

# 基于比特平面预测的分布式视频 WZ 帧重构方法

张晓斐 熊红凯 张永生

(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** 分布式视频编码(DVC)是建立在 Wyner-Ziv(WZ)有损源编码理论基础上的全新视频编码框架,具有编码复杂度低、抗误码性能好的特点。普通的 DVC 在解码端用插值的方法构造边信息时会丢失部分信息,提出了从用于插值边信息的前后帧中提取特征并预测重构帧的下一个比特值,并利用预测的比特值修改重构概率密度函数。实验结果表明,该方法能在传输较少比特平面时提高重构帧的 PSNR 和主观质量。

**关键词** 分布式视频编码 Wyner-Ziv 编码 比特平面 概率密度函数(PDF)

中图分类号: TP301.6 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)10-2172-05

## Bit Plane Prediction Based WZ Frame Reconstruction in DVC

ZHANG Xiao-fei, XIONG Hong-kai, ZHANG Yong-sheng

(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** Distributed video coding(DVC) is a new paradigm for video compression, based on Wyner-Ziv's lossy source coding theory. DVC features low-complexity video encoding and is robust against transmission errors. Common DVC loses information during the side information(SI) interpolation at the decoder. In this paper, we extract features from the adjacent frames which are used to interpolate the SI so as to predict the next bit of the reconstructed frame. The predicted bit is used to modify the probability density function(PDF) of reconstruction. The experimental results show that our method achieves higher PSNR and better subjective effects than other methods even when fewer bit planes are transmitted.

**Keywords** distributed video coding, Wyner-Ziv coding, bit plane, probability density function(PDF)

## 1 引言

分布式视频编码是建立在 Wyner-Ziv 有损编码理论<sup>[1]</sup>上的全新视频编码方法。与传统的视频编码标准,如 MPEG 和 H.26X 等相比,将运动补偿等统计特性的利用放到解码端进行,因此,分布式视频编码的编码器更为简单。

在解码端,现有的 DVC 用插值的方法构造边信息<sup>[2]</sup>,这一过程容易丢失信息。本文从用于插值边

信息的前后帧中提取特征,用该特征预测重构帧的下一个比特。并进一步基于该预测比特修改重构时的概率密度函数(PDF),使得能够在传输较少比特平面时提高重构帧的主客观质量。

## 2 分布式视频编码框架

### 2.1 像素域的 Wyner-Ziv 编码

本文采用基于像素域的 Wyner-Ziv 视频编码框架<sup>[3]</sup>,如图 1 所示。定义输入视频为  $X_1, X_2, \dots, X_N$ ,

基金项目:国家自然科学基金委项目(60632040,60772099,60802019);国家高技术研究发展计划(863)项目(2006AA01Z322)

收稿日期:2009-07-02;改回日期:2009-07-14

第一作者简介:张晓斐(1984 ~ ),女。上海交通大学电子工程系图像通信与信息处理研究所硕士研究生。主要研究领域为分布式视频编码,信道编码。E-mail:zhangxiaofei@sjtu.edu.cn

$N$  为序列长度。将序列分为关键帧 (K 帧)  $X_{2k+1}$  和 WZ 帧  $X_{2k}$ 。K 帧采用传统的帧内编码方式进行编解码,得到带失真的  $\hat{X}_{(2k+1)}$ 。WZ 帧采用有损分布

式视频编码方式进行帧内编码,并在解码端结合边信息进行联合解码和重构。

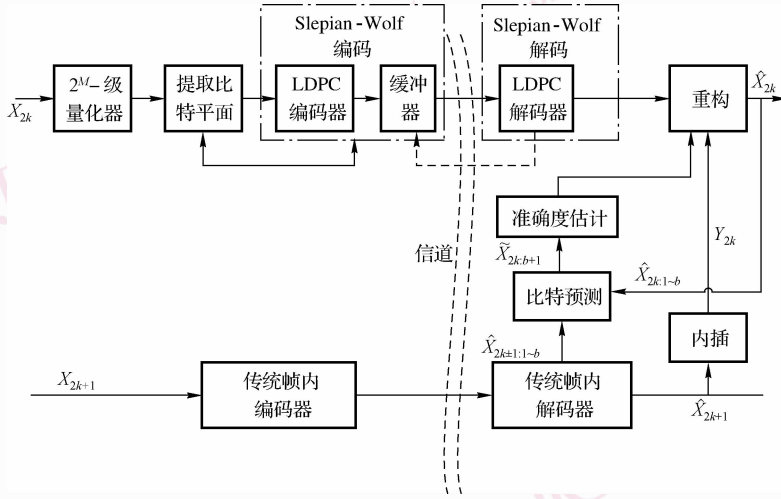


图 1 基于像素域的 Wyner-Ziv 编码框架

Fig. 1 Pixel domain Wyner-Ziv coding architecture

解码端边信息的构造将直接影响分布式视频编码的整体率失真性能。边信息构造相当于在不知道重构帧的情况下用前后帧插值出边信息。本文采用 Ascenso 等人提出的算法构造信息  $Y_{2k}$ <sup>[4]</sup>。

### 2.2 解码端重构方法

图 1 中的重构模块根据  $Y_{2k}$  和重构 PDF 重构出 WZ 帧  $\hat{X}_{2k}$ 。重构 PDF 是指边信息和当前解码帧的概率分布,一般认为其近似满足 Laplacian 分布:

$$P(X_{2k} = x | Y_{2k} = y) = \frac{\alpha}{2} e^{-\alpha|x-y|} \quad (q_l \leq x < q_r) \quad (1)$$

式中,  $\alpha$  为分布参数,取  $\alpha = 2/\sigma^2$  (方差  $\sigma^2$  由对 K 帧的运动补偿的残差做估计得到)。定义  $X_{2k:b}$  为  $X_{2k}$  的第  $b$  个比特平面(本文考虑 8 比特灰度图,  $b = 1, \dots, 8$ , 其中 1 为最高比特平面)。则式(1)为第  $b$  个比特平面时的重构 PDF,  $q_l$  和  $q_r$  对应于重构第  $b$  个比特平面时的量化区间的左、右边界。本文采用求取重构 PDF 质心的方法<sup>[5]</sup>得到最优重构值。定义质心为  $x_c$ , 其值由式(2)得到:

$$x_c = E[x | q_l \leq x < q_r, y] = \frac{\int_{q_l}^{q_r} x P(X_{2k} | Y_{2k}) dx}{\int_{q_l}^{q_r} P(X_{2k} | Y_{2k}) dx} \quad (2)$$

然而, 概率密度函数  $P(X_{2k} | Y_{2k})$  并不能精确描述所有视频运动模式的可能性。因此, 需要建立更为可靠的重构 PDF。

## 3 基于比特平面预测的重构方法

### 3.1 比特平面预测方法

普通 DVC 在解码端用 WZ 帧的前后帧内插得到边信息。这一插值过程容易丢失一定信息。若能够直接利用前后帧中的已经解码的信息, 则可能有助于找回这些丢失的信息。基于以上思想, 本文在原有边信息  $Y_{2k}$  的基础上, 从 WZ 帧中已经解码完成的比特平面以及 WZ 帧的前后帧中提取特征作为  $Y_{2k}$  的辅助信息, 并利用这些信息修改重构时的 PDF, 提高重构的 WZ 帧的质量。

本文在图 1 的基于像素域的 Wyner-Ziv 编码框架上增加了比特预测模块和准确度估计模块(图 1 中加粗部分)。比特预测模块用于根据相邻帧以及当前帧已经解码出的比特来预测当前帧的下一位比特, 其工作流程如图 2 所示。假设当前 WZ 帧已经解码完成前  $b$  个比特平面, 则比特预测模块的输入为  $\hat{X}_{2k}$  中已经解码的第 1 至  $b$  个比特平面  $\hat{X}_{2k:1-b}$  和  $\hat{X}_{2k+1}$  中相应的第 1 至  $b$  个比特平面  $\hat{X}_{2k+1:1-b}$ 。定义需要比较的比特个数为  $m$ , 则比特

预测模块依次比较(如图 2 中的判断模块所示)相应的  $m$  个比特是否都相等,即  $\hat{X}_{2k:b}$  和  $\hat{X}_{2k+1:b}, \dots, \hat{X}_{2k:b-m+1}$  和  $\hat{X}_{2k+1:b-m+1}$  是否分别相等。若都相等,则满足比特预测条件,此时比特预测模块输出预测比特  $\tilde{X}_{2k:b+1}$ ,其值等于相邻帧的下一位比特的值,即  $\hat{X}_{2k+1:b+1}$ 。反之,若只要有一位比特比较结果不相等,即图 2 中的判断模块只要有一个不满足判断条件,则跳过输出预测比特模块直接结束。

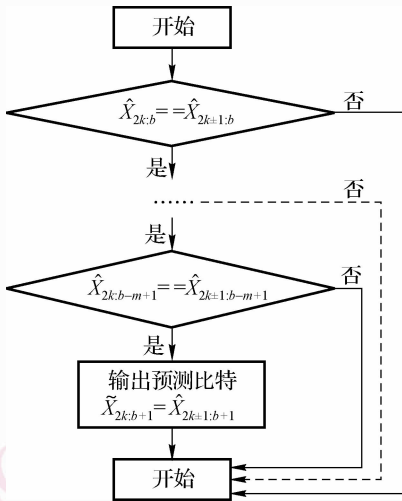


图 2 比特平面预测流程图

Fig. 2 Flow diagram of bit plane prediction

在比特模块有预测值输出的情况下,预测比特  $\tilde{X}_{2k:b+1}$  将被进一步送至准确度估计模块。

### 3.2 比特平面预测准确度统计及 $m$ 的选取

给出采用 3.1 小节所述的方法预测出的比特做准确度统计(图 1 的准确度估计模块),以说明该方法的实际利用价值。并选取最佳比较比特个数  $m$ 。

假设当前重构比特平面  $b$  的总比特个数为  $\mathcal{B}$  (也是一帧的像素个数),指定  $\mathcal{B}$  中满足比特预测条件的比特个数为  $u$ ,以及  $u$  中真实的  $\hat{X}_{2k:b+1}$  值等于  $\hat{X}_{2k+1:b+1}$  的比特个数为  $v$ ,则定义比特平面预测方法的准确度为  $\delta_a = \frac{v}{u} (0 \leq \delta_a \leq 1)$ 。表 1 统计了  $m$  取不同值时,不同序列在不同比特平面下的准确度  $\delta_a$ 。表中另一个参数  $\xi = \frac{u}{\mathcal{B}} (0 \leq \xi \leq 1)$  表示一帧中参与比特平面预测的比特比例。

表 1 不同  $m$  对准确度的影响, bus 序列

Tab. 1 Impact on accuracy with different  $m$ , bus

$m$	BP	1	2	3	4	5	6	7
1	$\xi$	0.94	0.85	0.74	0.64	0.56	0.51	0.45
	$\delta_a$	0.89	0.83	0.76	0.66	0.56	0.51	0.55
2	$\xi$	—	0.83	0.70	0.56	0.42	0.31	0.26
	$\delta_a$	—	0.84	0.77	0.69	0.59	0.52	0.50
3	$\xi$	—	—	0.70	0.54	0.39	0.25	0.16
	$\delta_a$	—	—	0.77	0.70	0.60	0.53	0.50
all	$\xi$	0.94	0.83	0.70	0.54	0.38	0.23	0.12
	$\delta_a$	0.89	0.84	0.77	0.70	0.60	0.53	0.51

表 1 中, BP 值表示正在解码的比特平面,  $m$  为 all 表示比较前面已解出的所有比特平面。“—”表示当前可以比较的比特平面数小于  $m$ , 其准确度和  $m$  取 all 时相同。由表 1 可以看出,  $m$  的变化对比特平面预测方法的准确度  $\delta_a$  的影响不大; 相反, 随着  $m$  的增大, 参与比特平面预测方法的比特比例  $\xi$  则明显下降。因此, 在不影响准确度的前提下, 采用较小的  $m$  使参与比特平面预测的比特数增加。另外, 从图 3 可以看到, 不同的序列随着比特平面的增多,  $m$  的下降接近线性变化, 图中粗实线为拟合的直线。让  $\delta_a(b)$  表示第  $b$  个比特平面的准确度, 本文假设  $\delta_a(b-1), \delta_a(b)$  和  $\delta_a(b+1)$  3 点呈线性关系。因此, 只需记录  $\delta_a(1), \delta_a(2)$ , 即可按照式(3)推算  $\delta_a(3), \delta_a(4), \dots, \delta_a(7)$  也可以类推。此外, 在准确度估计模块中, 设定阈值  $T$ , 当该比特平面准确度小于  $T$  时, 预测值不会被送到重构模块。

$$\delta_a(b+1) = 2\delta_a(b) - \delta_a(b-1) \quad (3)$$

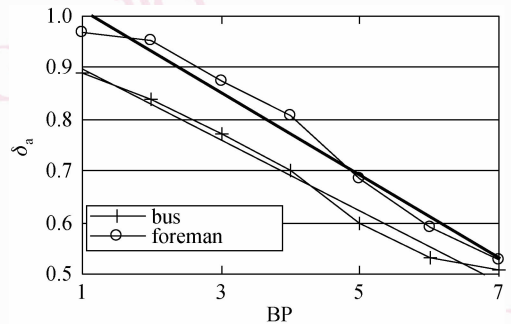


图 3 各序列准确度随比特平面变换关系  
Fig. 3 Accuracy vs BP, different sequences

### 3.3 改进的重构 PDF 及 WZ 帧重构

根据 3.1 小节提出的比特平面预测方法,重构 PDF 将根据预测的比特做相应的更改。解码第  $b$  个比特平面的 PDF(式(1))如图 4(a)所示;若  $\tilde{X}_{2k:b+1} = 0$  此时的 PDF 变为

$$P(X_{2k} = x | Y_{2k} = y, \tilde{X}_{2k:b+1} = 0) = \begin{cases} \frac{\alpha}{2} e^{-\alpha|x-y|} & q_l \leq x < \left(q_r - \frac{\Delta}{2}\right) \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

式中,  $\Delta = q_r - q_l$  为量化区间的大小,对应的 PDF 如图 4(b)所示;若  $\tilde{X}_{2k:b+1} = 1$ , PDF 变为

$$P(X_{2k} = x | Y_{2k} = y, \tilde{X}_{2k:b+1} = 1) = \begin{cases} \frac{\alpha}{2} e^{-\alpha|x-y|} & \left(q_l + \frac{\Delta}{2}\right) \leq x < q_r \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

对应图 4(c)。

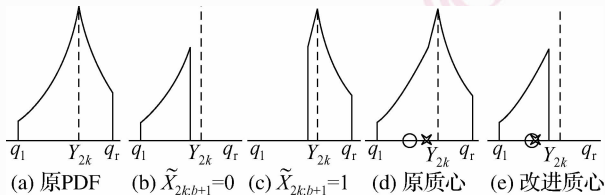


图 4 解第  $b$  个比特平面时重构 PDF

Fig. 4 Reconstruction PDF when decoding the  $b$  th bit plane

求得改进的 PDF 之后,利用式(2)在量化区间  $[q_l, q_r]$  内求取该比特平面时的最优重构。图 4(d)、图 4(e)为算法示意图,圆圈“O”和叉“x”分别表示真实像素值和质心位置。改进后的 PDF 可能使新质心(图 4(e))比原来的质心(图 4(d))更靠近真实值。

## 4 实验结果

实验采用多个常用视频序列对本文提出的方法进行了仿真。序列为 CIF(352 × 288)格式,长度为 150 帧。测试序列中包括了复杂纹理(flower),高速运动(bus)等各类情况。

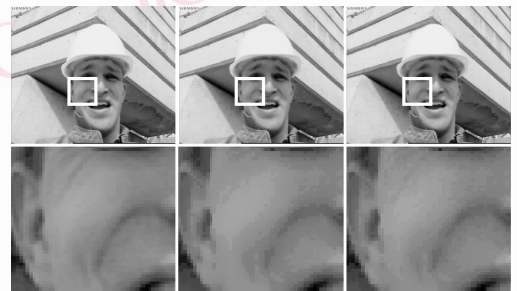
表 2 列出了 3 个不同序列采用本文重构方法在 WZ 帧各比特平面获得的增益,  $BP = 6, 7$  时比特平面准确度小于阈值  $T$ (实验中  $T = 0.55$ )。不难发

现,本文方法与普通 DVC 比较,对于不同的序列,在绝大多数比特平面上都能获得正的增益,尤其是在第 4 或第 5 个比特平面,3 个序列都可以达到最大的增益。因此,本方法对各种序列的绝大多数各个比特平面在重构时都是有效的。

表 2 WZ 帧重构各比特平面获得增益

Tab. 2 Gain of bit planes of the reconstructed WZ frame

序列	BP	1	2	3	4	5
foreman	普通 DVC	32.937	34.318	35.752	38.384	42.375
	本文方法	33.286	34.623	36.250	39.285	42.842
	增益(dB)	0.349	0.305	0.498	0.901	0.467
flower	普通 DVC	25.665	28.263	32.675	35.804	41.146
	本文方法	26.137	28.865	32.675	36.946	42.489
	增益(dB)	0.472	0.602	0	1.142	1.343
bus	普通 DVC	24.498	27.652	30.971	35.589	41.275
	本文方法	24.850	27.851	31.462	36.081	41.391
	增益(dB)	0.352	0.199	0.491	0.551	0.211



(a) 原始图 (b) 普通 DVC (c) 本文方法

图 5 Foreman CIF 重构完成 4 个比特平面

Fig. 5 Foreman CIF after 4 bit planes have been reconstructed

图 5 是 foreman 第 22 帧在重构完成第 4 个比特平面后的结果图和相应的细节放大图,可以观察到,普通的 DVC 在解码完第 4 个比特平面图像的细节会存在明显的明暗分界线,而本文结果像素值过渡自然,没有很明显的分界线,主观效果更好。同样,图 6 是 bus 第 25 帧重构完成一个比特平面图像细节。可以发现,普通 DVC 此时还未能很好重构出由解码端运动补偿失误产生的块效应,使墙壁与周围树木的分界线不明显;而本方法在该比特平面下已经可以清楚重构出墙壁的边缘,基本消除块效应。综合表 2,图 5 和图 6,本方法无论在主观还是客观

效果上都比普通的 DVC 有明显的提高。

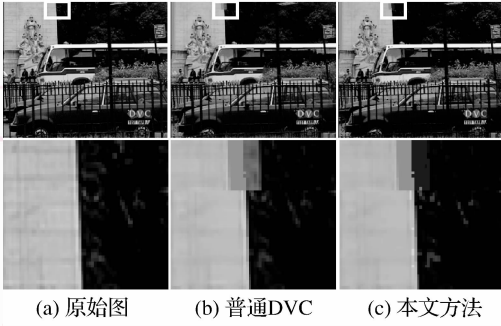


图 6 Bus CIF 重构完成 1 个比特平面

Fig. 6 Bus CIF after 1 bit planes have been reconstructed

## 5 结 论

本文提出了利用 WZ 帧的前后帧的比特信息预测 WZ 帧下一位比特的方法,并进一步利用预测的比特修改重构概率密度函数。实验结果显示,改进的重构 PDF 能够比普通 DVC 更准确地重构出 WZ 帧,并且主观效果也比普通 DVC 有所改善。如何进

一步从已解码的帧中挖掘辅助信息,建立更为准确的重构概率密度函数以及将改进的概率函数与 DVC 的信道模型相结合,将是下一步的研究重点。

## 参考文献 (References)

- 1 Aaron D W. On source coding with side information at the decoder [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1975, 21(3): 294-300.
- 2 Girod B, Aagon A M, Rane S. Distributed video coding [J]. Proceedings of the IEEE, 2005, 93(1): 71-83.
- 3 Aaron A, Zhang Rui, Girod B. Wyner-Ziv coding of motion video [A]. In: Proceedings of the Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers [C], Pacific Grove, CA, USA, 2002: 240-244.
- 4 Ascenso J, Brites C, Pereira F. Improving frame interpolation with spatial motion smoothing for pixel domain distributed video coding [EB/OL]. [http://www.img.lx.it.pt/~fp/artigos/EURASIP05\\_DVC\\_final.pdf](http://www.img.lx.it.pt/~fp/artigos/EURASIP05_DVC_final.pdf), 2005-06-29/2009-06-20.
- 5 Kubasov D, Nayak J, Guillemot C. Optimal reconstruction in wyner-ziv video coding with multiple side information [EB/OL]. [http://www.irisa.fr/temics/publis/2007/mmse\\_reviewed\\_final.pdf](http://www.irisa.fr/temics/publis/2007/mmse_reviewed_final.pdf), 2007-10-01/2009-06-20.