

多描述编码研究现状

张 洋 张 楠 尹宝才

(北京工业大学多媒体与智能软件技术北京市重点实验室 北京 100022)

摘 要 研究开发实时、鲁棒的流媒体编码与传输技术已成为当前信息技术的一个热点问题. 多描述编码作为解决该问题的一种方法, 因其在满足数据传输实时性要求的同时可减少数据失真, 受到广泛关注. 文中首先介绍了多描述编码的历史和评价性能指标, 然后详述了多描述编码的研究和进展状况, 包括各类多描述编码方法的思想、框架和特点, 最后对现有研究中存在的难点问题进行了探讨与展望.

关键词 多描述编码; 信息冗余; 重建; 率失真; 分级编码

中图法分类号 TP391

Overview of Researches on Multiple Description Coding

ZHANG Yang ZHANG Nan YIN Bao-Cai

(Beijing Key Laboratory of Multimedia and Intelligent Software Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100022)

Abstract The research on streaming media coding and transmission technology which is real-time and robust, has become a hotspot in current information technology. As a method of solving this problem, multiple description coding (MDC) is concerned widely, due to satisfy the requirement of real-time data transmission and reduce data distortion. This paper firstly introduces the history of MDC and its factors for evaluating performance. Then, it elaborates the research and progress of MDC, including the ideas, frames and characteristics of various kinds of MDC methods. Finally, it discusses the difficult problems on this area.

Keywords multiple description coding (MDC); information redundancy; reconstruction; rate distortion; scalable coding

1 引 言

网络及多媒体技术的发展使流媒体的大规模应用成为可能, 与此同时, 网络环境的复杂化及其导致的图像传输质量的下降又极大阻碍了流媒体服务的发展, 而现有的解决方法均在不同程度上削弱了网络流媒体的实时能力. 因此, 近年来研究开发实时、鲁棒的流媒体编码与传输技术成为当前信息技术的一个热点问题. 多描述编码 (Multiple Description

Coding, MDC) 方案是一种可兼顾数据传输实时性要求, 同时能够解决数据失真问题的编码方法. 它的多描述编码模型如图 1 所示, 将同一图像分解成多个描述, 对每个描述独立编码并通过不同信道传输到解码端. 如果某些信道的数据包出错、丢失或因阻塞延迟而不能正常、实时地到达解码端, 解码器可从其它能够正确接收到的描述中恢复出视觉上可接受的重建图像; 如果所有信道的码流都可被接收到, 则可重建出高质量的图像, 从而使图像传输的鲁棒性得到很大的改善.

收稿日期: 2006-03-22; 最终修改稿收到日期: 2007-02-20. 本课题得到国家自然科学基金 (60572104, 60533030)、北京市自然科学基金 (40410031, 4061001) 和多媒体与智能软件技术北京市重点实验室开放基金资助. 张 洋, 女, 1982 年生, 硕士研究生, 主要研究方向为多描述编码和视频编码. E-mail: eileen0515@emails.bjut.edu.cn. 张 楠, 女, 1974 年生, 博士研究生, 主要研究方向为图像/视频编码及其应用. 尹宝才, 男, 1963 年生, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为计算机视觉、模式识别、计算机图形学、虚拟现实、多媒体技术.

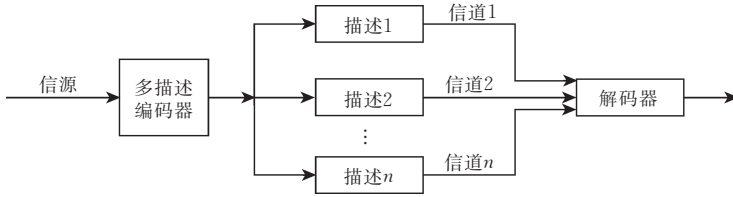


图 1 多描述编码模型

多描述编码起源于 20 世纪 70 年代,是由美国贝尔实验室在研究电话网络中的语音编码问题时提出的^[1].起初,Miller 提出根据语音的频谱衰败特性,将语音子采样成分别包含奇数样本和偶数样本的两组样本,并通过两个单独的链接或路径分别传送一组样本.如果数据无损耗,可合并这两组数据,获得通常的声音质量;如果有损耗,则可通过部分无损的数据获得低的声音质量.1978 年,这一想法在贝尔实验室开始流行,主要应用在语音编码和信息理论中. Jayant 在语音编码中先将语音分离成存在冗余的奇偶两组样本,再用差分脉冲编码对它们分别进行压缩,并通过两个分离的信道分别传送.它可在只收到单组样本的情况下预测另一组样本.其后,Reudink 采用标量量化方法,提出不增加大量码率、又不完全依赖于信源样本预先存在的冗余的信道分裂技术. Reudink 也发展了对相关信源的技术,成为 Gersho 的工作基础. Gersho 提出了使用 Goodman 的方法进行信道分裂,即一个信道携带偶数样本的最重要位和奇数样本的不重要位,另一个信道携带奇数样本的最重要位和偶数样本的不重要位.与此同时, Wyner, Witsenhausen, Wolf 和 Ziv 由信道分裂引发了信息论的问题^[1-2].如信源由两个分离的描述来表示时,对这些分开或联合的描述在质量方面的共同限制是什么? 这样的问题最终成为了多描述问题.

多描述的应用非常广泛^[1],在媒体方面,它可以应用到各种通讯媒体上,如分包网络、分布式存储、混合数字广播等;在数据方面,它也可以应用到多种类型的数据上,如音频、图像、视频等.

本文第 2 节对评价多描述编码方法性能的相关指标做了介绍;第 3 节详述多描述编码的各类方法,包括多描述量化编码、多描述变换编码、基于运动补偿的多描述编码、基于空间扩展的多描述编码、基于空间下采样的多描述编码和多描述分级编码等方法;第 4 节是本文的总结和展望.

2 多描述编码的性能评价

对于给定的信源,所设计的多描述编码系统的

性能如何,需要有一定的指标进行评价,这些常用的指标主要有:冗余率失真函数、码率失真函数、编码失真、重建失真、主观质量、比特率、编码复杂度等.在此,着重介绍冗余率失真函数、码率失真函数以及率失真区域.

冗余率失真函数是衡量多描述编码方法的冗余效率的重要指标^[3].其中,冗余 ρ 定义为

$$\rho = R - R^* \quad (1)$$

R 表示多描述编码的码率, R^* 表示达到相同中央信道信噪比下单描述编码的码率.假设 D_0 表示中央信道(多描述)失真, D_1 表示在两信道具有相同丢包率下的平均边缘信道(单描述)失真,则 R^* 还可以定义为取得中央信道失真 D_0 的最低码率.率失真函数 $\rho(D_1; D_0)$ 描述了在中央信道失真为 D_0 的条件下获得边缘信道失真为 D_1 所需要的冗余 ρ .同理,率失真函数 $D_1(\rho; D_0)$ 描述了在冗余为 ρ 、中央信道失真为 D_0 的条件下可获得的边缘信道失真 D_1 .

类似的,码率率失真函数也是衡量多描述编码方法性能的重要指标^[1].它描述了码率与失真之间的关系.多描述率失真区域是指在多描述编码中同时获得的码率和失真的封闭集合.率失真函数 $R(D)$ 是在率失真区域中失真为 D 时可获得的最小码率.同理,率失真函数 $D(R)$ 是在率失真区域中码率为 R 时可获得的最小失真.

对于两个描述的情况,多描述率失真区域是可获得的五元组 $(R_1, R_2, D_0, D_1, D_2)$ 的封闭集合^[1]. R_i 是第 i 个描述编码的码率; D_i 是第 i 个边缘信道失真, $i=1, 2$; D_0 是中央信道失真.对该区域的最简单约束为

$$R_1 + R_2 \geq R(D_0) \quad (2)$$

$$R_i \geq R(D_i), \text{ for } i = 1, 2 \quad (3)$$

对于任意无记忆信源的有界失真 (D_0, D_1, D_2) , Gamal 和 Cover 在文献[2]中给出了具有信息论特征的可达到的码率区域的内界^[2]:

$$R_1 > I(X; \hat{X}_1) \quad (4)$$

$$R_2 > I(X; \hat{X}_2) \quad (5)$$

$$R_1 + R_2 > I(X; \hat{X}_0, \hat{X}_1, \hat{X}_2) + I(\hat{X}_1; \hat{X}_2) \quad (6)$$

其中, $I(\cdot)$ 表示香农信息. 文献[2]中还指出该内界对于确定的失真度量是最优的.

针对方差为 σ^2 的无记忆高斯信源, 多描述率失真区域 $(R_1, R_2, D_0, D_1, D_2)$ 满足^[1]

$$D_i \geq \sigma^2 2^{-2R_i}, \text{ for } i=1, 2 \tag{7}$$

$$D_0 \geq \sigma^2 2^{-2(R_1+R_2)} \cdot \gamma_D(R_1, R_2, D_1, D_2) \tag{8}$$

其中, 如果 $D_1 + D_2 > \sigma^2 + D_0$, 则 $\gamma_D = 1$; 否则^[1]

$$\gamma_D = \frac{1}{1 - (\sqrt{(1-D_1)(1-D_2)} - \sqrt{D_1 D_2 - 2^{-2(R_1+R_2)}})^2} \tag{9}$$

式(8)表明中央失真必须超过乘以因数 γ_D 后所得的失真码率的最小值. 当一个或两个边缘失真很大时, 令 $\gamma_D = 1$ 可以得到一个很好的中央重建值. 若假设 $R_1 = R_2 \gg 1$ 且 $D_1 = D_2 \approx 2^{-2(1-\nu)R_1}$, $0 < \nu \leq 1$, 则可将 γ_D 估计为 $(4D_1)^{-1}$, 此时式(8)说明中央失真和边缘失真乘积的指数边界.

在文献[4]中, Ozarow 证明了文献[2]中给出的可达到的码率区域是严紧的, 即多描述率失真区域正好是文献[2]中可达到码率区域的最大集合.

随后, Ahlswede 指出, 当 $R_1 + R_2 = R(D_0)$, Gamal 和 Cover 给出的可达到码率区域的内界是严紧的^[5].

Zhang 和 Berger 证明^[6], 当式(2)两边相等时, $D(R_1, R_2, D_0)$ 边界的一部分与曲线

$$\left(\frac{1}{2} + D_1 - 2D_0\right)\left(\frac{1}{2} + D_2 - 2D_0\right) = \frac{1}{2}(1 - 2D_0)^2$$

一致; 当式(2)大于号成立时, Gamal 和 Cover 的可达到码率区域是不严紧的.

Zimir^[7] 利用高斯信源的多描述率失真区域, 针对方差为 σ_x^2 的一般无记忆信源, 给出了多描述率失真区域的内界和外界:

$$D(\sigma_x^2, R_1, R_2) \leq D(R_1, R_2) \leq D(P_x, R_1, R_2) \tag{10}$$

其中, P_x 是信源的熵功率. $D(\sigma^2, R_1, R_2)$ 是 Ozarow 给出的方差为 σ^2 的高斯信源的多描述率失真区域. 实际上, Zimir 将率失真函数的 Shannon 上下边界扩展到了多描述中.

针对记忆平稳高斯信源, 文献[8]给出了近似的

多描述率失真区域, 并证明它的高码率时趋于严紧. 该区域涵盖了 Gamal-Cover 和 Ozarow 针对无记忆高斯信源的多描述率失真区域.

文献[9]给出了 L 个信道的一般多描述率失真区域的内界, 即它将两信道的率失真区域扩展到多个信道. 该区域涵盖了文献[2]和文献[6]中的结果. 此外, 文献[9]还在具有均方误差的无记忆高斯信源下得到了其率失真区域的外界, 并且证明在信道的码率和失真对称情况下可达到的码率区域满足该外界条件.

3 多描述编码的主要方法

现有的多描述编码方法大致可以分为多描述量化编码、多描述变换编码、基于运动补偿的多描述编码、基于空间扩展的多描述编码、基于空间下采样的多描述编码和多描述分级编码等六类方法.

3.1 多描述量化编码

多描述量化的基本思想是对信源进行不同精度的量化, 产生不同的量化结果. 如仅有单个描述时, 可得到略粗糙的量化结果; 而获得多个描述时, 可得到精细的量化结果. 多描述量化可分为多描述标量量化和多描述矢量量化两种.

3.1.1 多描述标量量化编码

早在 1993 年 Vaishampayan 就设计了具有好的渐进特性的多描述标量量化器 (MDSQ)^[10]. 两描述标量量化编码结构如图 2 所示. x 是来自信源的样本, 经过编码器得到索引 l , 再通过索引匹配器 $a(\cdot)$ 将 l 匹配为索引对 (i, j) . 它相当于利用量化器 Q_1, Q_2 进行不同精度的标量量化, 得到 i, j , 如图 3 所示. i, j 相当于索引匹配器产生的两个描述, 分别通过信道 1、信道 2 传送. 在解码端, 如果收到两个索引 i, j , 即两个描述都收到, 则利用中央解码器 g_0 、采用量化器 Q_0 解码出质量高的重建值 \hat{x}_0 . 如果只收到 $i(j)$, 即只收到一个描述, 则利用边缘解码器 $g_1(g_2)$ 、采用量化器 $Q_1(Q_2)$ 解码出质量可接受的重建值 $\hat{x}_1(\hat{x}_2)$.

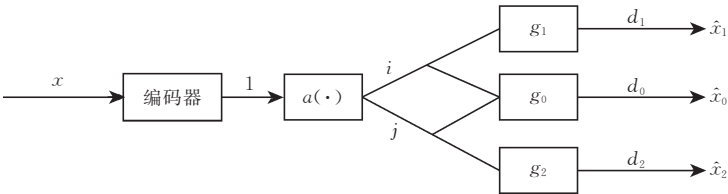


图 2 两描述标量量化编码结构

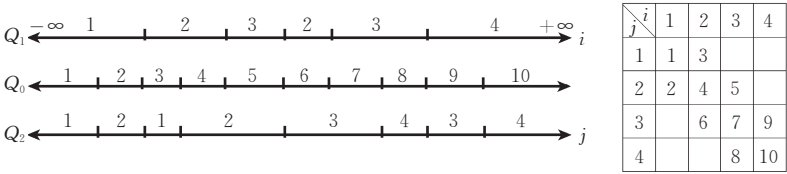


图 3 两描述标量量化形式

1994 年, Vaishampayan 在原有的基础上进行了改进, 采用变长码代替了定长码, 提出受熵约束的 MDSQ(ECMDSQ)^[11], 避免了固定大小的码书. 但 MDSQ 与 ECMDSQ 的编码复杂性较高. 2002 年, 这种方法扩展到两个以上的描述情况^[12]. 它对 MDSQ 使用需要训练码书的非统一的中央量化器, 即通用多描述标量量化器(UMDSQ), 可以获得中央失真和边缘失真之间连续的折中点^[13], 达到具有最优码书的 ECMDSQ 的性能和较低的复杂度. 2003 年, Gavrilescu 等提出嵌入式多描述标量量化器^[14]. 它使用多描述统一标量量化(MDUSQ)以达到在不可靠信道上鲁棒且渐进地传输, 并采用嵌入式的索引分配策略以改善渐进传输信息的率失真性能. 如图 4 所示, 嵌入式多描述标量量化器的中央、边缘率失真性能都比 MDSQ 的好.

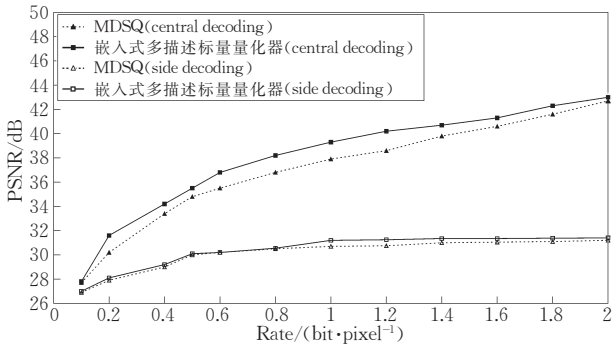


图 4 嵌入式多描述标量量化器与 MDSQ 的中央、边缘率失真性能比较 (Lena 512×512)

3.1.2 多描述矢量量化编码

多描述矢量量化(MDVQ)是多描述标量量化的扩展, 但其性能较优. 多描述矢量量化主要有直接矢量^[15]、树形矢量^[16]和格型矢量量化^[17-18]等三种.

1991 年, Vaishampayan 提出了两信道多描述矢量量化器^[15]. 该方案块图如图 5. 矢量 \mathbf{X} 经过编码器 α 得到索引对 $(index_1, index_2)$. 再将其分别通过 γ_1, γ_2 映射为变长二进制码 ω_1, ω_2 , 并经不同的信道传送到解码端, 然后通过 $\gamma_1^{-1}, \gamma_2^{-1}$ 反映射为 $index_1, index_2$. 如果在解码端收到两个索引 $index_1, index_2$, 则利用 β_0 解码出 y_0 . 如果只收到 $index_1$ ($index_2$), 则利用 β_1 (β_2) 解码出 y_1 (y_2).

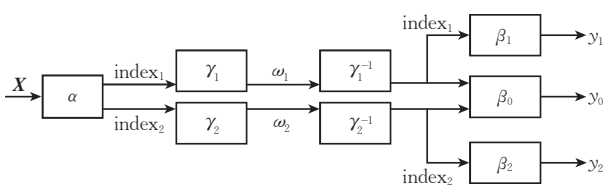


图 5 两信道多描述矢量量化块图

2001 年, Cardinal 提出了基于树形矢量量化的方法——树结构多描述矢量量化器(TS-MDVQ)^[16]. 一个 TS-MDVQ 由一个三元树组成 (T_0, T_1, T_2) , 如图 6 所示. T_0 为中央树, T_1, T_2 为边缘树, 都以二元树的形式组织. 二元树中的每个结点相应于一个原矢量复本. 处于深层的结点的原矢量复本的质量较高. 中央树中的每个结点对应于每个边缘树中的一个结点, 即对应于一对结点. 该方法具有线性复杂性.

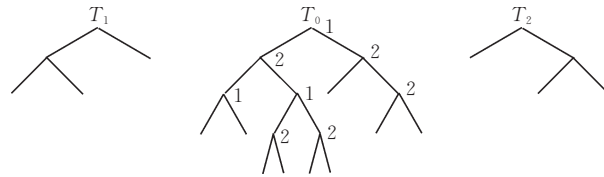


图 6 TS-MDVQ 的三元树

1999 年, Servetto 提出了一种基于格的多描述矢量量化——多描述格型矢量量化(MDLVQ)^[17]. 它通过矢量索引分配函数 l 将每个格点映射成两个粗量化的子格点. 即对于每个格点 $\lambda \in \Lambda$, 有

$$\Lambda \xrightarrow{l} l(\Lambda) \subset \Lambda' \times \Lambda' \tag{11}$$

其中, Λ 表示一个格, Λ' 表示与 Λ 几何相似但粗量化的子格. l 是一个单射函数. $N = |\Lambda/\Lambda'|$ 控制了多描述的冗余量. 当解码端只收到一个子格即描述时, N 越大则恢复出原格点的准确性越差. 当收到两个子格时, 则可高质量地恢复出原格点. 其优点是构造码书比较简单.

2001 年, Vaishampayan, Sloane 和 Servetto 设计出了针对对称信道的多描述格型矢量量化器^[18]. 它将矢量 \mathbf{x} 量化为格 Λ 中最近的格点 λ , 再通过索引分配函数将格点 λ 映射成两个粗量化的子格点, 并经不同的信道传送到解码端. 此方案解决了一般格子的矢量索引分配问题, 并通过公式推导出其性能可以逼近多描述率失真的边界.

3.2 多描述变换编码

多描述变换编码(MDTC)通过对信源数据应用变换,为描述引入冗余信息.丢失描述时,可利用收到的描述和其中的冗余信息估计丢失的描述.多描述变换编码主要包括对变换多描述编码、多描述相关变换编码、一般多描述变换编码和基于多相变换的多描述编码等.

3.2.1 对变换多描述编码

1997 年,Wang 等人提出使用对变换的多描述编码方法^[19-20].它对系数进行对变换,即以一定角度旋转 KLT 或 DCT 变换中两个基向量,使系数对间获得相应的相关量.然后将每对系数分成两个描述,通过不同的信道传送.在接收端,如果仅收到一个描述,则利用描述间相关性,估计丢失的描述.

2001 年,Wang 等人又对上一方法进行了改良^[21].对相关变换结构如图 7 所示.它先使用 KLT (DCT)变换去掉输入变量之间的相关性.再将 N 个 KLT(DCT)系数按对分组:将系数按方差大小递减排列,取方差大于预定阈值即最大估计错误的前 L 个系数,把第 k 个系数与第 $L-k$ 个系数配成对.然后对每对系数应用对相关变换(PCT)使其相关.设 A, B 为输入变量, C, D 为输出变量,对相关变换矩阵为 T ,则有

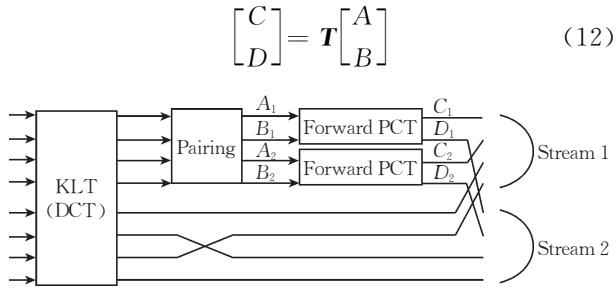


图 7 对相关变换结构

接着,通过不同信道分别传送 C, D . 对于其余的 $N-L$ 个系数,则在量化后按奇偶分离的原则分别置入不同的流中.如果只收到一个描述,则可利用变换产生的相关性估计另一个描述.其特点是引入

小量的冗余即可显著提高性能,但只适用于两描述的情况.

3.2.2 多描述相关变换编码

Goyal 等人在 1998 年^[22]、2001 年^[23]提出了使用相关变换的多描述编码方法.它相当于将对变换多描述编码方法一般化.首先将信源矢量 x 标量量化为 x_q ,再经离散变换(式(13))获得矢量 y .其中, \hat{T} 是连续变换 T 的离散变换,且 $\det T=1$. T 是 k 个主对角线元素为 1 的上三角和下三角单位矩阵的乘积(式(14)). $[\]_{\Delta}$ 表示步长为 Δ 的量化取整.然后将 y 的分量划分为 M 个集合,形成 M 个描述.在解码端,如果只收到部分描述,则使用变换引进的统计相关性估计出丢失的描述,然后通过 \hat{T} 的逆变换(公式(15))解出 \hat{x} .

$y = \hat{T}(x_q) = [T_1[T_2 \cdots [T_k x_q]_{\Delta}]_{\Delta}]_{\Delta}$

(13)

$T = T_1 T_2 \cdots T_k$

(14)

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

(15)

此外,Goyal 等人还提出一个级联的系统结构用于设计两信道以上的多描述编码.以四信道的多描述编码为例,如图 8 所示, $T_{\alpha}, T_{\beta}, T_{\gamma}$ 为三个变换矩阵.

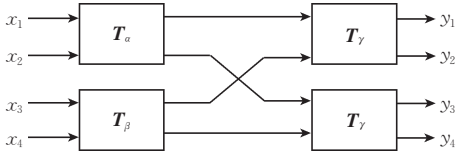


图 8 四信道多描述变换编码的级联结构

3.2.3 一般多描述变换编码

Wang 等人在 2002 年发展了 MDTC 的一般化方案(GMDTC)^[24].两描述的 GMDTC 框架如图 9 所示.低冗余时,传送 A, B 经对相关变换 PCT 获得的 \bar{C}, \bar{D} ;而高冗余时,则在单信道中传送变量 $\bar{C}(\bar{D})$ 和对另一个变量的预测残差 $\bar{C}^{\perp}(\bar{D}^{\perp})$. $C^{\perp} = \bar{D} - \hat{D}(\bar{C})$, $D^{\perp} = \bar{C} - \hat{C}(\bar{D})$.在解码端,当收到两个描述时,则忽略 $\bar{C}^{\perp}, \bar{D}^{\perp}$,利用 \bar{C}, \bar{D} 解码;只收到单描述时,则利用 $\bar{C}, \bar{C}^{\perp}(\bar{D}, \bar{D}^{\perp})$ 解码.

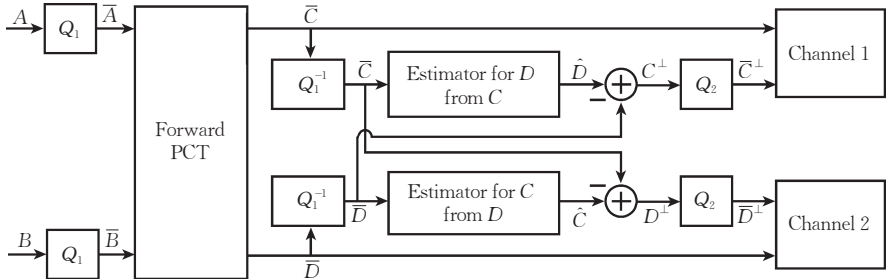


图 9 两描述的 GMDTC 框架

图 10^[24] 比较了理论边界、MDTC 与 GMDTC 的冗余率失真性能。从图中可以看出,MDTC 的性

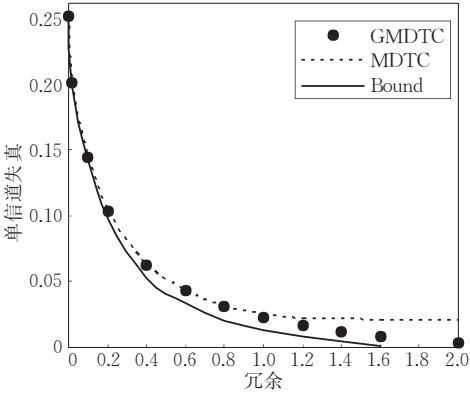


图 10 理论边界、MDTC 与 GMDTC 的冗余率失真性能比较

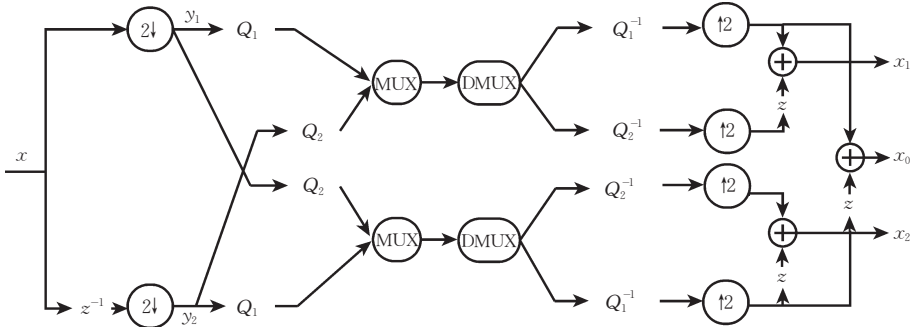


图 11 基于多相变换和选择量化的两描述编码系统框架

首先对输入 x 进行多相变换,获得两个子源 y_1, y_2 ,再对 $y_1(y_2)$ 用 Q_1 精细量化,以信源码率进行编码,并与对 $y_2(y_1)$ 用 Q_2 粗糙量化,以较低的冗余码率编码后的信息一起复合成一个码流,通过一个信道传输。在接收端,如果收到两信道的信息,则使用其中的两个精细量化数据进行重建。如果只收到单信道的数据,则使用其中一个精细量化和一个粗糙量化数据进行重建。

3.3 基于运动补偿的多描述编码

基于运动补偿的多描述编码是根据视频编码使用运动补偿来消除帧间冗余的特点,设计多个预测环进行多描述编码。

1999 年,Reibman 等人提出了使用运动补偿预测的多描述视频编码器^[26-27]。它复制边缘信息和运动向量到两个信道中去,而对原始块和预测错误块的信息进行多描述变换编码,并建立 3 个分开的预测环。其编码框架如图 12 所示。其中,3 个帧缓冲区分别存储之前从两个描述和两个从单描述重建的帧。 X 为输入信息。 $P_i(i=0,1,2)$ 是基于重建的运动向量和前帧产生的预测信息。 P_0 为中央预测, P_1, P_2

能在小冗余范围内逼近理论边界、呈指数衰退,但从中冗余开始变得平稳,并最终趋于非零值。而 GMDTC 的性能在小冗余范围内呈指数衰退,与 MDTC 类似,逼近理论边界。但它在在大冗余范围内继续以指数速度衰退,与 MDTC 相比更加接近理论边界。因此, GMDTC 克服了 MDTC 方案在大冗余时的低效率,其冗余率失真性能接近了整个冗余范围内的理论边界。

3.2.4 基于多相变换的多描述编码

1999 年,Jiang 等人提出了基于多相变换和选择量化的多描述编码^[25]。它将产生描述与选择量化分开,降低了系统的复杂性。其两描述编码系统框架如图 11 所示。

为边缘预测。中央预测环中,将预测错误 $F=X-P_0$ 多描述变换(EMDC)编码成 \bar{F}_1, \bar{F}_2 。 \hat{F}_1, \hat{F}_2 由多描述变换解码得到。边缘预测环中,对边缘预测错误 $G_i=X-P_i-\hat{F}_i$ 进行编码,以降低编码器与解码器间的失配。在解码端,该方案还模拟了三种可能的场景,即一种收到两描述和两种收到单描述的场景。它在大范围冗余情况下能取得可接受的视频质量。

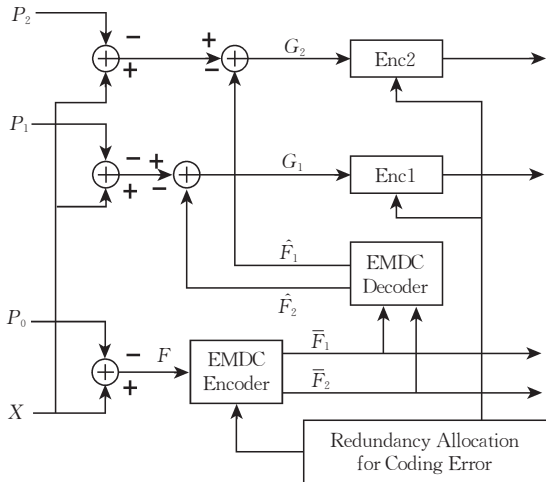


图 12 使用运动补偿预测的多描述视频编码器框架

2000、2001 年, Kim 等人提出针对视频的多描述运动编码(MDMC)^[28-29], 加强了运动矢量场的鲁棒性. 它先根据当前帧和解码出的前帧、按块估计运动矢量场, 再使用图 13 的梅花子采样方法将运动矢量场分成两个粗糙的场, 编码成两个描述, 并通过不同的信道传送. 解码端根据信道条件提供不同运动补偿的预测图像. 其中使用了重叠块运动补偿^[30]技术, 即用重叠加权窗口将一个块的运动矢量应用到一个更大的像素集上. 块中的像素通过前帧中多个像素的权和来预测. 像素集的位置则由本块和邻近块可获得的运动矢量来确定.

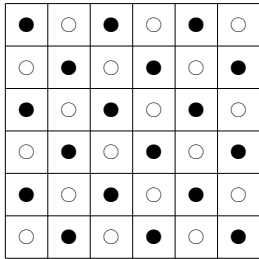


图 13 梅花子采样

2002 年, Wang 等提出利用二次预测运动补偿和编码误匹配信号的多描述视频编码方法^[31]. 二次预测运动补偿是通过编码的前两帧来预测当前帧, 编码误匹配信号是对编码器与解码器的预测帧间的失配编码, 二者都避免了错误的传播. 由于单个描述只包含奇帧或偶帧, 因而只收到一个描述(假设含有偶帧的描述)时, 解码器只使用之前的偶帧进行预测.

2005 年, Nicola 等人又提出了两个多描述视频编码方案^[32]. 它们都基于运动补偿预测环, 利用多相下采样技术产生多描述, 并通过运动预测引进前后描述间的冗余.

第一个方案是漂移补偿多描述视频编码器(DC-MDVC). 其结构如图 14. 为改善编解码器预测环间的不匹配, 它以文献[26-27]中的方法为基础, 在编码端引进了三个预测环, 以对应解码端的三种情况. 不同的是, 它在边缘预测环中使用重建的帧 P_0^n 代替原帧 X 作为新的参考帧. 编码端的三个参考帧缓存器存储之前从两个描述重建帧 P_0^{n-1} 、从描述 1 重建帧 P_1^{n-1} 和从描述 2 重建帧 P_2^{n-1} . 中央预测环中, 当前帧 X 与 P_0^{n-1} 做差产生预测误差 e^n , 再使用多相下采样多描述(PDMD)编码, 产生两个描述. PDMD 解码器则根据描述分别重建出 $\hat{e}^n, \hat{e}_1^n, \hat{e}_2^n$. 边缘预测环中, 使用漂移补偿方法将两个描述重建的帧与单个描述重建的前帧作差运算, 再与边缘重建

\hat{e}_1^n 或 \hat{e}_2^n 相减, 避免了错误的传播. 另外, 它还应用冗余分配策略来分配冗余.

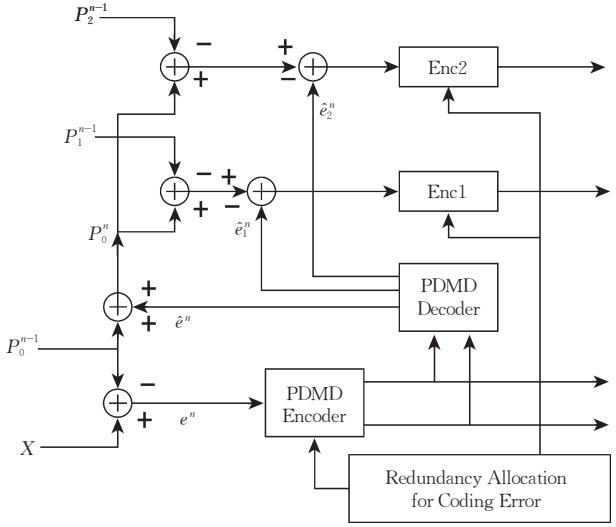


图 14 DC-MDVC 结构

第二个方案是独立流多描述视频编码器 (IF-MDVC). 它将多描述块 MD 置于运动预测之前, 产生多个独立的流, 再进行独立编码. 如果解码端丢失描述, 则可采用时间或空间隐藏方法估计丢失的数据. 图 15 为两描述的 IF-MDVC 结构. IF-MDVC 也可以产生多于两个的描述. 它的编码效率虽然略低于 DC-MDVC, 但只需传送较少的运动向量.

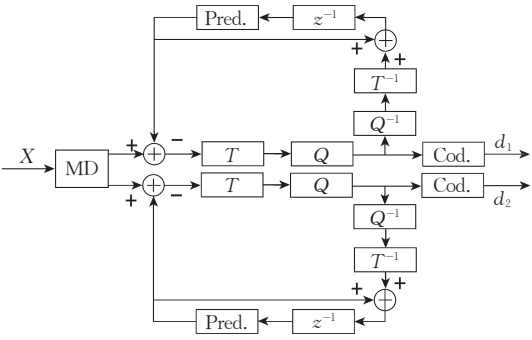


图 15 两描述的 IF-MDVC 结构

3.4 基于空间扩展的多描述编码

基于空间扩展的多描述编码是对原信号进行某种变换, 使其在空间上进行扩展、引入描述间的相关性, 形成多个描述. 目前, 框架扩展的多描述编码、重叠正交变换多描述编码、基于 DCT 变换补零的多描述编码可划归在此类中.

3.4.1 框架扩展的多描述编码

1998 年, Goyal 等人提出框架扩展的多描述编码方法^[33-34]. 它通过线性变换将原始矢量 x 从 n 维扩展为 m 维矢量 y ($m > n$), 再进行标量量化, 最后

所得矢量中的 m 个分量作为 \mathbf{x} 的不同描述传送. 当接收端获得小于 n 的 k 个描述时, 则将 $n-k$ 个未知描述估计为 0, 再根据线性规则重建矢量. 该方案较适合于丢失描述不易被预测的情况, 但计算量较大.

3.4.2 重叠正交变换多描述编码

1999 年, Chung 和 Wang 实现了重叠正交变换的多描述编码^[35]. 它通过对信号进行重叠正交变换 (LOT) 来引入系数间的相关性, 并对变换后的信号进行亚采样, 形成多描述. 假设, 将 $2N \times 2N$ 的样本块变换为长度为 $N \times N$ 的系数块, LOT 的矩阵 $\mathbf{T} = [\mathbf{A}_0 \ \mathbf{A}_1]_{N \times 2N}$, 其中 \mathbf{A}_0 和 \mathbf{A}_1 为 $N \times N$ 矩阵, 它们满足如下正交条件:

$$\begin{aligned} \mathbf{A}_0^T \mathbf{A}_0 + \mathbf{A}_1^T \mathbf{A}_1 &= \mathbf{A}_0 \mathbf{A}_0^T + \mathbf{A}_1 \mathbf{A}_1^T = \mathbf{I}_{(N \times N)}, \\ \mathbf{A}_0^T \mathbf{A}_1 &= \mathbf{A}_1^T \mathbf{A}_0 = \mathbf{A}_0 \mathbf{A}_1^T = \mathbf{A}_1 \mathbf{A}_0^T = \mathbf{0}_{(N \times N)} \end{aligned} \quad (16)$$

另 $\mathbf{F}(k, l)$ 代表第 (k, l) 个 $2N \times 2N$ 像素块. 正交变换如式 (17). 其中, $\mathbf{C}(k, l)$ 是 $\mathbf{F}(k, l)$ 正交变换后 $N \times N$ 的 LOT 系数块. 由于信号为重叠采样, 如图 16 所示, $\mathbf{F}(k, l)$ 与 $\mathbf{F}(k \pm 1, l \pm 1)$, $\mathbf{F}(k, l \pm 1)$, $\mathbf{F}(k \pm 1, l)$ 有重叠, 因而 $\mathbf{C}(k+i, l+j)$, $i, j = -1, 0, 1$, 都包含 $\mathbf{F}(k, l)$ 的信息.

$$\mathbf{C}(k, l) = \mathbf{T} \mathbf{F}(k, l) \mathbf{T}^T \quad (17)$$

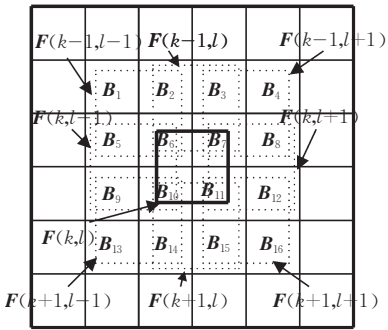


图 16 重叠采样

在解码端, 如果收到全部描述, 即系数块, 则使用反 LOT 变换重建信号. 如果丢失了部分系数块, 则利用邻近 LOT 系数块和普通图像信号光滑属性之间的约束, 将重建问题转化为能量最小化问题. 该方案可以灵活处理各种系数块丢失的情况、恢复出

光滑的图像.

3.4.3 基于 DCT 变换补零的多描述编码

2001 年, Shirani, Gallant 和 Kossentini 提出了 DCT 变换补零的多描述编码方案^[36]. 它利用上采样为原始图像数据添加冗余, 然后将上采样后的图像按奇偶采样划分成多个子图像, 形成多描述, 再进行编码. 其中, 上采样图像时, 使用了 DCT 变换补零的方法, 如图 17 所示: 首先对输入的图像进行二维 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 ($M > N$), 再进行反 DCT 变换得到上采样图像. 如果某个描述丢失, 则可将重建问题转化为最小化代价函数问题, 取得很好的性能.



图 17 上采样过程

2002 年, Nicola 等人对上一方法进行了改进^[37]: 在 DCT 变换后补入适当数量的零, 控制所引入的相关性, 以得到尽可能好的重建图像质量. 它通过式 (18) 得到最优补零数量 M_{OPT} , 以最小化中央失真和边缘失真. 其中, $PSNR$ 是两变量函数, i 为接收到描述的情况, M 为补零数量. $d(i)$ 为传送 N 个包、丢失 $N-i$ 个包的可能性.

$$M_{OPT} = \arg \max_M \left\{ \sum_{i=1}^N PSNR(i, M) \cdot d(i) \right\} \quad (18)$$

2003 年, Olmo, Tillo 根据前两方法, 提出了基于 DCT 补零的方向多描述方案^[38], 更好地开发了空间数据结构, 改善了对丢失描述的估计. 在编码端, 对图像按最好的相关性方向进行扩展, 即 DCT 变换、补零、反 DCT 变换. 然后按奇偶行生成两个描述. 在解码端, 如果只收到一个描述 (如图 18), 则进行上采样, 并估计丢失信息, 然后按被扩展的方向进行 DCT 变换, 并补零为原图的两倍; 再进行反 DCT 变换, 最后对奇偶行取均值、获得恢复图像.

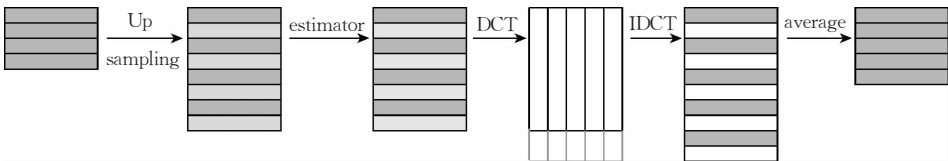


图 18 方向多描述方案 (解码端, 只收到一个描述)

3.5 基于空间下采样的多描述编码

基于空间下采样的多描述编码是通过空间下采

样将原图像划分成多幅子图像, 然后对它们进行独立编码, 通过不同信道传送到解码端. 梅花分割则是

空间下采样方法的一种。

2005 年,张楠提出针对梅花分割图像使用方向提升小波变换的多描述编码方法^[39]。其框架如图 19 所示。首先使用梅花分割方法将输入图像 I 分成两个子图 I_{sd1} 和 I_{sd2} 。然后将每个子图作为描述、进行方向提升小波变换和编码,并通过不同信道传送到

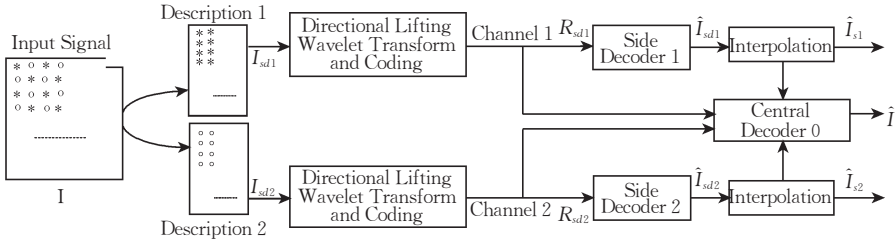


图 19 基于梅花分割的多描述编码系统框架

3.6 多描述分级编码

分级编码是将码流分成可以单独解码的基本层码流和增强层码流。基本层码流能够适应较低的网络带宽,提供基本的重建质量图像;而增强层码流能够覆盖一定动态变化范围的网络带宽,提供从基本重建质量到接近无损的重建质量图像^[40-41]。精细分级的码流还能够任意位置被截断,以提供连续变化的重建图像质量和码率,从而适应网络带宽的变化。

多描述分级编码的基本思想是将多描述编码方法与分级编码方法相结合,提供更好的质量自适应的流媒体传输,取得互补的效果。近几年,多描述分级编码的研究者先后提出了多描述分层编码、基于运动补偿时域滤波的多描述可分级编码和分层多描述分级编码。

3.6.1 多描述分层编码

2003 年,Chou 等人^[42]把分层编码和多描述编码结合起来,构建了分层多描述编码,以达到在不可靠信道上鲁棒地传输,并适应用户带宽异构和网络拥塞的情况。其中,它将基本层描述传送给低带宽的用户,而将基本层和增强层的描述传送给高带宽的用户。低带宽的用户所获得的图像质量与所接收到的基本层描述的数量呈正比关系,而高带宽的用户所获得的图像质量则与所接收到的基本层描述和增强层描述的数量呈二元正比关系。该方案兼具了分层编码和多描述编码的优点。

随后,Wang 等人^[43]提出了一种具有反馈的多描述分层编码系统,为更多不同的网络情况 and 应用需求提供了可靠的视频传输。它在分层编码的基础

上,为每一层引入冗余,增加了接收到至少一个基本层描述的可能性,并使总体冗余量与信道的情况相适应。与分层编码、多描述编码相比,该系统能在不可靠网络上提供更加鲁棒、有效的视频通信。

该多描述分层编码结构如图 20 所示。在编码端,它使用多描述基层编码器产生了两个基本层描述 $BL1$ 和 $BL2$ 。然后,多描述基层解码器模拟了接收端三种可能的解码情况:收到两个基本层描述和只收到其中一个基本层描述。对于收到两个基本层描述的情况,基层解码器将产生基本层重建 \hat{S} ,增强层编码 0 再对原始输入视频 S 与 \hat{S} 的差进行编码,产生增强层信息 $EL0$;对于收到只有一个基本层描述的情况,基层解码器则产生低质量的重建 \hat{S}_1 或 \hat{S}_2 ,增强层编码 1 或增强层编码 2 再对 $S - \hat{S}_1$ 或 $S - \hat{S}_2$ 进行编码,产生增强层信息 $EL1$ 或 $EL2$ 。接着,发送端将根据信道的情况发送不同的信息给接收端。如果信道损失较低,发送端将只发送一个基本层描述和相应的增强层信息给接收端。当信道情况变差时,发送端将发送两个基本层描述和它们的增强层信息给接收端,以达到最大的保护。如果收到两个基本层描述的可能性很大,发送端将只发送增强层信息 $EL0$,以降低冗余。另外,发送端也会根据传输反馈信息重发信息,以保证传输质量。在解码端,多描述基层解码器可以根据收到的基本层描述情况产生基本层重建 \bar{S} 。增强层开关也根据收到的基本层描述情况选择相应的增强层码流 EL 传送给增强层解码器解码。最后,解码的基本层信息和增强层信息结合起来产生最终的重建视频。

上,为每一层引入冗余,增加了接收到至少一个基本层描述的可能性,并使总体冗余量与信道的情况相适应。与分层编码、多描述编码相比,该系统能在不可靠网络上提供更加鲁棒、有效的视频通信。

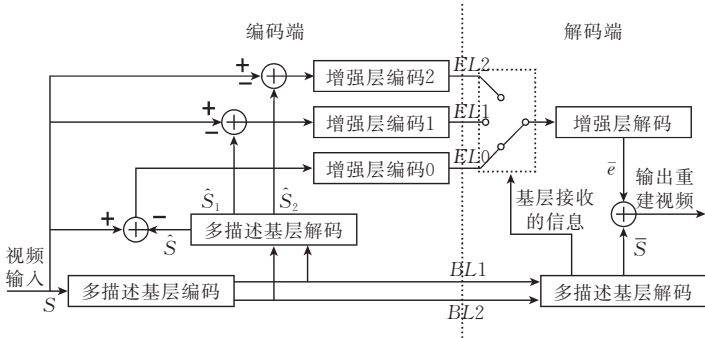


图 20 多描述分层编码结构

3.6.2 基于运动补偿时域滤波的多描述可分级编码

文献[44]提出一种基于运动补偿时域滤波(MCTF)的多描述可分级编码方案. 它根据网络情况将运动补偿时域滤波后的视频分成多个描述, 并在传输时调整每个描述的冗余量和码率分配, 提供可分级且错误恢复的视频传输.

具体来讲, 该方案先使用基于运动补偿时域滤波的小波视频编码方法产生分级码流, 然后将分级码流分为多个描述.

运动补偿时域滤波运用金字塔分解方法去除视频序列长时间和短时间的时域相关性, 即在运动的方向进行时间滤波, 产生低频 L 帧和高频 H 帧. 低

频 L 帧又被进一步分解为 LL 帧和 LH 帧.

图 21 说明了将分级码流分为两个描述的情况. 两个描述中, 一个含有奇数高频 H 帧, 另一个含有偶数高频 H 帧. 此外, 两个描述还包含一些冗余信息, 如运动向量和第一个 LL 帧. 当接收到全部码流时, 可以通过 MCTF 的逆过程, 得到 LL 帧、 LH 帧和 H 帧. 然而, 当一些帧丢失时, 则使用正确接收到的 L 帧和运动向量信息来重建丢失的帧. 因此, 在恢复码流 1 的层 1 时, 可以使用 LL 帧和运动信息得到 $L2$ 帧的重建. 同理, 对于码流 2, 可以得到 $L3$ 帧的重建. 这些重建帧还可以用来恢复其它的帧.

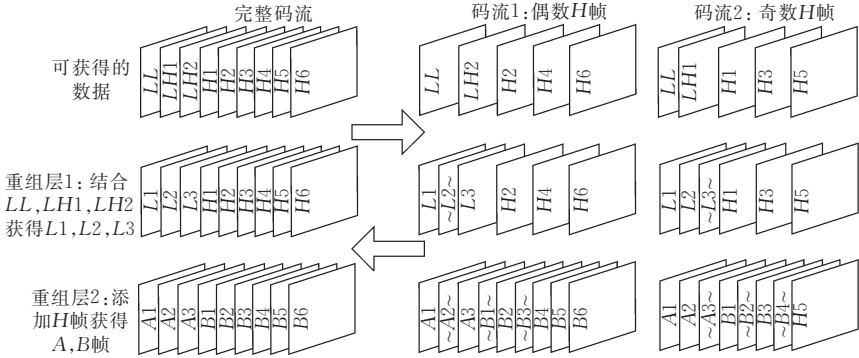


图 21 将分级码流分为两个描述的情况

3.6.3 分层多描述分级编码

2005 年, Mansour 等人^[41]提出了新的分层多描述分级编码(LMDSC). 该方案建立在 H. 264/AVC 编码器的基础上. 它虽与文献[44]类似, 但通过分层去除了描述间的冗余. 它将码流分成一个基本层和多个增强层. 基本层中含有低通 LP 帧和预测数据帧. 增强层则由多个分级描述组成, 包含了互不重叠的高通 HP 帧. 该方案可以为多个变化带宽的用户传送视频信息. 具有低带宽的用户只能接收到基本层信息, 而具有高带宽的用户则可接收到基本层信息和增强层信息、获得高质量的视频. 图 22 描绘了 3 个描述的情况. 其中, HP 帧按奇偶帧分成 2 个分

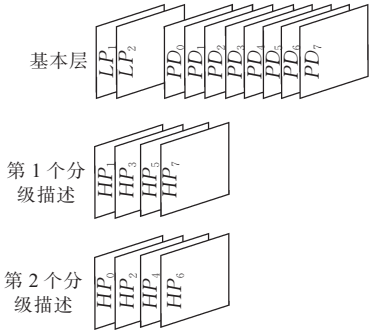


图 22 3 个描述的情况

级描述. 由于 LP 帧和低层信息具有比高层信息更高的优先权, 在网络拥塞或带宽突然降低时, 具有较

低优先权的 *HP* 帧会被丢掉. 因而该方案适应于不同的信道带宽. 另外, 由于多描述的特性, 该方案还可以通过假设残差帧为 0、再根据高层的解码信息, 恢复 *HP* 帧中丢失的信息, 以确保解码出较高质量的视频. 因而该方案也适应于低码率的错误恢复.

4 总结与展望

面向无线网络的流媒体应用对当前的编码和传输技术提出了更大的挑战, 多描述编码方法给人们提供了一种在不可靠传输的现实系统中提高接收图像或视频质量的方法, 尤其是该方法与分级编码方法的结合使多描述编码方法具有很高的研究价值及很好的应用前景. 本文除了介绍多描述量化编码、多描述变换编码、基于运动补偿的多描述编码、基于空间扩展的多描述编码、基于空间下采样的多描述编码方法外, 还对目前新兴的多描述分级编码方法进行了讨论. 当然, 对多描述编码方法的研究不止这些, 还包括 DC 系数分离的多描述编码^[45]、基于非零系数分解的多描述编码^[46]、基于小波的多描述编码^[47-48]、多描述网格编码^[49-50]和与信道编码(FEC)相结合的多描述编码^[51]等等.

由于多描述编码方法逐渐走向复杂, 多描述编码的研究难度逐渐加大. 目前, 多描述编码还存在一些问题需要进一步研究和发展, 如:

(1) 多描述编码的理论研究. 目前, 多描述编码的理论研究主要是关于率失真区域的研究. 它一直是多信道信息论信源编码研究中的难点, 还需要对各种信源、各种信道情况下的多描述率失真区域进行更深入地研究.

(2) 多描述编码的实际使用. 目前的多描述方法基本不兼容于现有的工业标准, 且复杂度较高, 这使得多描述编码方法只能停留在理论研究方面, 远未达到实际应用的目标.

(3) 多描述编码的自适应性. 现有的多描述编码方法一般不具备根据信道的状况和接收端的处理能力来自适应调整冗余量、实现自适应的多描述编码的能力.

(4) 多描述编码在感兴趣区域编码中的应用. 目前的多描述编码方法大多是对整个图像或视频进行多描述编码. 但由于图像或视频可能存在感兴趣区域, 所以图像或视频中的数据重要程度存在差异. 如果对感兴趣的区域在多描述中插入较多的冗余、而对其它区域在多描述中插入较少的冗余; 或者根

据图像或视频中细节程度的不同, 分别进行插入不同冗余量的多描述编码, 则可在控制码率的同时获得较好的图像或视频质量.

(5) 对多描述分级编码的进一步研究. 由于, 多描述分级编码是一个较新的研究问题, 还有很多细节内容需要深入研究. 如分配码率问题、冗余量问题等.

(6) 多描述编码与其它容错技术的联合编码. 虽然部分研究已经展开, 但还未达到成熟, 仍需进一步研究, 使多描述编码方法得到更广泛的应用.

可见, 多描述编码研究还拥有很大的发展空间. 随着研究的逐渐深入, 研究者可以不断拓宽多描述编码的应用范围、更好地发挥出多描述编码的良好性能.

参 考 文 献

- [1] Goyal V K. Multiple description coding: Compression meets the network. *IEEE Signal Processing Magazine*, 2001, 18(9): 74-93
- [2] Gamal A, Cover T. Achievable rates for multiple descriptions. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1982, 28(6): 851-857
- [3] Orchard M T, Wang Y, Vaishampayan V A, Reibman A R. Redundancy rate-distortion analysis of multiple description coding using pairwise correlating transforms//*Proceedings of the International Conference on Image Processing*. Washington DC, USA, 1997: 608-611
- [4] Ozarow L. On a source-coding problem with two channels and three receivers. *Bell System Technical Journal*, 1980, 59(10): 1909-1921
- [5] Ahlswede R. The rate distortion region for multiple descriptions without excess rate. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1985, 31(6): 721-726
- [6] Zhang Z, Berger T. New results in binary multiple descriptions. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1987, 33(4): 502-521
- [7] Zamir R. Gaussian codes and Shannon bounds for multiple descriptions. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1999, 45(7): 2629-2635
- [8] Dragotti Pier Luigi, Servetto S D, Vetterli M. Optimal filter banks for multiple description. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2002, 48(7): 2036-2052
- [9] Venkataramani R, Kramer G, Goyal V K. Multiple description coding with many channels. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2003, 49(9): 2016-2114
- [10] Vaishampayan V A. Design of multiple description scalar quantizers. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1993, 39(3): 821-834

- [11] Vaishampayan V A, Jaroslaw Domaszewicz. Design of entropy-constrained multiple-description scalar quantizers. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1994, 40(1): 245-250
- [12] Tanya Y Berger-Wolf, Reingold E M. Index assignment for multichannel communication under failure. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2002, 48(10): 2656-2668
- [13] Chao Tian, Hemami S S. Universal multiple description scalar quantization: Analysis and design. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2003, 50(9): 2089-2102
- [14] Gavrilescu A I, Munteanu A, Schelkens P. Embedded multiple description scalar quantisers. *Electronics Letters*, 2003, 39(13): 979-980
- [15] Vaishampayan V A. Vector quantizer design for diversity systems//*Proceedings of the 25th Annual Conference on Information Sciences and Systems*. Johns Hopkins University, 1991: 564-569
- [16] Cardinal J. Design of tree-structured multiple description vector quantizers//*Proceedings of the Data Compression Conference*. Snowbird, Utah, USA, 2001: 23-32
- [17] Servetto S D, Vaishampayan V A, Sloane N J A. Multiple description lattice vector quantization//*Proceedings of the Data Compression Conference*. Snowbird, Utah, 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. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2001, 47(5): 1718-1734
- [19] Wang Y, Orchard M T, Reibman A R. Multiple description image coding for noisy channels by pairing transform coefficients//*Proceedings of the IEEE 1st Workshop on Multimedia Signal Processing*. Princeton, New Jersey, 1997: 419-424
- [20] Wang Y, Orchard M T, Reibman A R. Optimal pairwise correlating transforms for multiple description coding//*Proceedings of the International Conference on Image Processing*. Chicago, Illinois, 1998: 679-683
- [21] Wang Y, Orchard M T, Vaishampayan V A, Reibman A R. Multiple description coding using pairwise correlating transforms. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2001, 10(3): 351-366
- [22] Goyal V K, Kovacevic J, Arian R, Vetterli M. Multiple description transform coding of images//*Proceedings of the International Conference on Image Processing*. Chicago, Illinois, 1998: 674-678
- [23] Goyal V K, Kovacevic J. Generalized multiple description coding with correlating transforms. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2001, 47(6): 2199-2224
- [24] Wang Y, Reibman A R, Orchard M T, Jafarkhani H. An improvement to multiple description transform coding. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2002, 50(11): 2843-2854
- [25] Jiang W, Ortega A. Multiple description coding via polyphase transform and selective quantization//*Proceedings of the SPIE Visual Communication Image Processing Conference*. San Jose, California, USA, 1999: 998-1008
- [26] Reibman A R, Jafarkhani H, Wang Y, Orchard M T, Puri R. Multiple description coding for video using motion compensated prediction//*Proceedings of the International Conference on Image Processing*. Kobe, Japan, 1999: 837-841
- [27] Reibman A R, Jafarkhani H, Wang Y, Orchard M T, Puri R. Multiple-description video coding using motion-compensated temporal prediction. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2002, 12(3): 193-204
- [28] Kim C S, Lee S U. Multiple description coding of motion fields for robust video transmission. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2001, 11(9): 999-1010
- [29] Kim C S, Lee S U. Multiple description motion coding algorithm for robust video transmission//*Proceedings of the IEEE International Symposium on Circuits and Systems*. Geneva, 2000: 717-720
- [30] Orchard M T, Sullivan G J. Overlapped block motion compensation: An estimation theoretic approach. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1994, 3(5): 693-699
- [31] Wang Y, Lin S. Error-resilient video coding using multiple description motion compensation. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2002, 12(6): 438-452
- [32] Nicola Franchi, Marco Fumagalli, Rosa Lancini, Stefano Tubaro. Multiple description video coding for scalable and robust transmission over IP. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2005, 15(3): 321-334
- [33] Goyal V K, Vetterli M, Kovacevic J. Multiple description transform coding: Robustness to erasures using tight frame expansions//*Proceedings of the IEEE International Symposium on Information Theory*. Cambridge, USA, 1998: 408
- [34] Goyal V K, Kovacevic J, Vetterli M. Quantized frame expansions as source-channel codes for erasure channels//*Proceedings of the Data Compression Conference*. Snowbird, Utah, USA, 1999: 326-335
- [35] Chung D M, Wang Y. Multiple description image coding using signal decomposition and reconstruction based on lapped orthogonal transforms. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 1999, 9(6): 895-908
- [36] Shirani S, Gallant M, Kossentini F. Multiple description image coding using pre- and post-processing//*Proceedings of the IEEE International Conference on Information Technology*. Las Vegas, NV, USA, 2001: 35-39
- [37] Nicola Franchi, Marco Fumagalli, Rosa Lancini. Flexible redundancy insertion in a polyphase down sampling multiple description image coding//*Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo*. Lausanne, Switzerland, 2002: 605-608
- [38] Olmo G, Tillo T. Directional multiple description scheme for still images//*Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems*. Sharjah, United Arab Emirates, 2003: 886-889

- [39] Zhang Nan, Lu Yan, Wu Feng, Yin Bao-Cai. Directional lifting-based wavelet transform for multiple description image coding with quincunx segmentation//Proceedings of the 6th IEEE Pacific-Rim Conference on Multimedia. Jeju, Korea, 2005: 629-640
- [40] Li Wei-Ping. Overview of fine granularity scalability in MPEG-4 video standard. IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology, 2001, 11(3): 301-317
- [41] Mansour H, Nasiopoulos P, Leung V. Low redundancy layered multiple description scalable coding using the subband extension of H. 264/AVC//Proceedings of the IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Kobe, Japan, 2005: 4042-4045
- [42] Chou P A, Wang H J, Padmanabhan V N. Layered multiple description coding//Proceedings of the Packet Video Workshop. Nantes, France, 2003: 4
- [43] Wang Hui-Sheng, Ortega A. Robust video communication by combining scalability and multiple description coding techniques//Proceedings of the SPIE. San Jose, CA, 2003: 111-124
- [44] van der Schaar M, Turaga D S. Multiple description scalable coding using wavelet-based motion compensated temporal filtering//Proceedings of the International Conference on Image Processing. Barcelona, Spain, 2003: 489-492
- [45] Md. Abdw Razzak, Zeng Bing. Multiple description image transmission for diversity systems using block-based DC separation//Proceedings of the IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Sydney, Australia, 2001: 93-96
- [46] Cai C H. Research on multiple description and video transmission on the Internet[Ph. D. dissertation]. Tianjin: Tianjin University, 2002
- [47] Servetto S D, Ramchandran K, Vaishampayan V A, Nahrstedt K. Multiple-description wavelet based image coding//Proceedings of the International Conference on Image Processing. Chicago, Illinois, 1998: 659-663
- [48] Servetto S D, Ramchandran K, Vaishampayan V A, Nahrstedt K. Multiple description wavelet based image coding. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(5): 813-826
- [49] Jafarkhani H, Tarokh V. Multiple description trellis coded quantization//Proceedings of the International Conference on Image Processing. Chicago, Illinois, 1998: 669-673
- [50] Jafarkhani H, Tarokh V. Multiple description trellis-coded quantization. IEEE Transactions on Communication, 1999, 47(6): 799-803
- [51] Puri R, Ramchandran K. Multiple description source coding using forward error correction codes//Proceedings of the Conference Record of the Thirty-Third Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers. Pacific Grove, CA, 1999: 342-346



ZHANG Yang, born in 1982, M. S. candidate. Her research interests include multiple description coding and video coding.

ZHANG Nan, born in 1974, Ph. D. candidate. Her research interests include image/video coding and processing.

YIN Bao-Cai, born in 1963, Ph. D., professor, Ph. D. supervisor. His research interests include computer vision, pattern recognition, computer graphics, virtual reality and multimedia technology.

Background

This work belongs to the project "Studies on the Methods of Multiple Description Image Coding", supported by National Natural Science Foundation of China (Nos. 60572104, 60533030), Beijing Natural Science Foundation (Nos. 40410031, 4061001) and Beijing Key Laboratory Foundation of Multimedia and Intelligent Software Technology. The aim of this project is to research on the techniques of multiple description image coding, develop a new and efficient network coding system which can be adapt to various kinds of dynamically changed situations, and realize the methods of multiple description image coding which can achieve high image coding efficiency and robust data transmission, according to the characteristics of streaming media services on the network.

In the past years, the authors have engaged in the many

researches on multiple description coding. Their previous work on this area has been published or accepted by some famous journals and international conferences, such as Acta Automatica Sinica and Pacific-Rim Conference on Multimedia. Among them, a new multiple description image coding scheme using directional lifting-based wavelet transform has been proposed. The first author has concentrated on the study of multiple description coding. Based on a lot of papers related to multiple description coding, this paper elaborates the research and progress of multiple description coding, including the ideas, frames and characteristics of various kinds of multiple description coding methods, and discusses the difficult problems on this area.