

# 视频多描述编码方法的研究<sup>\*</sup>)

刘杰平 余英林

(华南理工大学电子与通信工程系 广州510641)

**摘要** 多描述编码(MDC)是视频传输抗误码的主要技术之一,但在只有较少描述用于重构视频时,不能得到满意的图像。本文将 MD-SPIHT 方法扩展到3D-SPIHT,提出了基于小波变换的视频 MDC 与子波树恢复的联合抗误码算法,仿真实验结果证实了该算法的有效性。

**关键词** 视频,多描述编码(MDC),SPIHT

## Research on Multiple Description Coding Algorithm for Video

LIU Jie-Ping YU Ying-Lin

(Department of Electronic and Communication Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641)

**Abstract** Multiple description coding (MDC) is one of the major techniques to combat channel disturbances for video. However, only a few descriptions are successfully received, the receiver can still reconstruct a lower quality video. This paper extends MD-SPIHT algorithm to 3D-SPIHT, and proposes a joint MDC and wavelet-tree restoration algorithm to combat channel disturbances. The algorithm performs well in performance simulations.

**Keywords** Video, Multiple description coding, SPIHT

## 1 引言

由于无线链路的不可靠和有限带宽,无线视频传输在技术上仍是一个富有挑战性的课题。分层编码与分级传输策略的结合是最为实用的抗误码技术之一,在分层编码与分级传输方案下,基本层码流中的误码将可能导致图像恢复质量的严重恶化,此时,多描述编码(Multiple Description Coding MDC)是一种可选的方法。信源的多描述问题在信息论和信号处理领域进行了广泛的研究<sup>[1,2]</sup>,在信号处理领域,MDC 首先应用于语音编码<sup>[3]</sup>,再扩展到图像和视频编码<sup>[4,5]</sup>。在 MDC 中,由一个视频源生成多个码流,每个码流称为视频源的一种“描述”,各个描述(码流)独立地进行信道编码和传输,在接收端,根据被正确传输描述的不同,选择不同的解码方案。由于各描述独立的信道编码和传输,至少有部分描述被正确接收,接收端能得到可接收质量的视频,这样不仅利用了信道编码的纠错能力,又利用了 MDC 的鲁棒性弥补了信道编码纠错能力的不足。显然,为保证从部分描述可以重构一定质量的视频,各描述都必须包含足够的视频信息,这意味着 MDC 方法的编码效率要比单描述低许多,但这种损失换来的是对大片误码频繁出现环境下视频信号的鲁棒传输。

MDC 算法大致可分为基于多描述标量量化器和基于成对相应变换的两种基本类型,近年来,视频 MDC 引起了众多学者的广泛关注,提出了多种 MDC 的算法,Reibman 等<sup>[6]</sup>提出了运动补偿时间预测的多描述视频编码算法,Yao Wang 等在文<sup>[6]</sup>中对多描述变换编码做了改进,文<sup>[7]</sup>提出了通过 Internet 传输视频的多描述和匹配跟踪编码方案, Lee Yen-Chi<sup>[8]</sup>提出一种多描述编码和差错隐藏联合应用的方法,文<sup>[9]</sup>提出的多描述 SPIHT (MD-SPIHT)方法,提高了 SPIHT

码流的鲁棒性。本文提出了基于小波变换的 MDC 算法,在接收端接收到的描述较少时,首先根据接收到的若干描述重构低质量的视频,然后采用差错隐藏方法恢复丢失的子波树,仿真实验结果证实了该算法的有效性。

## 2 多描述编码

### 2.1 多描述编码

SPIHT 算法<sup>[10]</sup>能生成完全嵌入式的单一的码流,在传输中 1bit 的错误都会导致其后所有比特废弃。我们希望对比特流进行分割,形成多个比特流,使得某个比特流的错误不会对整幅图像的重构产生严重的影响。分析 SPIHT 算法,该算法搜索的起点是在初始化步骤中设定的树根节点,如果初始化时将 LIP、LIS 和 LSP 分成多个组,分别对各组使用 SPIHT 算法,就会生成多个码流,即可实现多描述编码。借鉴文<sup>[9]</sup>的思路,我们将小波变换后最高分解级最低频子带的树根节点分成  $n$  组,树根节点各组成一组 LIP-1、LIS-1 和 LSP-1; LIP-2、LIS-2 和 LSP-2; ……; LIP- $n$ 、LIS- $n$  和 LSP- $n$ ; 分别对  $n$  组应用 3D-SPIHT 编码算法<sup>[11]</sup>就可以得到  $n$  个不同的输出比特流,即产生  $n$  个描述,我们称它为扩展的 MD-SPIHT 方法,实际上就是将 MD-SPIHT 基本思想用于 3D-SPIHT。按照这种方法得到的多描述编码除各个描述有自己的头信息外,基本上是没有冗余的,当有一描述丢失时,解码重构的视频质量是不能令人接受的。

### 2.2 冗余的多描述编码

应用上述的扩展 MD-SPIHT 算法产生  $n$  个描述,设  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ , 表示上述基本无冗余全部码流的  $n$  个描述,  $y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n$ , 表示有冗余的  $n$  个描述,  $x_j$  表示第  $j$  个无冗余描述的部分码流,则第  $i$  个有冗余的描述  $y_i$  可以表示为:

<sup>\*</sup>)广东省自然科学基金资助,刘杰平 副教授,博士生,主要研究方向为图像、视频编码与传输。余英林 教授,博士生导师,主要从事信号处理、图像处理、模式识别、神经网络等研究工作。

$$y_i = x_i + x_{j,p} + x_{(j+1),p} \dots \quad (j=1, 2, \dots, q, q < n, \text{且 } j \neq i)$$

显然,这样得到的  $n$  个描述是有冗余的,降低了编码效率,但当有任一描述丢失,我们仍能重构可以接受质量的视频图像。

### 3 视频的重构

#### 3.1 丢失空间方向树的恢复

多个描述通过不同的信道传输,到达接收端可能有一个或几个描述未接收到,即描述丢失。分析描述产生的方法可知,描述丢失,即描述代表的多个空间方向树丢失。我们从丢失的是哪一描述,可以知道哪些方向树已经丢失,根据小波变换后低频子带的高度相关性,我们可以通过相邻系数恢复低频系数,具体方法如下:

(1)若  $a(i-1, j-1), a(i-1, j), a(i-1, j+1), a(i, j-1), a(i, j+1), a(i+1, j-1), a(i+1, j)$  和  $a(i+1, j+1)$  系数均可用,  $a(i, j) = \text{median}(a(i-1, j-1)a(i-1, j)a(i-1, j+1)a(i, j-1)a(i, j+1)a(i+1, j-1)a(i+1, j)a(i+1, j+1))$ , 其中  $\text{median}()$  表示求中值。

(2)若  $a(i-1, j-1), a(i-1, j), a(i-1, j+1), a(i, j-1), a(i, j+1), a(i+1, j-1), a(i+1, j)$  和  $a(i+1, j+1)$  中只有几个系数是可用的,  $a(i, j) = \text{mean}(a(i-1, j-1)a(i-1, j)a(i-1, j+1)a(i, j-1)a(i, j+1)a(i+1, j-1)a(i+1, j)a(i+1, j+1))$ , 其中  $\text{mean}()$  表示求平均值。

上述(1)和(2)中的“可用”的含义是:该小波系数是由正确接收的描述解码得到,或该小波系数是经过丢失空间方向树恢复后得到的。其中  $(i, j)$  表示第  $i$  行第  $j$  列的像素,  $a(i, j)$  表示像素  $(i, j)$  的小波系数值。

因为对于一般不太复杂的图像,其小波系数的最高频带中的系数能量是较小的,所以,我们可以简单地使高频系数置零。

#### 3.2 无冗余多描述编码的视频重构

在接收端,若无任一描述丢失时,对接收到的每一描述,分别进行3D-SPIHT解码,得到相应于各描述的小波系数,然后合成一小波系数矩阵;否则,对丢失的描述按前一节所述方法进行丢失空间方向树的恢复,小波逆变换,输出解码视频信号。

#### 3.3 冗余多描述编码的视频重构

在接收端,若无任一描述  $y_i$  丢失或接收到的描述中包括  $x_i$  或  $x_{j,p}$ ,  $(i=1, \dots, n)$  (全部或部分码流)时,对接收到的码流,分别进行3D-SPIHT解码,得到相应于各描述的小波系数,然后合成一小波系数矩阵;否则,对丢失的描述按前一节所述方法进行丢失空间方向树的恢复,小波逆变换,输出解码视频信号。

该算法实质上是先进行小波变换后的树根节点分组,3D-SPIHT编码产生多个描述(有冗余或无冗余),通过不同信道传输各个描述到接收端,解码器根据接收到描述的情况,分别解码各描述,如有描述丢失,进行丢失空间方向树的恢复,对各解码合成为一个小波系数矩阵,经小波逆变换,即得到重构的视频信号。

### 4 仿真实验结果

为了验证本文算法,我们对 QCIF 格式(176 \* 144)的 Miss American、Carphone、Bream 和 Forman 序列进行了仿真实验。实验中,8帧图像分为一视频组,对每一视频组进行三维

三级小波变换,用 Haar 小波基对时间轴上的信号进行一维小波变换,用 D9-7小波基在空间方向进行小波变换。将小波变换后最高分解级最低频子带的树根节点分成六组,分别进行3D-SPIHT编码,得到六个描述,通过六个不同信道(虚拟信道)传输。

首先,我们考察了无冗余 MDC 本文算法的性能,六描述的总比特率为0.5bpp,图1和图2所示点线和点划线分别表示接收描述数目不同情况下,扩展的 MD-SPIHT 算法和本文算法的平均峰值信噪比,从图中可见,在丢失描述较多(大于等于3)和无描述丢失时,两种算法平均峰值信噪比的结果是相同的,本文算法平均峰值信噪比也很低的原因是此时丢失空间方向树的恢复效果不好;在只丢失1、2个描述时,本文算法的平均峰值信噪比高很多,图3为丢失一个描述时的解码重构图像,本文算法的视觉效果明显好于扩展的 MD-SPIHT 算法。

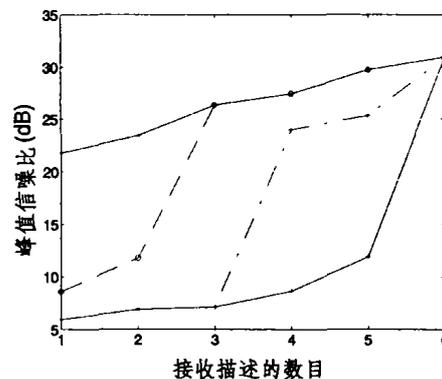


图1 Forman 1~48帧编码结果

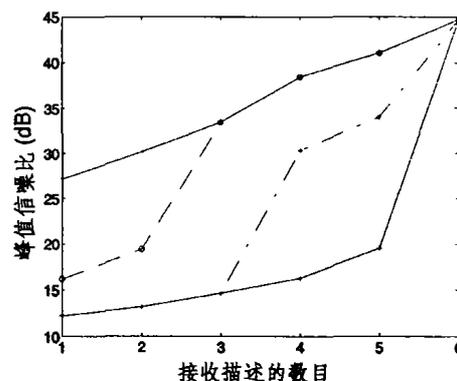


图2 Miss American 1~48帧编码结果



(a) 扩展 MD-SPIHT, PSNR=14.88dB (b) 本文算法, PSNR=31.06dB

图3 Carphone 无冗余、总比特率0.5bpp、丢失一个描述时,第6帧解码图像

其次,我们考察了有冗余的 MDC 本文算法的性能,六描述的总比特率为0.5bpp,对于接收到6个描述中的2个描述情况,这里给出的是接收到的2个描述中不包括所有6个描述(全部或部分码流,缺少1个描述)的结果,如图1和图2所示,虚线

和实线分别表示接收描述数目不同、冗余20%情况下,扩展的MD-SPIHT算法和本文算法的平均峰值信噪比,图中可见,接收描述大于3个时,两种算法平均峰值信噪比的结果基本相同,但在只接收到1、2个描述时,本文算法的平均峰值信噪比

高得多,图4为接收到6个描述中的2个描述时的解码重构图像,本文算法的视觉效果明显好于扩展的MD-SPIHT算法。无论是冗余或无冗余MDC,图1、2都显示丢失描述越少,平均峰值信噪比越高,即解码重构的视频质量越好。

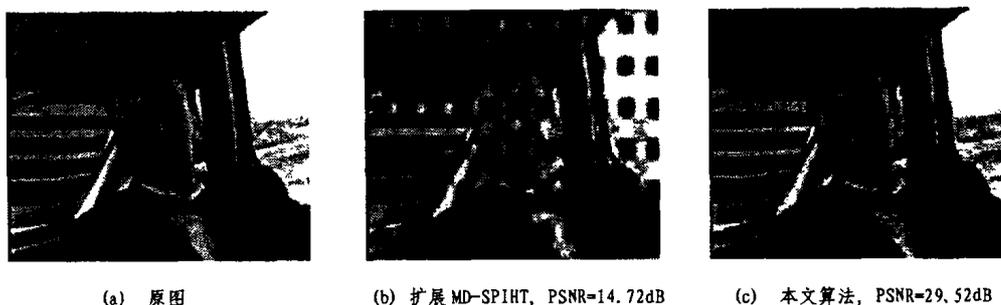


图4 Carphone 冗余20%、总比特率0.5bpp、接收二个描述时,第6帧解码图像

**结论** 针对视频传输中存在的误码问题,本文将MD-SPIHT方法扩展到3D-SPIHT,提出MDC与子波树恢复的联合抗误码算法,在接收端接收到的描述较少时,首先根据接收到的若干描述重构低质量的视频图像,然后采用差错隐藏方法恢复丢失的子波树。对本文算法的实验表明,在基本不增加数据量(无冗余)情况下,丢失1、2个描述时,仍能得到较好质量的重构视频;在有冗余情况下,只要接收到6个描述中的任意2个描述就能得到较好质量的重构视频;无论编码有无冗余,丢失描述越少,重构视频质量越高。

### 参考文献

- 1 Gamal A A E, Cover T M. Achievable Rates for Multiple Descriptions. *IEEE Trans. Inform. Theory*, 1982, IT-28(6): 851~857
- 2 Vaishampayan V A. Design of Multiple Description Scalar Quantizer. *IEEE Trans. Inform. Theory*, 1993, 39(3): 821~834
- 3 Ingle A, Vaishampayan V A. Dpcm System Design for Diversity Systems with Applications to Packetized Speech. *IEEE Trans. Speech and Audio Processing*, 1995, 3(1): 48~57
- 4 Wang Y, Orchard K T, Reibman A R. Multiple Description Image Coding for Noisy Channels by Pairing Transform Coefficients. In: *Proc. IEEE Workshop on Multimedia Signal Processing*, June 1997. 419~424

- 5 Reibman A R, Wang Y, Orchard M T, Puri R. Multiple-Description Video Coding Using Motion-Compensated Temporal Prediction. *IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology*, 2002, 12(3): 193~204
- 6 Wang Y, Reibman A R, Orchard M T, Jafarkhani H. An Improvement to Multiple Description Transform Coding. *IEEE Trans. On Signal Proc.*, 2002, 50(11): 2843~2854
- 7 Chan H-T, Huang C-L. Multiple Description and Matching Pursuit Coding for Video Transmission over the Internet. *IEEE ICASSP*, 2003, 1: 425~428
- 8 Yen-Chi L, Yucel A, Mersereau M. A Coordinated Multiple Description Scalar Quantizer and Error Concealment Algorithm for Error Resilient Video Streaming over Lossy Channels. *IEEE International Conference on Communications*, 2002, 2: 99~103
- 9 Miguel C, Mohr A, Riskin A. SPIHT for Generalized Multiple Description Coding. In: *Proc. of the Intl. Conf. on Image Processing (ICIP)[C]*, 1999, 3: 842~846
- 10 Said A, Pearlman W A. A new, fast, and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees. *IEEE Trans on Circuits and System for Video Technology*, 1996, 6(3): 243~249
- 11 Kim B-J, Pearlman W A. An embedded wavelet video coder using three-dimensional set partitioning in hierarchical trees (3D-SPIHT). In: *Proc. of the IEEE Data Compression Conf. Snowbird-UT. March 1997. 251~260*

(上接第74页)

理解用户请求的基础上,利用系统的应用模板库和UDDI注册中心保存的服务元数据,生成能够应对用户请求的Web服务流,并提交给Web服务流引擎作具体的解析和执行。

在理想模式下,系统的用户请求解析模块可以在分析用户请求的基础上完全自动地形成服务流,甚至可以通过引入界面Agent(Interface Agent)来学习用户的习惯和爱好,并在准确理解用户意图的基础上形成应对的服务流。当然,这种模式需要解决的问题很多,难度也很大。

此外,也可以根据实际情况采用基于应用模板的固定服务流模式和半自动的服务流生成模式。其中,前者可以通过人为的方式来形成面向某些特定请求的固定服务流,该模式要求定制服务流的人员对服务流中各种服务的功能以及服务之间的交互关系有比较清晰的了解;后者则是先通过人为的方式来生成应对某些请求的应用模板,然后再由应用程序根据用户的具体请求对应用模板作出局部的调整,最终形成应对请求的服务流。

**结束语** 本文提出了一种基于GeoAgent与Web服务的空间信息服务及应用集成体系,该体系能够充分利用GeoAgent和Web服务的特点和优势,以及GeoAgent和

Web服务之间的多种集成模式,克服现有地理信息系统在应用模式和集成模式等方面的不足,更好地满足数字城市对空间信息服务的需求,为数字城市中各种相关应用灵活地调用、集成各种粒度适宜、易于装配与集成的空间信息服务提供了良好的机制。

在后续研究中,还需要根据Agent领域和Web服务领域的最新研究进展,进一步研究GeoAgent间的协作机制、GeoAgent和Web服务之间的集成机制、Web服务流引擎、UDDI注册中心等内容。

### 参考文献

- 1 黄晓斌. 基于GeoAgent的空间信息服务与应用集成研究:[北京大学博士研究生学位论文]. 2002
- 2 Nwana H S, Lee L, Jennings N R. Co-ordination in Multi-Agent Systems. In: H. S. Nwana, N. Azarmi, eds. *Software Agents and Soft Computing: Towards Enhancing Machine Intelligence*, Lecture Notes in Artificial Intelligence 1198, Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg, 1996
- 3 黄晓斌,李琦. Agent技术在地理信息领域的作用. *计算机科学*, 2002, 29(9)
- 4 Vasudevan V. <http://www.xml.com/pub/a/2001/04/04/web-services/index.html>, A Web Services Primer, 2001