1734.
- 19 Goyal V K, Kelner J, Kovacevic J. Multiple description vector quantization with a coarse lattice [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2002, **48**(3):781~788.
- 20 Jiang W, Ortega A. Multiple description coding via polyphase transform and selective quantization [A]. In: Proceedings of Visual Communication and Image Processing [C]. San Jose, CA, USA, 1999:998~1008.
- 21 Miguel A, Mohr A, Riskin Eve A. SPIHT for generalized multiple description coding [A]. In: IEEE International Conference on Image Processing [C]. Kobe, Japan, 1999:842~846.
- 22 Rogers J K, Cosman P C. Wavelet zerotree image compression with packetization [J]. IEEE Signal Processing Letters, 1998, **5**(5):105~107.
- 23 Wang Y, 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.
- 24 Wang Y, Orchard M T, Vaishampayan V, *et al.* Multiple description coding for noisy channels by pairing transform coefficients [A]. In: Proceedings of Workshop on multimedia signal processing [C]. Princeton, New Jersey, USA, 1997:419~424.
- 25 Goyal V K, Kovacevic J, Arian R, *et al.* Multiple description transform coding of images [A]. In: IEEE International Conference on Image Processing [C]. Chicago, IL, USA, 1998, **1**:674~678.
- 26 Goyal V K, Kovacevic J. Generalized multiple description coding with correlating transforms [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2001, **47**(8):2199~2224.
- 27 Wang Y, Reibman A R, Orchard M T, *et al.* An improvement to multiple description transform coding [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2002, **50**(11):2843~2854.
- 28 Chung D, Wang Y. Multiple description image coding using signal decomposition and reconstruction based on lapped orthogonal transforms [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1999, **9**(6):895~908.
- 29 Shirani S, Gallant M, Kossentini F. Multiple description image coding using pre- and post-processing [A]. In: IEEE International Conference on Information Technology [C]. Las Vegas, NV, USA, 2001:35~39.
- 30 Goyal V, Kovacevic J, Vetterli M. Multiple description transform coding: robustness to erasures using tight frame expansions [A]. In: International Symposium on Information Theory [C]. Cambridge, MA, USA, 1998:408.
- 31 Puri R, Ramchandran K. Multiple description source coding through forward error correction codes [A]. In: Proceedings of the 33rd Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers [C]. Pacific Grove, CA, USA, 1999:342~346.
- 32 Bajic I, Woods J. Domain-based multiple description coding for image and video [A]. In: Proceedings of Visual Communication and Image Processing [C]. San Jose, CA, USA, 2002:124~135.
- 33 Razzak M A, Zeng Bing. Multiple description image transmission for diversity systems using block-based DC separation [A]. In: IEEE International Symposium on Circuits and Systems [C]. Sydney, Australia, 2001, **5**:93~96.



张炜 1979年生,中国科学技术大学自动化系硕士研究生。主要研究方向为图像处理、小波分析等。



蒋刚毅 1964年生,宁波大学信息科学与工程学院教授,中国科学院计算所博士生导师,2000年获韩国 Ajou 大学工学博士学位。主要研究领域为图像处理与视频信号编码、多媒体信息传输、基于视觉的智能控制等。

汪增福 1960年生,中国科学技术大学自动化系教授,博士生导师,1992年获日本大阪大学制御工学博士学位。主要从事视听觉信息处理、模式识别和智能机器人方面的研究。

郁梅 1968年生,宁波大学信息科学与工程学院副教授,2000年获韩国 Ajou 大学工学博士学位。研究方向包括多媒体信号处理、编码和传输、计算机视觉及其应用。