

# 无反馈分布式视频编码中 Wyner-Ziv 帧的顽健重构算法

秦浩, 彭学露, 宋彬, 刘海华

(西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室, 陕西 西安 710071)

**摘要:** 在无反馈分布式视频编码系统中, 提出了一种 Wyner-Ziv 帧的顽健重构算法。针对比特面解码错误带来的视频质量下降问题, 对 DC 系数和 AC 系数使用不同重构方法, 特别是对于解码失败的 DC 系数量化值, 利用编码端原始图像的相关信息自适应地调整边信息量化值和解码失败量化值对重构的贡献, 从而完成重构。实验结果表明, 与最小均方误差重构算法相比, 该算法可以有效提高解码视频的平均 PSNR (peak signal-to-noise ratio), 且解码视频图像的主观质量有明显改善。

**关键词:** 分布式视频编码; 无反馈; Wyner-Ziv 帧; 顽健重构

中图分类号: TN919.8

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2012)01-0167-07

## Robust reconstruction of Wyner-Ziv frame for no-feedback distributed video coding

QIN Hao, PENG Xue-lu, SONG Bin, LIU Hai-hua

(State Key Laboratory of Integrated Services Networks, Xidian University, Xi'an 710071, China)

**Abstract:** In no-feedback distributed video coding, a robust reconstruction algorithm for Wyner-Ziv frame was proposed. To avoid the video quality degradation caused by the bit plane decoding errors, DC coefficients and AC coefficients were reconstructed with different methods. In particular, for each failure decoded quantized DC coefficient, with the help of the correlation information from the encoder, the algorithm was able to adaptively adjust the contribution of the quantized side information and the decoded quantized DC coefficient to the reconstruction. Simulation results show that compared with the MMSE (minimum mean square error) algorithm, the proposed method can increase the average PSNR (peak signal-to-noise ratio) of reconstructed video greatly, and also yield significant improvement of the subjective video quality.

**Key words:** distributed video coding; no-feedback; Wyner-Ziv frame; robust reconstruction

## 1 引言

传统的混合体制视频编码标准, 如 MPEG、H.263 和 H.264/AVC 等, 都采用运动估计与补偿等工具来消除视频中大量存在的时间冗余, 尽管它们都有较高的压缩效率, 但编码器复杂度非常高; 此外传统视频编码输出的码流容错能力较差, 这是因

为分组丢失或比特错误会造成编解码两端重构缓存失配, 从而出现误码扩散现象, 极大地降低了解码端重构图像的主客观质量。而越来越多的无线多媒体应用则要求视频编码设备必须具有低功耗和低运算复杂度的特点, 这就要求视频编码器简单易实现; 另一方面, 有限的带宽和时变的信道情况则要求视频编码器输出的视频码流具有良好的压缩

收稿日期: 2011-03-21; 修回日期: 2011-11-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60802032); 高等学校创新引智计划基金资助项目 (B08038); 中央高校基本科研业务费专项基金资助项目 (K50511010020)

**Foundation Items:** The National Natural Science Foundation of China (60802032); The 111 Project (B08038); The Fundamental Research Funds for the Central Universities(K50511010020)

效率和抗误码性能。为了达到这一目标,一种新的视频编码技术—分布式视频编码(DVC, distributed video coding)<sup>[1,2]</sup>成为国内外的研究热点,目前大多数 DVC 系统使用斯坦福大学提出 Wyner-Ziv 视频编码方案<sup>[3]</sup>。

在 Wyner-Ziv 视频编解码系统中, Wyner-Ziv 帧的解码重构是一个非常重要的模块,如图 1 所示,其输入为 LDPC 解码输出的量化区间,输出为后续反变换模块所需要的系数带。由于 Wyner-Ziv 视频编解码系统中传输的仅仅是部分校验比特<sup>[1,2]</sup>,因此为了提高重构值的精确度,通常还需要利用边信息来辅助重构,重构算法的好坏决定着解码恢复的 Wyner-Ziv 帧图像质量<sup>[3~6]</sup>,特别是如果 LDPC 解码失败,则错误的量化区间将导致错误的重构输出。在带反馈信道的 Wyner-Ziv 视频编解码系统中,如果 LDPC 解码失败,解码端可以向编码端请求更多的信息,直到解码成功,从而保证解码恢复的视频质量;但是使用反馈信道极大地增加了解码复杂度和系统时延,不利于实时视频通信的应用。

去除反馈信道可以有效地改善系统复杂度和系统时延,但是由于没有反馈信道,LDPC 解码失败后不能向编码端请求更多的校验信息,只能充分利用解码端的信息辅助重构,提高解码视频质量。文献[7]提出一种基于重构角与比特面误码率的无反馈重构算法,其中重构角是反映解码比特流与边信息间噪声分布的参数,算法利用重构角来调整重构的像素值,并且误码率越大,边信息在重构过程中越重要。该方法可以对 LDPC 解码失败的量化值做出修正,改善解码图像质量,但是重构角与误码率的关系曲线是通过大量的实验训练得到的,且序列的每一帧关系曲线都不同,计算复杂度很高;另一方面没有考虑到不同比特面的误码对重构影响程度不同,影响重构准确性。文献[8]则利用视频序列空域和时域特性迭代解码来改善边信息,实现了校验码流的重复利用,若能解码成功,该算法一定程度上可以改善图像质量,但若多次解码仍不能解码成功,会造成时间资源的浪费且不能解决解码失败的问题,即不能改善图像质量。

本文提出一种适用于无反馈信道环境下的 Wyner-Ziv 帧顽健重构算法,既避免了文献[7]重构参数的复杂计算,又可解决文献[8]中 LDPC 解码失败的问题。算法对直流(DC)系数和交流(AC)

系数使用不同重构方法,其中对重要性低的 AC 系数分量或者解码正确的 DC 系数分量使用现有重构方法,而对于解码失败的 DC 系数量化值,自适应地调整边信息量化值和解码失败量化值对重构的贡献来完成解码重构,从而能够有效提高 Wyner-Ziv 帧的重构质量。本文具体内容安排如下:第 2 节介绍了 Wyner-Ziv 视频编解码系统及解码重构过程;第 3 节给出 Wyner-Ziv 帧的顽健重构算法;第 4 节给出本文提出算法的实验结果和性能分析;最后是结束语。

## 2 Wyner-Ziv 视频编解码系统

图 1 说明了基于变换域的无反馈 Wyner-Ziv 视频编解码系统结构,其中阴影标示的 2 个模块与本文算法有关,为应用本文算法,需要在编码端增加“原始相关信息”模块,在解码端改进“反量化重构”模块。从图 1 可以看出,输入视频帧可以分为关键帧和 Wyner-Ziv(WZ)帧 2 种,并且系统对这 2 种帧采用了不同的编解码路径,其中关键帧采用 H.264/AVC 帧内编码/解码算法,WZ 帧的详细编解码过程说明如下。

在编码端,对 WZ 帧以  $4 \times 4$  块为单位进行整数 DCT 变换,并将变换所得系数按照频率位置的不同组成 16 个系数带  $\{X_1, X_2, \dots, X_{16}\}$ ;随后分别对这些系数带进行均匀量化,对于系数带  $k$ ,其量化级数记为  $2^{M_k}$ ,量化后的系数带记为  $q_k$ ;对  $q_k$  的所有量化值提取比特面,分别进行 LDPC 编码生成用于传输的校验位。图中编码端采用简单运动补偿生成边信息<sup>[9]</sup>有 2 个目的,一是根据该边信息的条件熵进行各比特面校验位的码率分配,二是使用该边信息与原始 WZ 帧计算相关信息,并传递到解码端来辅助解码重构。

在解码端,通过前后 2 个相邻的解码关键帧运动补偿内插产生边信息 SI 帧,并将 SI 帧看作是编码侧原始 WZ 帧的近似估计;对 SI 帧进行离散余弦变换(DCT)得到与  $X_k$  对应的边信息系数带,经量化和比特面提取后送入 LDPC 解码器,利用编码端发来的校验比特来纠正 SI 帧中存在的误差,从而解出量化后的系数带  $q'_k$ ;将  $q'_k$  送入反量化重构模块得到重构 WZ 帧的系数带  $X'_k$ ,进而通过反离散余弦变换(IDCT)得到 Wyner-Ziv 帧的解码恢复图像。与编码端原始 WZ 帧相比,解码端 SI 帧中存在的误差称为虚拟噪声,文献[10,11]指出虚拟噪

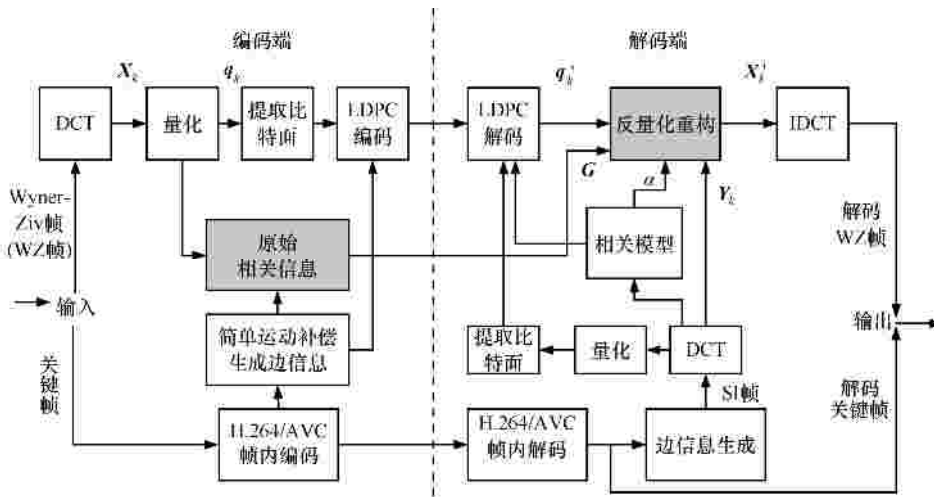


图 1 基于变换域的 Wyner-Ziv 视频编解码系统

声通常满足拉普拉斯分布，可由相关模型计算拉普拉斯分布的模型参数。

在上述解码过程中，给定系数带  $k$ ，对于 LDPC 解码恢复得到的某个量化值  $q \in q'_k$ ， $x' \in X'_k$  表示对应的重构系数， $y \in Y_k$  表示 SI 帧中对应位置的变换系数， $z(n)$  表示量化值为  $n$  的最小原始信号值。假定所有比特面均能够被 LDPC 正确恢复，文献[3]提出了如式(1)所示的重构算法：

$$x' = \begin{cases} z(q) & , y < z(q) \\ y & , z(q) < y < z(q+1) \\ z(q+1) & , y > z(q+1) \end{cases} \quad (1)$$

文献[4]对上述重构方法加以改进，将边信息与原始 Wyner-Ziv 帧图像之间的相关噪声模型参数考虑在内，采用最小均方误差 (MMSE) 重构算法，即重构出的量化值以最小均方误差接近原信息的量化值，其计算公式如式(2)所示：

$$x' = E[x | x \in [z(q), z(q+1)), y] = \frac{\int_{z(q)}^{z(q+1)} x f_{x|y}(x|y) dx}{\int_{z(q)}^{z(q+1)} f_{x|y}(x|y) dx} \quad (2)$$

式(2)中， $f_{x|y}(x)$  是给定  $y$  时  $x$  的条件概率密度函数，满足拉普拉斯分布。该算法是目前大多数 Wyner-Ziv 视频编码系统中采用的解码重构算法，包括 DISCOVER 系统<sup>[12]</sup>。

上述重构算法假定所有比特面均能够被 LDPC 解码器正确恢复，这一点在有反馈的 Wyner-Ziv 视频编解码系统中很容易实现，但无法适用于无反馈环境，即没有考虑 LDPC 信道解码失败后的量化值

如何重构，特别是，解码失败的 DC 系数分量将严重影响解码重构算法的准确性，进一步影响 Wyner-Ziv 帧的图像质量。

### 3 具有顽健性的 Wyner-Ziv 帧重构算法

由前面的讨论可知，在无反馈 DVC 系统中，LDPC 编码端生成的校验位很有可能不足以帮助 LDPC 解码器完成解码，在这种情况下不可避免的会发生解码失败，从而得到错误的量化值，最终导致解码恢复图像质量的下降。而现有重构方法都是在假定解码后得到的量化器正确这一基础上提出的，不能适用于无反馈 DVC 视频编码系统。

考虑到编码端 WZ 帧中 DC 系数带集中了整个 WZ 帧的绝大部分能量，远离 DC 系数的那些 AC 系数带则只有很少的能量，大多数为零或趋于零，因此，与 AC 系数带相比，DC 系数重构的质量对于解码恢复的视频质量有着更为重要的影响。基于这种 DC 和 AC 系数带在解码重构中的不同重要性，本文算法在无反馈 DVC 系统中，对 DC 和 AC 系数带采用不同的重构算法，重点是 DC 系数的有效重构。

无反馈环境下，对于 DC 系数量化值  $q \in q'_k$ ，如果其所有比特面均能正确解码，则表明  $q$  已经正确解码，此时可以沿用如式(2)所示的 MMSE 重构算法完成反量化重构；只要有一个比特面无法正确地完成 LDPC 解码，则说明  $q$  未能正确解码，因而是不可信的，对这些量化值需要使用本文提出的顽健性重构方法。

设编码端原始 WZ 帧为 WZ，解码端解码恢复的 WZ 帧为 WZ'，解码端边信息为 SI，编码端简单运动补偿<sup>[9]</sup>生成的边信息为 SI'，其各自对应的 DC 系数量化值分别记为  $Q_m^{WZ}$ ， $Q_m^{WZ'}$ ， $Q_m^{SI}$ ， $Q_m^{SI'}$ ，其中， $m$  为该系数在 DC 系数带中的位置， $M$  为系数带中系数的个数。对应上述 4 个量化值，有如下推导过程成立：

$$|Q_m^{WZ'} - Q_m^{SI}| \leq |Q_m^{WZ'} - Q_m^{WZ}| + |Q_m^{WZ} - Q_m^{SI}| \quad (3)$$

$$|Q_m^{WZ'} - Q_m^{WZ}| + |Q_m^{WZ} - Q_m^{SI'}| \leq |Q_m^{WZ'} - Q_m^{SI'}| \quad (4)$$

$$2|Q_m^{WZ} - Q_m^{SI'}| \leq |Q_m^{WZ'} - Q_m^{SI'}| \quad (5)$$

其中，式(3)可直接由三角不等式推得；从式(3)到式(4)则是因为编码端简单运动补偿生成的边信息 SI' 帧不如 SI 准确，即  $|Q_m^{WZ} - Q_m^{SI}| \leq |Q_m^{WZ} - Q_m^{SI'}|$ ；同样的，由于 WZ' 帧是 WZ 帧的解码重构帧，是在纠正了 SI 帧中存在的误差后解码重构得到的，因此 WZ' 帧比 SI 帧更接近于原始 WZ 帧，即  $|Q_m^{WZ'} - Q_m^{WZ}| \leq |Q_m^{WZ} - Q_m^{SI'}|$ ，故式(4)可变形为式(5)，进一步得到

式(6)：

$$|Q_m^{WZ'} - Q_m^{SI}| \leq 2 \max_{m \in \{1, M\}} |Q_m^{WZ} - Q_m^{SI'}| = G \quad (6)$$

式(6)中， $G$  为门限值，可以在编码端很容易地求得，而  $|Q_m^{WZ'} - Q_m^{SI}|$  可以在解码端计算得到。式(6)表明，通常情况下，解码重构帧与 SI 帧之间的误差应该小于编码端原始 WZ 帧与编码端生成的粗糙边信息 SI' 之间的最大误差。根据式(6)，如果  $Q_m^{WZ'}$  解码失败，则可能出现以下 2 种情况。

1) 式(6)不成立，即  $|Q_m^{WZ'} - Q_m^{SI}| > G$ ，说明  $Q_m^{WZ'}$  因为解码误差过大而不可信，此时边信息 SI 帧中对应的 DC 系数量化值就相对准确，应该用  $Q_m^{SI}$  替代  $Q_m^{WZ'}$ ，然后再利用 MMSE 方法完成解码重构。

2) 式(6)成立，即  $|Q_m^{WZ'} - Q_m^{SI}| \leq G$ ，考虑到边信息 SI 和原始 WZ 帧之间的相似程度可以由相关噪声模型参数  $a$  来描述， $a$  的取值范围为  $0 \sim \sqrt{2}$  [11]，此时可以利用  $a$  来判断  $Q_m^{SI}$  和  $Q_m^{WZ'}$  2 个量化值用于解

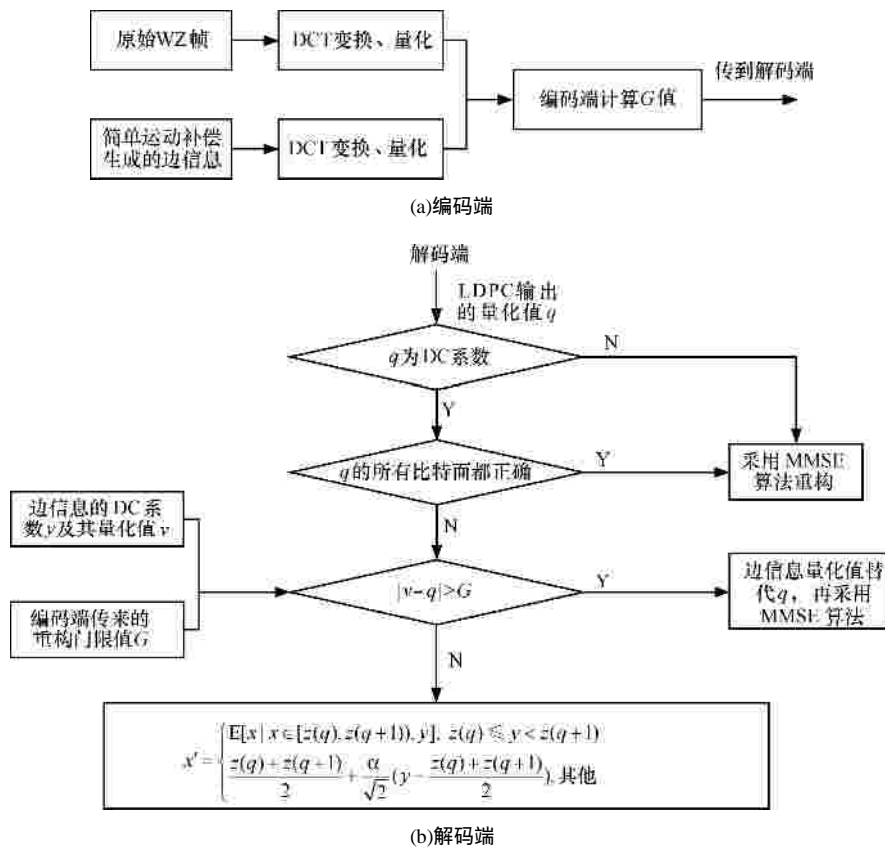


图 2 具有顽健性的 Wyner-Ziv 帧重构算法流程

码重构的可信程度。通常当  $a$  越大时，解码侧生成的边信息与原始 WZ 就越相似，也就是说应更多地使用  $Q_m^{SI}$  来进行重构；反之，解码侧生成的边信息与原始 WZ 的相似度就越低，此时应更少地使用  $Q_m^{SI}$  来进行重构。

根据以上分析，本文提出了一种无反馈环境下的 WZ 帧顽健重构算法，如图 1 中阴影方框和图 2 所示。当 LDPC 解码 DC 系数失败时，算法能够自适应地调整边信息量化值和解码失败量化值对重构的贡献来完成解码重构，从而有效提高重构 Wyner-Ziv 帧的质量。

在编码端，如图 2(a)所示，根据式(6)为原始 Wyner-Ziv 帧计算  $G$ ，并传递到解码端。在解码端，如图 2(b)所示，对于 AC 系数量化值或者正确解码的 DC 系数量化值均使用式(2)的 MMSE 方法重构出系数值；对于 LDPC 解码失败并输出的每个 DC 系数量化值  $q$ ，边信息中对应的 DC 系数及其量化值分别记为  $y$  和  $v$ ，结合式(6)使用如下的步骤完成解码重构：

- 1) 利用文献[11]给出的相关噪声模型计算方法计算与  $q$  对应的相关噪声模型参数  $a$ ；
  - 2) 计算  $q$  与  $v$  差值的绝对值  $R$ ，并与编码端发送来的门限  $G$  相比，看其是否满足式(6)；
- 若  $R > G$ ，则说明边信息比 LDPC 的解码输出准确，此时直接用  $v$  替代  $q$ ，并使用式(2)重构出系数值  $x'$ ；

若  $R < G$ ，则利用相关噪声模型参数  $a$  来决定  $y$  与  $q$  各自对重构的贡献，具体的重构算法如式(7)所示。图 3 进一步给出式(7)的重构过程，从图中可以看出，当边信息 DC 系数  $y$  落在 LDPC 解码量化区间  $[z(q), z(q+1))$  之外时， $a$  越大，重构结果将越趋向于  $y$ ，也就是说边信息对于重构输出的贡献就越大；反之则远离  $y$ 。

$$x' = \begin{cases} E[x | x \in [z(q), z(q+1)), y], z(q) & y < z(q+1) \\ \frac{z(q) + z(q+1)}{2} + \frac{a}{\sqrt{2}}(y - \frac{z(q) + z(q+1)}{2}), & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

### 4 实验结果

为验证本文提出的顽健重构算法性能，在图 1 所示的 Wyner-Ziv 编解码系统中，分别采用 MMSE 重构方法<sup>[4]</sup>和本文提出的顽健重构算法，对比研究解码恢复图像的主客观质量。实验选取运动程度从低到高的“Hall”、“News”、“Foreman”、“Coastguard”、“Mobile”和“Stefan”6个 QCIF 格式(176 × 144)的标准图像序列，Y:U:V 为 4:2:0。实验中使用峰值信噪比 (PSNR, 单位: dB) 来衡量解码恢复图像的客观质量。

图 4 给出了目标码率 384kbit/s 条件下不同序列 Wyner-Ziv 帧的重构图像客观质量比较结果，从中可以看出，与 MMSE 重构算法相比，对于不同运动程序的视频系列，使用本文提出的顽健重构算法，均可有效提高解码重构图像的客观质量。如对于“News”序列，恢复图像的 PSNR 平均提高 0.48dB；对于“Foreman”序列，恢复图像 PSNR 平均可提高 0.81dB；对于“Mobile”序列，恢复图像的 PSNR 平均提高 1.40dB。由此可见，在相同编码码率下，本文提出的重构算法明显提高了 Wyner-Ziv 帧的恢复图像质量，这是因为 MMSE 方法对于 DC 系数分量和 AC 系数分量的重构采用了相同的重构算法，而本文则对解码图像质量影响非常大的 DC 系数分量采用了更为精细的自适应重构算法。

为进一步说明本文算法的性能，图 5 ~ 图 10 分别给出了各序列的解码恢复图像主观质量对比，从中可以看出，本文算法能够有效地提高解码恢复 Wyner-Ziv 帧的主观质量。如图 7(a)中使用 MMSE 重构算法，解码恢复的图像中存

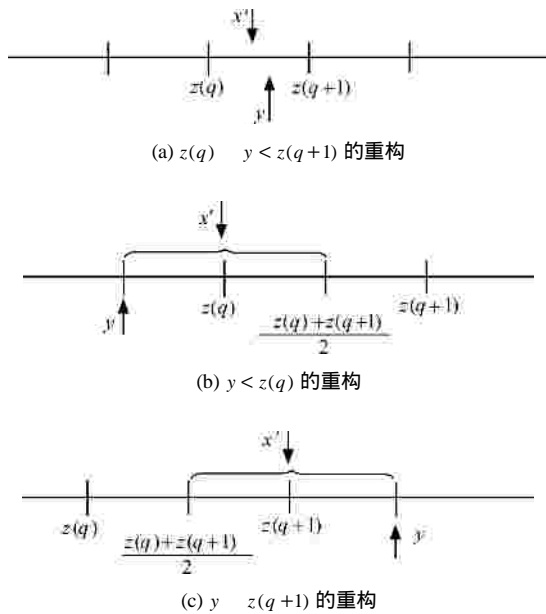


图 3 具有顽健性解码重构算法

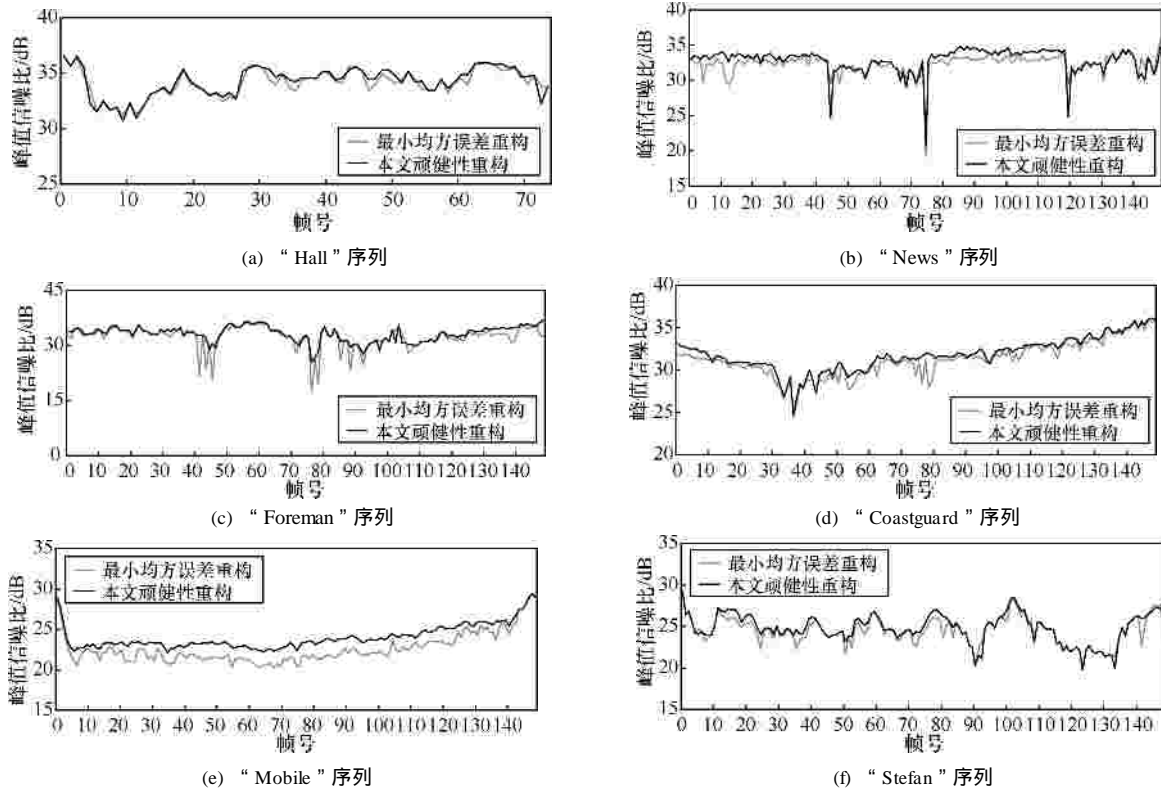
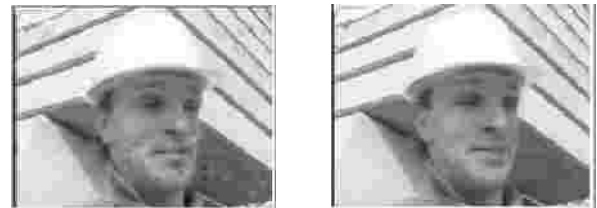


图 4 不同方法重构 Wyner-Ziv 帧客观质量比较

在明显的图像失真，这是由于比特面解码失败导致量化区间解码错误，从而产生了图中明显的块效应。如图 7(b)所示，使用本文提出的算法，能够有效地降低 LDPC 解码失败后带来的恢复图像失真，从而保证 Wyner-Ziv 帧的恢复图像质量。



(a) 使用 MMSE 重构算法 (b) 使用本文提出的算法

图 7 "Foreman" 序列第 4 帧



(a) 使用 MMSE 重构算法 (b) 使用本文提出的算法

图 5 "Hall" 序列第 132 帧



(a) 使用 MMSE 重构算法 (b) 使用本文提出的算法

图 8 "Coastguard" 序列第 61 帧



(a) 使用 MMSE 重构算法 (b) 使用本文提出的算法

图 6 "News" 序列第 110 帧



(a) 使用 MMSE 重构算法 (b) 使用本文提出的算法

图 9 "Mobile" 序列第 153 帧



(a) 使用 MMSE 重构算法

(b) 使用本文提出的算法

图 10 “Stefan” 序列第 24 帧

另外，由本文算法描述可知，在编码端只需使用计算非常简单的式(6)就可以求得门限值  $G$ ，且对每个 WZ 帧只需传输一个门限就可辅助解码端完成重构；在解码端，无论是否使用本文算法，相关噪声参数都是需要计算的，而式(7)并未在解码端引入额外的计算开销。因此本文提出的顽健重构算法引入的通信开销和计算量在编解码两端都可以忽略不计。

## 5 结束语

本文提出一种适用于无反馈 DVC 系统的 Wyner-Ziv 帧顽健重构算法。算法主要考虑重要的 DC 系数分量重构，对于解码失败的 DC 系数量化值，利用编码端原始图像的相关信息自适应地调整边信息量化值和解码失败量化值对重构的贡献来完成解码重构；对于解码正确的 DC 系数分量和重要性低的 AC 系数分量则使用 MMSE 重构方法。由实验结果可知，在基本不增加系统复杂度的前提下，本文提出的无反馈顽健重构算法有效地提高了 Wyner-Ziv 帧的重构图像质量。

## 参考文献：

- [1] GIROD B, AARON A, RANE S. Distributed video coding[J]. Proceedings of the IEEE, 2005, 93(1): 71-83.
- [2] PURI R, MAJUMDAR A, ISHWAR P. Distributed video coding in wireless sensor networks [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2006, 23(4): 94-106.
- [3] AARON A, ZHANG R, GIROD B. Wyner-Ziv coding of motion video[A]. Proceedings of the 36th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers(ACSSC'02) [C]. Pacific Grove, USA, 2002. 240-244.
- [4] KUBASOV D, NAYAK J, GUILLEMOT C. Optimal reconstruction in Wyner-Ziv video coding with multiple side information [A]. Proceedings of the 9th International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP'07) [C]. Grete, Greece, 2007. 183-186.
- [5] YANG C L, LIN Y G, PO L M. Variable reconstruction scheme for distributed video decoding [A]. Proceedings of the 2008 IEEE Region

10 Conference (TENCON'08) [C]. Hyderabad, India, 2008. 1-5.

- [6] SHIM S Y, HAN J K, BAC J. Adaptive reconstruction scheme using neighbour pixels in PDWZ coding [J]. Electronics Letters, 2010, 46(9): 626-628.
- [7] WEERAKKODY W, FERNANDO W A C, KONDOZ A M. An enhanced reconstruction algorithm for unidirectional distributed video coding [A]. Proceedings of the 12th IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE'08)[C]. Algarve, Portugal, 2008. 1-4.
- [8] WEERAKKODY W, FERNANDO W A C, ADIKARI A B B. Unidirectional distributed video coding for low cost video encoding[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2007, 53(2): 788-795.
- [9] BRITES C, PEREIRA F. Encoder rate control for transform domain Wyner-Ziv video coding[A]. IEEE International Conference on Image Processing(ICIP'07) [C]. San Antonio, Texas, USA, 2007. II-5 - II-8.
- [10] FAN X P, AU O, CHEUNG N M. Transform-domain adaption correlation estimation(TRACE) for Wyner-Ziv video coding[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2010, 20(11):1423-1436.
- [11] BRITES C, PEREIRA F. Correlation noise modeling for efficient pixel and transform domain Wyner-Ziv video coding [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2008, 18(9): 1177-1190.
- [12] ARTGAS X, ASCENSO J, DALAI M. The DISCOVER codec: architecture, techniques and evaluation [J]. Picture Coding Symposium, 2007, 17(9): 1103-1120.

## 作者简介：



秦浩(1976-),男,陕西绥德人,博士,西安电子科技大学副教授,主要研究方向为视频压缩理论与技术、宽带多媒体通信。



彭学露(1988-),女,山东临沂人,西安电子科技大学硕士生,主要研究方向为视频编码与通信。

宋彬(1973-),男,河南郑州人,博士,西安电子科技大学教授、博士生导师,主要研究方向为视频压缩与通信、嵌入式多媒体通信系统。

刘海华(1985-),女,山东烟台人,西安电子科技大学硕士生,主要研究方向为视频编码与通信。