

# 基于分布式编码的多描述视频编解码器

范钰华 王嘉 孙军 余松煜

(上海交通大学电子工程系图像通信与信息处理研究所, 上海 200240)

(上海交通大学上海市数字媒体处理与传输重点实验室, 上海 200240)

**摘要** 为了解决多描述视频编码器在丢包信道下的漂移问题, 本文提出了一种新的基于分布式视频算法的多描述视频编码方案。实验结果表明, 借助于分布式编码的稳健性, 这一新方案能有效地避免漂移问题。为了解决多描述视频编码器在丢包信道下的漂移问题, 提出了一种新的基于分布式视频算法的多描述视频编码方案。实验结果表明, 借助于分布式编码的稳健性, 这一新方案能有效地避免漂移问题。

**关键词** 分布式编码 多描述视频编码 丢包信道 漂移问题

**中图分类号**: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2007)10-1823-04

## Multi-description Video Codec Based on Distributed Source Coding

FAN Yu-hua, WANG Jia, SUN Jun, YU Song-yu

(Institute of Image Communication and Information Processing, Department of Electronic Engineering,  
Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240)

(Shanghai Key Laboratory of Digital Media Processing and Transmissions, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240)

**Abstract** A new multi-description video coding scheme based on distributed source coding is proposed to solve the drift problem of the multi-description video codec under packet loss channels. Experimental results demonstrate that the proposed scheme can effectively avoid the drift problem by virtue of the robustness of distributed source coding.

**Keywords** distributed source coding, multi-description video coding, packet loss channel, drift problem

## 1 引言

多描述编码是指编码器将信源输入分解成若干个描述, 当解码器得到其中的一个描述时, 可以单独解码, 获得质量可以接受的重构信号; 当解码器得到多个描述时, 可以对它们联合解码, 得到质量更好的重构信号。多描述视频编码相对于分层编码的优势在于: 任何一个描述都可以单独解码, 而在分层编码中, 有基本层、增强层之分, 只有在基本层被正确解码后, 增强层才会有用。因此, 多描述编码方式更符合网络传输的要求。

常见的多描述视频编码器大多采用3个预测环路。Reibman等人提出了基于MDTC (multiple description transform coding) 的采用3个预测环路的

编解码器<sup>[1]</sup>。编码器对中央环路的预测残差作MDTC产生两个描述, 然后在每个描述中加入冗余信息以辅助边沿解码器的解码。Wang等人提出了基于二阶预测子的三预测环路编码器<sup>[2]</sup>, 这种编码器将奇数帧和偶数帧的编码结果分别集成两个描述。这些设计方案, 在理想多描述信道上 (ideal multiple-description channel)<sup>[2]</sup>, 有较好的率失真性能。但在实际的网络传输中, 每个描述通常被分割成大量的小数据包, 在丢包信道下, 解码器几乎不可能完整地收到某一个描述, 当边沿解码器采用不完整的描述进行解码时, 会产生漂移问题 (drift problem)。

为了解决丢包环境下的漂移问题, 本文提出在多描述编码中引入分布式编码。这一思想最早由Jagmohan等人提出<sup>[3]</sup>, 并在Gauss-Markov信源上的

收稿日期: 2007-07-05; 改回日期: 2007-07-19

第一作者简介: 范钰华 (1983 ~ ), 男, 硕士研究生。现为上海交通大学通信与信息系硕士研究生。主要研究方向为分布式编码和多描述编码。E-mail: sjtufyh@sjtu.edu.cn

实验结果显示了这一做法的优势。然而,他们在视频序列上的设计方案<sup>[4]</sup>并没有采用主流的分布式视频编码算法。

## 2 理论分析

基于预测编码的多描述视频编码器,在丢包情况下,将会面临漂移问题,这一问题可以用图 1 简单地说明。图中显示了连续的 3 帧,每一帧都被分解到两个描述中去,图中的一排方框即对应于视频序列的一个描述。第 1 和第 3 帧以 I 帧的方式编码,第 2 帧以 B 帧的方式编码。

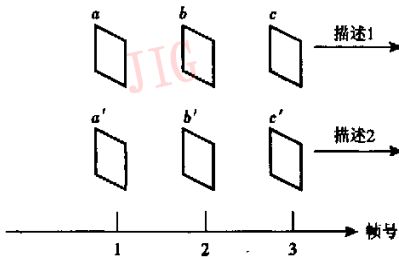


图 1 两信道多描述视频流

Fig. 1 Two channel multi-description video streams

表 1 第 1 和第 3 帧可能的丢包方式  
(表中的“-”代表相应的数据包丢失)

Tab. 1 Possible packet loss patterns of the 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> frame

(“-” means the loss of the corresponding packet)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	√	-	√	√	√	-	√	-	√
a'	√	√	√	-	√	√	-	√	-
c	√	√	-	√	√	-	√	√	-
c'	√	√	√	√	-	√	-	-	√

在理想的多描述信道下,解码器或者完整地收到一个描述,或者完全收不到。这时编码器采用 2 到 3 个预测环路就可以模拟出解码器所有可能的状态。但在丢包情况下,情况会变得复杂许多。

假设一帧图像被编码成两个数据包,每个数据包在图 1 中用一个字母表示,则在网络随机丢包的情况下,解码器在接收第 1 和第 3 帧的数据包时会有 9 种情况(实际上,共有 16 种情况。但一般而言,如果采用合理的传输方法,如 MPT(multiple path transport)<sup>[5]</sup>,则同一帧的两个数据包都丢失的概率

很小,同时,为了降低设计的复杂度,本文忽略了这些情况)。表 1 列举了这些情况。这个数字显然超过了预测环路的个数,因此当解码器在解第 2 帧的时候,所采用的边信息很可能会和编码器的边信息不同,从而产生漂移。

虽然这 9 种边信息具体取值各有不同,但它们的统计特性基本上是相近的。比如,利用数据包 a 和数据包 c 内插产生的边信息,在 PSNR (peak signal-to-noise ratio) 上应当接近利用 a' 和 c' 产生的边信息。这样,如果采用分布式编码,即使解码器采用了和编码器不同的边信息,只要它们的统计特性相同,仍可以正确解码。

## 3 设计方案

### 3.1 整体框架

本文以 Girod 等人提出的分布式视频编码方案为基础进行设计<sup>[6]</sup>。在他们的方案中,奇数帧作为 I 帧编码,偶数帧采用分布式编码。解码器在解偶数帧时,利用前后帧的解码结果内插出边信息。基于这一分布式编码方案,本文提出了多描述视频编解码器的框架如图 2 所示。

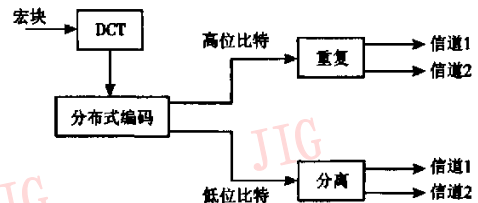


图 2 编码器框图

Fig. 2 Framework of the encoder

编码器:

- (1) 对奇数帧采用图像的多描述算法编码。
- (2) 对偶数帧采用分布式编码,将高位比特平面的编码结果在两个描述中重复,将低位比特平面的编码结果平均分配到两个描述中去。

解码器:

- (1) 对奇数帧采用图像多描述算法解码。
- (2) 对偶数帧采用分布式解码。若解码器只收到一个描述,用前后两个奇数帧的解码结果内插出边信息,对高位比特平面解码;若收到两个描述,利用相同的方法产生边信息,对所有比特平面进行解码。

### 3.2 实现过程

在对奇数帧编码时,编码器采用一对 staggered quantizer 完成多描述量化,这一对量化器有相同的最小距离  $d_{min}$ ,但它们的格点相互间错开  $d_{min}/2$ 。

对偶数帧编码时,编码器先对每个宏块做 DCT (discrete cosine transform),然后在变换域中进行分布式编码。

在分布式编码方案的选择上,本文采用了 Xiong 等人提出的 NSQ-SWC (nested scalar quantization-slepian-wdf coding) 的设计思想<sup>[7]</sup>,并采用 Turbo 码代替他们设计中的 LDPC (low density parity-check code) 码。这样做的原因如下:

(1) Turbo 码相对 LDPC 码使用起来更加灵活、方便。如果采用 LDPC 码,在压缩不同比特平面时要分别进行设计,而若采用 Turbo 码,可以对所有的比特平面采用相同的 Turbo 码型,通过打孔来实现压缩。本文采用了 Rowitch 等人提出的打孔矩阵<sup>[8]</sup>,并将打孔周期扩充至 64。

(2) Turbo 码在短码长时有更好的性能。在 Xiong 等人的设计中,LDPC 码长通常取为  $10^5 \sim 10^6$ ,而在本文的设计中,码长可以取为 256 ~ 1024。

图 3 给出了码长为 1024 时,采用 Turbo 码的 NSQ-SWC 算法的性能,该方案与理论值大约有 2.2 (dB) 的差距。

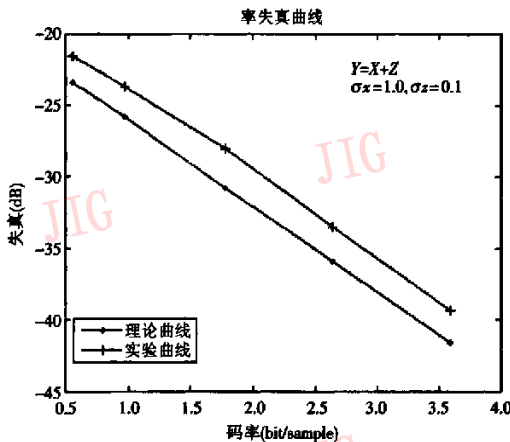


图 3 采用 Turbo 码的 NSQ-SWC 算法性能

Fig.3 Performance of the NSQ-SWC algorithm using Turbo Code

在解码器的设计中,本文选用了 Ascenso 等人提出的内插算法生成边信息<sup>[9]</sup>。实验结果显示这种低复杂度算法有很好的性能。本文将该算法中运动矢量的精度取到 1/2 像素,获得了更好的内插

效果。

综合各模块的设计方案,本文所提出的编解码器的复杂度主要包括分布式编解码和图像多描述编解码。

## 4 实验结果

对 Foreman 序列中第 61 至 63 帧进行实验。第 61 帧和第 63 帧采用图像多描述编码,第 62 帧采用分布式编码。每帧图像分解成两个数据包。

表 2 给出了第 62 帧解码时可能的 9 种边信息对应的 PSNR 值 (单位 dB),每一种边信息对应于表 1 中的一种丢包方式。从表 2 中可以看出,这些边信息在统计特性上十分相近。

表 2 9 种边信息的 PSNR 值

Tab.2 PSNR values of 9 pieces of side information

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PSNR	29.48	28.11	29.01	28.64	30.22	28.92	28.78	28.10	28.99

表 3 给出了解码器分别以这 9 种边信息解码时,编码器所需要传送的单个数据包的字节数,相应的边路 PSNR 值为 33.0 (dB),双路 PSNR 值为 34.2 (dB)。

表 3 9 种边信息解码所需的码率

Tab.3 Bit rates for 9 pieces of side information

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
字节数	1655	2242	2094	1979	1723	2358	2145	2339	2316

从表 3 中可以看出,除了个别质量很好的边信息,大部分边信息解码所需码率基本接近。表 3 中的第 1 项对应于第 61 和 63 帧都没有丢包的情况,虽然从 PSNR 上看不是最优的,但它所需的码字数是最少的。第 6 项对应于图 1 中 a 和 c 丢失, a' 和 c' 收到的情况。这就是在理想多描述信道下,解码器只收到一个描述的情况。在这个实验中,第 6 项的码率最高。

记图 1 中 a、b、c 丢失, a'、b'、c' 收到的情况为 Case I,记图 1 中 a、b 丢失, c、a'、b'、c' 收到的情况为 Case II。编码器按照 Case I 所对应的边信息确定码率。图 4 和图 5 分别给出了解码器在 Case I 和 Case II 两种情况下的边信息和解码结果。

从实验结果可以看出,当采用分布式编码时,如果编码器恰当地估计边信息的质量,并选择合适的

码率,则解码器在多种丢包情况下都能够正确解码。在本文的方案中,可以通过在编码端加入针对奇数帧的解码模块来实现对边信息质量的估计。

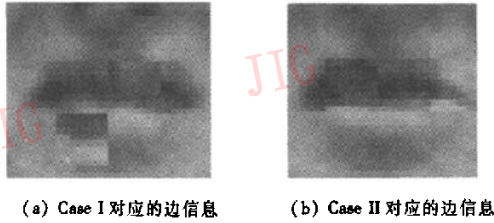


图 4 两种丢包情况下的边信息

Fig. 4 Side information of two different packet loss patterns

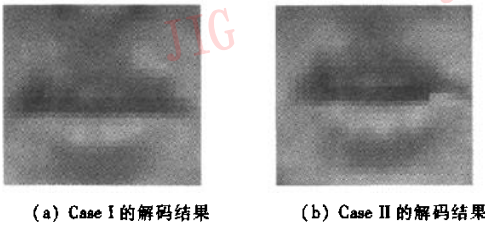


图 5 两种丢包情况下的解码结果

Fig. 5 Decoding results of two different packet loss patterns

记图 1 中  $a$ 、 $c$ 、 $b'$  丢失,  $a'$ 、 $c'$ 、 $b$  收到的情况为 Case III。图 6 给出了本文的多描述方案和 Reibman 等人提出的多描述方案<sup>[1]</sup>在 Case III 丢包方式下的解码结果。

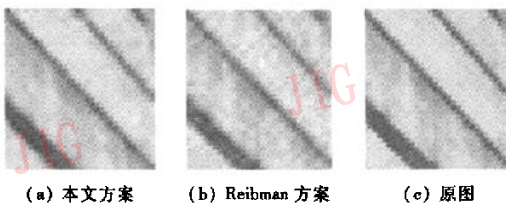


图 6 两种多描述方案的比较

Fig. 6 Comparison of two multiple description schemes

本文的方案 PSNR 值为 32.8 (dB), 而 Reibman 的方案 PSNR 值为 32.5 (dB)。Reibman 方案 PSNR 值下降的主要原因是漂移问题。从主观质量上看, 在相同的丢包方式下, 本文的方案优于 Reibman 的方案。

## 5 结 论

本文提出了一种以分布式编解码算法为基础的多描述视频编解码器。理论分析与实验结果均表明, 凭借着分布式编码的稳健性, 这种新的多描述视频编解码器可以有效地避免由于丢包产生的漂移问题。

## 参考文献 (References)

- 1 Reibman A R, Jafarkhani H, Wang Y, *et al.* Multiple-description video coding using motion-compensated temporal prediction [J]. *IEEE Transactions on Circuit and Systems for Video Technology*, 2002, 12(3): 193 ~ 204.
- 2 Wang Y, Lin S. Error-resilient video coding using multiple description motion compensation [J]. *IEEE Transactions on Circuit and Systems for Video Technology*, 2002, 12(6): 438 ~ 452.
- 3 Jagmohan A, Ahuja N. Wyner-Ziv encoded predictive multiple descriptions [A]. In: *Proceedings of the Data Compression Conference [C]*, Snowbird, Utah, USA, 2003; 213 ~ 222.
- 4 Jagmohan A, Sehgal A, Ahuja N. Two-channel predictive multiple description coding [A]. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing [C]*, Genova, Italy, 2005; II-670-3.
- 5 Gogate N, Chung D, Panwar S, *et al.* Supporting image and video applications in a multihop radio environment using path diversity and multiple description coding [J]. *IEEE Transactions on Circuit and Systems for Video Technology*, 2002, 12(9): 777 ~ 792.
- 6 Girod B, Aaron A M, Rane S, *et al.* Distributed video coding [J]. *Proceedings of the IEEE*, 2005, 93(1): 71 ~ 83.
- 7 Liu Z, Cheng S, Liveris A D, *et al.* Slepian-Wolf coded nested lattice quantization for Wyner-Ziv coding: high-rate performance analysis and code design [J]. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2006, 52(10): 4358 ~ 4379.
- 8 Rowitch D N, Milstein L B. On the performance of hybrid FEC/ARQ systems using rate compatible punctured turbo (RCPT) codes [J]. *IEEE Transactions on Communications*, 2000, 28(6): 948 ~ 959.
- 9 Ascenso J, Brites C, Pereira F. Improving frame interpolation with spatial motion smoothing for pixel domain distributed video coding [A]. In: *5th EURASIP Conference on Speech and Image Processing, Multimedia Communications and Services [C]*, Smolenice, Slovak Republic, 2005.