

doi: 103969/j. issn. 0490-6756. 2016. 01. 017

# 一种新的 Wyner-Ziv 视频编码 关键帧抗误码方案研究

刘晓娟, 卿粼波, 熊淑华, 欧先锋  
(四川大学电子信息学院图像信息研究所, 成都 610065)

**摘要:** 在 Wyner-Ziv 视频编码传输系统中, 关键帧的正确传输和准确解码对于整个系统的编解码性能有着重要影响. 然而在无线通信系统中, 由于网络故障、网络拥塞等会造成关键帧数据丢包的问题, 这严重影响了接收端的解码质量. 本文针对关键帧丢包问题提出一种新的解决方案, 即在有反馈信道的条件下, 通过对丢包帧增加部分额外 Wyner-Ziv 码流进行纠错并恢复解码端的受损图像, 从而有效地提升视频质量. 实验测试结果表明: 当关键帧丢包率为 1%~20% 时, 相比于典型的帧内错误隐藏算法, 本文方案对重建图像纠错后的 PSNR 最大可提高 20dB, 且即便是丢包率很高的情况下, 也能够较好地提升关键帧的 R-D 性能.

**关键词:** Wyner-Ziv 视频编码; 无线通信系统; 关键帧数据丢包; Wyner-Ziv 码流  
**中图分类号:** TN919.81 **文献标识码:** A **文章编号:** 0490-6756(2016)01-0098-07

## Anovel error resilience scheme for key frames in Wyner-Ziv video coding

LIU Xiao-Juan, QING Lin-Bo, XIONG Shu-Hua, OU Xian-Feng

(Image Information Institute, School of Electronic Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** In Wyner-Ziv video coding system, correct transmission and accurate decoding of key frames would affect the whole system performance directly. However, in wireless communication system, data loss of key frames often happened due to network failure, network congestion or other reasons. Data loss seriously affect the decoding quality. This paper presents a novel solution for the data loss of key frames under the conditions of feedback channel. In the solution, by sending some extra Wyner-Ziv code streams along with the origin key frames, errors of the damaged image at the decoder can be high-efficiently corrected and restored. Simulation results show that the proposed solution could reconstruct the damaged image effectively, and the quality could be improved up to 20dB compared with typical error concealment method when the data loss ratio is 1%~20%. Furthermore, R-D performance of key frames could be improved even if the data loss ratio is very high.

**Key words:** Wyner-Ziv video coding; Wireless communication system; Data loss of key frame; Wyner-Ziv code streams

收稿日期: 2015-03-25

基金项目: 国家自然科学基金(61201388); 四川大学优秀青年基金项目(2015SCU04A11)

作者简介: 刘晓娟(1990—), 女, 内蒙古乌兰察布人, 硕士研究生, 研究方向为视频通信. E-mail: 919942904@qq.com

通讯作者: 卿粼波. E-mail: qing\_lb@scu.edu.cn.

## 1 引言

在多媒体技术快速发展的推动下, 视频通信技术得到了长足的发展, 并形成了 ITU-T 的 H. 26X 系列<sup>[1,2]</sup>和 ISO 的 MPEG-X 系列等视频编解码标准<sup>[3-5]</sup>. 之后由联合视频编码组 (Joint Video Team, JVT) 提出的 H. 264/AVC<sup>[6]</sup> 成为目前最有效且应用最为广泛的主流视频压缩标准. 然而, 随着视频应用的发展, 人们对视频应用的需求越来越向高清晰度、高压缩率以及高帧率的方向发展, H. 264/AVC 运算性能的缺陷愈发凸显. 高效视频编解码<sup>[7]</sup> (High Efficiency Video Coding, HEVC) 在 H. 264/AVC 原有的框架下融入一些新的技术, 具有更高的压缩率和可并行性等特征, 能够适应高清视频的应用场合, 从而成为新一代的视频编解码标准.

针对设备容量、存储能力及计算处理能力等资源有限的终端设备, 通常采用无线移动终端设备进行信息传递, 此时, 若采用变换加预测编码结构的传统视频编解码标准会带来编码端太过复杂的问题, 成为限制其应用的较大瓶颈, 而基于有损的 Wyner-Ziv<sup>[8]</sup> 视频编码技术, 因其具有低编码复杂度的结构特点为解决上述问题提供了一种可能. 然而, 由于无线信道具有易错、时变、带宽有限等特点容易造成数据受损或丢失问题. 针对上述情况, 通常采用前向纠错<sup>[9]</sup> (Forward Error Correction, FEC) 和自动反馈重传<sup>[10]</sup> (Auto Repeat-request, ARQ) 等差错控制技术来恢复传输过程中造成的误码和丢失. Dissanayake<sup>[11]</sup> 提出利用 Wyner-Ziv 码流来实现传统视频编码的抗误码传输. 而在

Wyner-Ziv 系统的框架下, 文献<sup>[12]</sup> 针对 Wyner-Ziv 帧的丢包提出一种新的打包方案, 能够有效地重建视频.

然而, 文献<sup>[12]</sup> 是假设在关键帧正确解码的前提下, 传输 Wyner-Ziv 帧的抗误码方案, 而当前对于 Wyner-Ziv 系统中关键帧的抗误码研究较少. 事实上, 在 Wyner-Ziv 系统中, 关键帧的正确传输和准确解码至关重要, 解码端的关键帧将用于产生边信息, 而边信息质量是影响整个 Wyner-Ziv 系统性能的关键因素之一. 从所查文献中还未发现有专门针对 Wyner-Ziv 系统中的关键帧利用 Wyner-Ziv (WZ) 码流进行保护传输的研究, 因此, 本文针对传输过程中关键帧的随机丢包问题, 提出了增加部分额外 WZ 码流对关键帧进行抗误码保护方案.

## 2 Wyner-Ziv 视频编码系统概述

与传统的视频编解码系统相比, Wyner-Ziv 系统中编码端仅使用简单的独立编码方式, 而把占据整个编码端约 80% 计算量<sup>[13]</sup> 的运动估计、运动补偿转移到解码端, 从而使得编码端的复杂度大大降低; 此外, 在该系统中, 编码时信源之间无交互、独立编码, 因而在数据传输过程中, 当单帧数据出现丢失或差错时, 不会造成重建图像的误码扩散, 系统的鲁棒性大大提高.

由 Aaron 等人<sup>[14]</sup> 提出, 在 DISCOVER<sup>[15]</sup> 项目的支持下集成了各种优秀算法和技术的基于变换域 Wyner-Ziv (Transform Domain Wyner-Ziv, TDWZ) 视频编码系统成为了当前研究中最典型的实现方案, 其框架如图 1 所示.

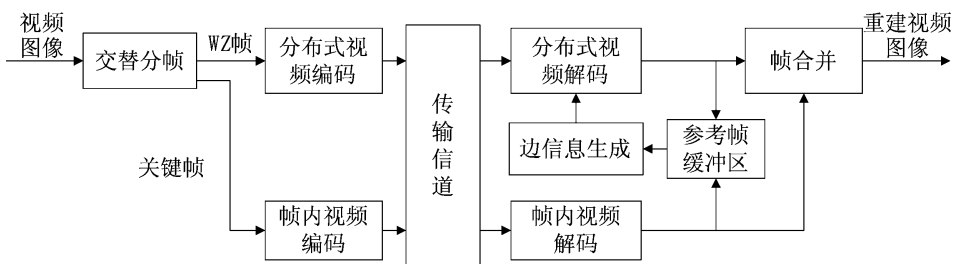


图 1 典型的 TDWZ 视频编码系统

Fig. 1 The typical TDWZ video coding system

图 1 中, 视频图像被交替划分为关键帧 (Key Frame, KF) 和 Wyner-Ziv 帧 (WZ Frame, WZF), KF 采用传统的帧内模式进行独立编解码, WZF

在编码端采用 Wyner-Ziv 模式进行独立编码, 只传送校验位, 无任何附加信息. 解码端参考已重建的前后相邻关键帧, 通过运动估计和运动补偿的方式

生成边信息,利用边信息和 WZF 的校验位重建当前帧.

### 3 基于 WZ 码流的关键帧抗误码方案

在 TDWZ 系统中,边信息是基于解码端 KF 正确解码的前提下生成的当前帧的一个粗略估计,其质量直接影响整个系统的压缩效率和 R-D 性

能.因此,KF 的正确传输和准确解码至关重要,KF 数据的丢失会引起误码漂移,对 TDWZ 系统的整体性能造成严重影响,因而针对 KF 的数据丢包问题,充分利用 Wyner-Ziv 码流的高纠错能力和高误码鲁棒性优势,提出一种新的针对 KF 抗误码传输方案,原理框图如图 2 所示.

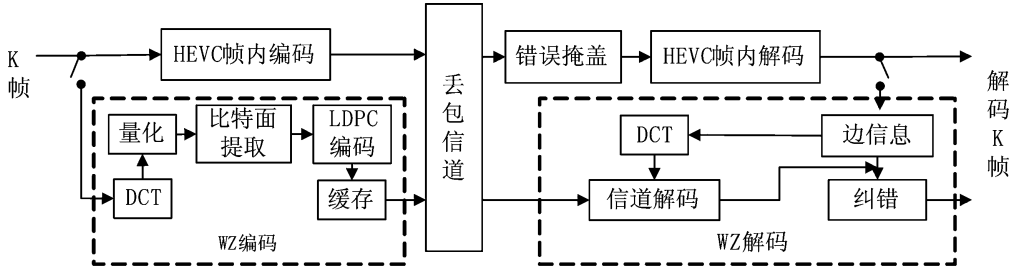


图 2 本文提出的关键帧抗误码方案原理框架

Fig. 2 Structure of the proposed scheme for key frames' error resilience

主要工作原理包括 A 和 B 两部分.首先,KF 在编码端分别进行 HEVC 帧内编码和 Wyner-Ziv 编码,其次将 HEVC 码流送入信道而把 WZ 码流存储在缓冲区内.在解码端收到 HEVC 码流后先判断有无丢包,若无丢包,则只需对 HEVC 码流解码重建视频即可,缓冲区内的 WZ 码流直接删除;若有丢包,则首先根据错误掩盖技术对视频码流解码重建,然后通过反馈信道通知发送端发送部分 WZ 码流(校验消息),将错误图像作为边信息,利用传送过来的校验信息校正并完成视频重建,具体的解码流程如图 3 所示.

在 Wyner-Ziv 视频编码系统中,解码端的计算复杂度最高的是生成边信息时的运动估计部分,而本文方案中将受损图像作为边信息进行误码保护,并没有进行高复杂度的运动估计,因此不会过多地增加解码端的复杂度,以下将对本文方案的基本原理进行详细描述.

(1) 编码端:对 KF 进行 Wyner-Ziv 编码时先对图像分块(一般是  $4 \times 4$  的分块方式),然后作整数 DCT 变换,接着将得到的所有块的频域系数重组为 16 个数据段  $D_i, i \in \{0, 1, \dots, 15\}$ ,并对各数据段分配不同的量化比特数  $Q_i$ . 其中,直流系数 DC 是图像的均值,集中了主要的能量,取值范围一般在  $[0, 1020]$  区间内,分配的量化精度较高,量化间隔为

$$W_0 = 1020/2Q^0 \tag{1}$$

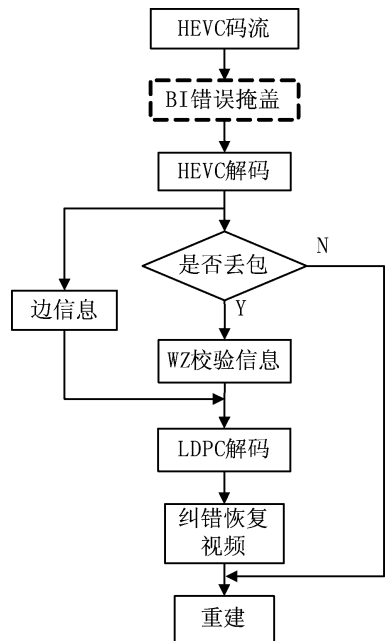


图 3 解码原理流程图

Fig. 3 The flow chart of decoding

交流系数 AC 主要包括图像的细节部分,对视觉感应效果较低,取值范围为  $[-M_i, M_i]$  (其中  $M_i = \max\{|D_i|\}$ ),因此量化精度逐次降低,量化间隔为:

$$W_i = M_i/2Q^{i-1} \tag{2}$$

然后对量化后的数据段提取比特面  $B_{ik}$ ,  $k \in \{0, 1, \dots, Q_i - 1\}$ ,  $i \in \{0, 1, \dots, 15\}$ , 接着对  $B_{ik}$  进行编码. Wyner-Ziv 编码采用的是信源信道联合编码的方式, 因而编码之后形成的 WZ 码流本身具有一定的误码鲁棒性, 本文采用当前广泛使用的低密度校验码<sup>[16]</sup> (Low-Density Parity-Check codes, LDPC) 进行编码. 编码后将信息位直接抛弃, 而把生成的校验信息存储在缓冲区中. 当 KF 出错时, 编码器先发送一部分数据, 若解码失败, 则继续发送, 直到接收端解码成功.

(2) 解码端: Wyner-Ziv 解码时, 首先, 将当前的 HEVC 重建图像作为边信息  $SI$ ,  $SI$  经过相同的 DCT 变换、量化和比特面提取后, 得到与比特面对应的边信息数据  $S_{ik}$ ,  $k \in \{0, 1, \dots, Q_i - 1\}$ ,  $i \in \{0, 1, \dots, 15\}$ . 同时, 由  $SI$  和前向参考帧估计当前帧的虚拟噪声分布, 频域的虚拟噪声近似服从 Laplace 分布<sup>[14]</sup>, Laplace 分布参数

$$\alpha = \sqrt{\frac{2}{\sigma^2}} \quad (3)$$

然后, 根据  $\alpha$  来计算  $S_{ik}$  的可信度概率, 综合概率值和  $\alpha$  进行信道解码, 最后根据  $SI$  和解码码流对 KF 进行纠错重建.

## 4 实验方案设计与结果分析

### 4.1 实验方案设计

仿真实验选用具有不同的运动特征和剧烈程度的视频序列 bus、coastguard 和 foreman 的前 100 帧来测试, 视频格式为 cif(352 \* 288), 帧率为 15 bps, Y : U : V 为 4 : 2 : 0. 由于 Wyner-Ziv 系统的编码端采用传统帧内编码方式, 因此本文采用空域错误隐藏算法中比较典型的双线性插值算法<sup>[17]</sup> (Bi-linear Interpolation, BI) 来进行错误掩盖. 如图 4 所示, 为传输过程中出现丢包或有误码的宏块,  $P$  为当前宏块中某一个出现错误的像素点, 在 BI 算法中,  $P$  值等于与其相邻的四个宏块中同一水平或垂直位置边界点  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_4$  的加权值, 边界点距离当前像素点的距离分别为  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$ , 那么  $P$  点的值为

$$P = \frac{(P_1 \times D_2 + P_2 \times D_1 + P_3 \times D_4 + P_4 \times D_3)}{D_1 + D_2 + D_3 + D_4} \quad (4)$$

本文搭建了基于 HEVC 的测试软件 HM-11.0 和 DISCOVER 的 Wyner-Ziv 视频编码系统的实验平台, 共设计了三个实验来测定本文提出的

关键帧抗误码传输方案在不同丢包率(1%、5%、10%、20%)下的纠错性能. 实验一中, HEVC 帧内编码时, 量化步长设定为 22, 每个 slice 包含一个 LCU, LCU 以深度为 8 的四叉树进行递归划分, 以 slice 为单位来模拟实际信道传输的丢包. Wyner-Ziv 编码时, 分块大小为  $4 \times 4$ , 使用量化矩阵 2<sup>[15]</sup> 进行编码.

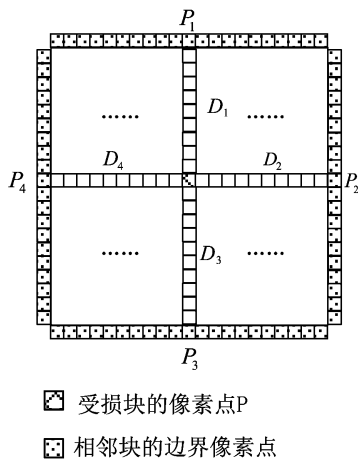


图 4 双线性插值算法原理

Fig. 4 Algorithms of Bi-linear Interpolation

信道丢包问题引起的失真会导致视频的某些信息不可读, 为了保证出错视频的可靠性和稳定性, 实验二测试了视频在丢包率为 5% 的信道中传输时, 加入部分 WZ 码流保护后各帧的 PSNR 值, HEVC 和 Wyner-Ziv 的编码模式同上.

实验三在测定 R-D 性能曲线时, HEVC 帧内编码的量化步长分别选取了 22、23、25、28, Wyner-Ziv 编码的分块大小为  $4 \times 4$ , 量化矩阵为 2 进行编码. 以下的实验结果详细全面地给出了本文提出的抗误码方案在无线信道传输时亮度信息的性能比较.

### 4.2 实验结果与分析

表 1 分别为三个序列用 HEVC 帧内编码方法编码时的码率和 PSNR 值.

表 1 HEVC 帧内编码码率和 PSNR 测试结果

Tab. 1 The encoding bitrate and psnr of HEVC intra code

序列	bus	coastguard	foreman
Rate(kbps)	3098.1	2583.5	1658.5
PSNR(dB)	41.5	41.5	42.2

表 2 为在不同丢包率的情况下对误码掩盖后的重建视频采用 WZ 码流纠错的率失真性能提升。

表 2 不同丢包率下纠错性能比较

Tab. 2 Error correction performance with different data loss ratio

丢包率 (%)	bus		coastgaurd		foreman	
	$\Delta$ Rate	$\Delta$ PSNR	$\Delta$ Rate	$\Delta$ PSNR	$\Delta$ Rate	$\Delta$ PSNR
1	221.3	2.0	157.2	1.7	133.1	2.3
5	792.0	7.8	604.3	7.2	486.0	10.1
10	1032.8	11.4	799.5	10.9	645.1	14.6
20	1127.1	13.6	970.9	14.6	794.0	19.2

综合表 1 和表 2 的测试实验数据可以看出,在不同丢包率下,foreman 序列的平均 RD 性能提升最大而 coastguard 最小,这是因为在选取的三个测试序列中,coastguard 的运动区域最大,bus 次之,foreman 最小.对于运动区域小的视频,其背景区域的比例较高,帧内像素间的空间相关性更为明显,当关键帧出现丢包情况时,利用相邻像素通过 BI 算法进行错误掩盖时,恢复出来的视频图像质量要高,再利用 WZ 码率纠错时,最终解码出来的视频帧质量相比,运动区域小的序列效果更好。

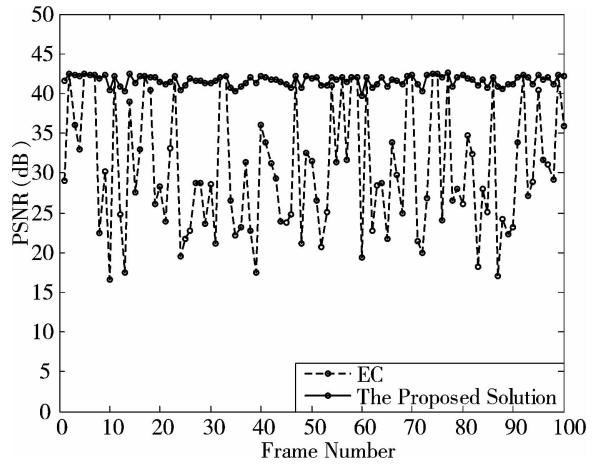
为了进一步说明本文提出的方案的有效性,我们对 EC 算法进行错误隐藏后的视频帧质量与本文方案做了详细对比.图 5 分别为在丢包率为 5%的信道中传输时,bus、coastguard 和 foreman 序列的前 100 帧采用本文提出的 WZ 码流纠错方法和仅仅采用 EC 算法的 PSNR 值的比较。

图中,EC 和 The Proposed Solution 分别表示只使用 EC 算法和本文提出的采用增加 WZ 码流纠错方案的各帧 PSNR 值.可以明显地看到,采用本文提出的方案对解码图像纠错后能够大大地提升解码视频质量的可靠性和稳定性,由此可看出本文所提出的方案的有效性。

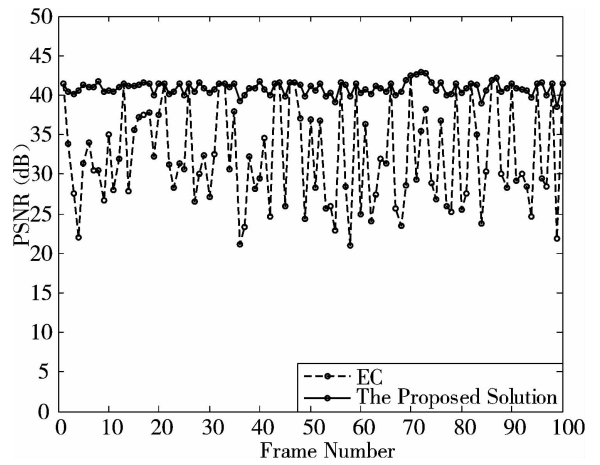
本文提出的关键帧抗误码传输方案的 R-D 率失真性能如图 6 所示,各曲线含义分别为:NoError 表示没有数据丢包时进行视频重建、EC 是在随机丢包环境下采用基于双线性插值错误掩盖方法重建、EC+WZ 为进行错误掩盖之后再利用 WZ 码流纠错重建视频。

显然,基于错误掩盖的算法已经不能通过增加码流来提升 PSNR 值,也即随着码流的增加图像

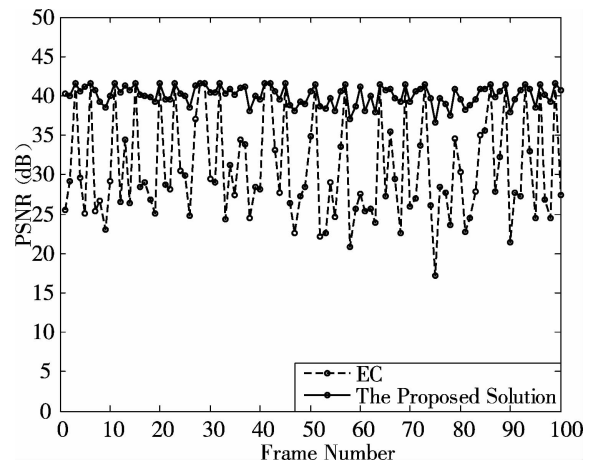
的质量不能得到改善,而利用 WZ 码流纠错的方法不仅能够提升解码质量,而且能够大大地提高关键帧的 R-D 性能。



(a) foreman 序列



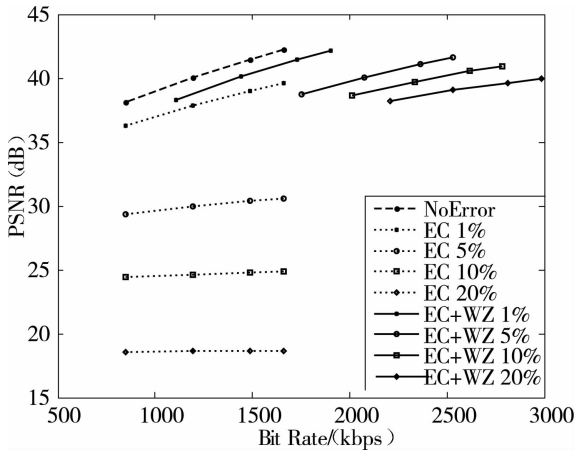
(b) coastguard 序列



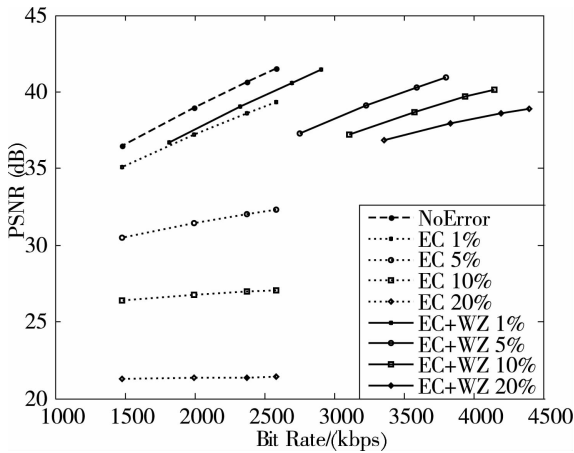
(c) bus 序列

图 5 视频帧解码质量

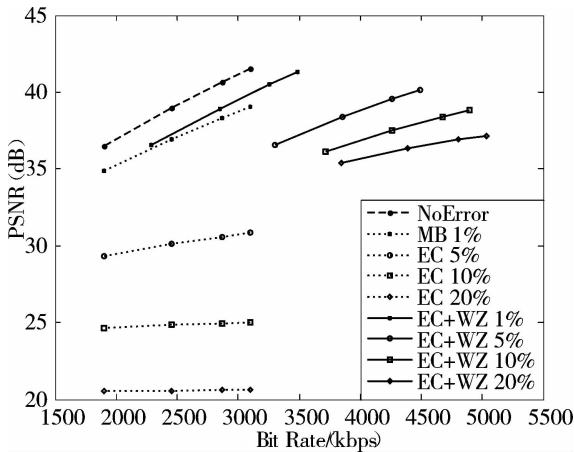
Fig. 5 The decoded frame PSNR



(a) foreman 序列



(b) coastguard 序列



(c) bus 序列

图 6 R-D 性能比较

Fig. 6 R-D performance comparison

新的抗误码方案,该方案利用 WZ 码流对产生丢包的关键帧进行纠错. 实验表明,本文提出的方案能够在不同的信道状况下,尤其在信道状况较为恶劣时(丢包率为 20%),也能够达到较好的视频恢复效果,保证了通信的可靠性. 不足的是,由于本文提出的方案是基于带反馈信道的 Wyner-Ziv 视频编码框架展开的,会造成一定的时延,下一步的工作将通过在编码端进行码率估计的方法,将本文的方案运用于无反馈系统中.

参考文献:

[1] Tan J A Y, Lai P R A, Que S K T, *et al.* A modified video coding algorithm based on the H. 261 standard [C]// Proceedings of Conference on Convergent Technologies for the Asia-Pacific Region. Bangalore, India: IEEE, 2003.

[2] Fitzek F H P, Reisslein M. MPEG-4 and H. 263 video traces for network performance evaluation [J]. IEEE J Mag, 2001, 15(6): 40.

[3] Le Gall D. MPEG: A video compression standard for multimedia applications [J]. Commun ACM, 1991, 34(4): 406.

[4] Den Brinker A C, Breebaart J, Ekstrand P, *et al.* An overview of the coding standard MPEG-4 audio amendments 1 and 2: HE-AAC, SSC, and HE-AAC v2 [EB/OL]. (2009-07-03). [2015-01-25]. <http://asmp.eurasipjournals.com/content/2009/1/468971>

[5] Koenen R, Pereira F. MPEG-7: a standardised description of audiovisual content [J]. Sign Proc Imag Commun, 2000, 16(1): 5.

[6] Wiegand T, Sullivan G J, Bjontegaard G, *et al.* Overview of the H. 264/AVC Video Coding Standard [J]. IEEE Trans Circuits Syst Video Tech, 2003, 13(7): 560.

[7] Sullivan G J, Ohm J, Han W J, *et al.* Overview of the high efficiency video coding (HEVC) standard [J]. IEEE Trans Circuits and Systems for Video Technology, 2012, 22(12): 1649.

[8] 岳虹, 卿鄰波, 何小海, 等. DMVC 中基于图像配准的空域边信息重建算法 [J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2013, 45(supp. 2): 117.

[9] Lin C H, Shieh C K, Hwang W S. An access point-based FEC mechanism for video transmission over wireless LANs [J]. IEEE Trans Multimedia, 2013, 15(1): 195.

[10] Hijaz Z, Frost V S. The impact of interference on

5 结 语

本文主要对 Wyner-Ziv 视频编码系统中的关键帧在实际传输中可能存在的丢包问题,提出一种

- an OFDM system with AMC, hybrid ARQ, and a finite queue on end-to-end performance [C]//Proceedings of 9th International Symposium Communication Systems, Networks & Digital Signal Processing (CSNDSP). Manchester, United Kingdom; IEEE, 2014.
- [11] Dissanayake M B, Worrall S, Fernando W A C. Wyner-Ziv based error correction of non-key frames for low complexity streaming applications [C]//Proceedings of 6th IEEE International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS). Kandy, Sri Lanka; IEEE, 2011.
- [12] Qing L, Masala E, He X. Practical distributed video coding in packet lossy channels [J]. *Optical Eng*, 2013, 52(7): 071506-1.
- [13] Zhang J, He Y, Yang S, *et al.* Performance and complexity joint optimization for H. 264 video coding [C]// Proceedings of the 2003 International Symposium on Circuits and Systems, 2003. ISCAS'03. Bangkok, Thailand; IEEE, 2003.
- [14] Aaron A, Rane S D, Setton E, *et al.* Transform-domain Wyner-Ziv codec for video [C]//Proceedings of International Society for Optics and Photonics, on Electronic Imaging, 2004.
- [15] Artigas X, Ascenso J, Dalai M, *et al.* The DISCOVER codec: architecture, techniques and evaluation [C]//Proceedings of Picture Coding Symposium (PCS'07). Lisbon, Portugal; IST, 2007.
- [16] Sobhani R. Generalised array low-density parity-check codes [J]. *IET Commun*, 2014, 8(12): 2121.
- [17] Aign S, Fazel K. Temporal and spatial error concealment techniques for hierarchical MPEG-2 video codec [C]//Proceedings of 1995 IEEE International Conference on Communications. Seattle, WA, USA; IEEE, 1995.