

分布式视频编码中基于量化噪声因素的虚拟相关信道模型

尹明, 蔡述庭, 谢云, 章云

(广东工业大学 自动化学院, 广东 广州 510006)

摘 要: 针对现有虚拟信道模型——Laplacian 模型不能精确描述其特性, 导致系统编码率失真性能不高, 深入研究了量化噪声对边信息质量的影响, 引入量化噪声因素修正虚拟信道模型, 改进了像素域分布式视频编码(PDWZ)系统的帧级虚拟信道估计, 并利用原始图像相关信息实现参数的动态调整。实验结果表明, 与现有 Laplacian 模型相比, 改进模型能更精确地描述虚拟信道的统计特性, 系统的率失真性能得到改善。

关键词: 分布式视频编码; 虚拟信道; 量化噪声; 边信息; 率失真性能

中图分类号: TN919.8

文献标识码: B

文章编号: 1000-436X(2012)02-0141-08

Virtual channel model for distributed video coding accounting for quantization noise

YIN Ming, CAI Shu-ting, XIE Yun, ZHANG Yun

(Faculty of Automation, Guangdong Univ. of Tech., Guangzhou 510006, China)

Abstract: Due to the inaccuracy model on describing the virtual channel with Laplacian, the rate-distortion performance of distributed video coding is relatively low. The quantization noise will be taken into account for online modeling at the decoder. Further, the dependency among original frames was exploited for estimating the model parameter. Thus, a novel virtual channel model for pixel-domain Wyner-Ziv (PDWZ) coding was proposed. The experimental results show that the proposed model can character the statistics of virtual channel more accurately and the performance of PDWZ based on the proposed model outperforms the one based on Laplacian.

Key words: distributed video coding; virtual channel; quantization noise; side-information; rate-distortion performance

1 引言

传统的视频编码技术(如 H.26x, MPEG 等面向广播视频应用类的技术)依赖于基于块的运动搜索和运动补偿混合编码架构, 其编码复杂度是解码复杂度的 5~10 倍, 非常适合视频广播类的应用。然而, 以无线多媒体传感器网络(WMSN, wireless multimedia sensor network)为代表的, 迫切需要低编码复杂度的编码方法, 而传统视频编码方法不适用此类应用^[1-3]。近年来, 基于分布式信源编解码理

论的分布式视频编码(DVC, distributed video coding)方法, 以其良好编码效率、较低编码复杂度, 满足了资源受限型网络应用需求, 诸如, WMSN、多源图像捕获系统等^[4,5]。目前, 最具代表性的实用 DVC 方案采用 Wyner-Ziv(WZ)视频编解码架构^[5,6]。

根据 Wyner-Ziv 编码原理, 解码端边信息被视为待编码 WZ 帧的预测版本, 称为待编码 WZ 帧经虚拟相关信道传输后的噪声版本^[5], 如图 1 所示。解码器是利用源 WZ 帧与边信息(SI, side information)间的相关性, 结合信道纠错码来消除相

收稿日期: 2010-12-17; 修回日期: 2012-02-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61172023); 广东省自然科学基金资助项目(8351009001000002); 广东省“211 工程”基金资助项目(431)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China(61172023); The Natural Science Foundation of Guangdong Province (8351009001000002); 211 Project of Guangdong Province (431)

关噪声(CN, correlation noise), 从而获得对原始图像的编码效率^[6]。正如通信系统的性能在很大程度上受到信道影响, 对虚拟信道特性的掌握同样密切关系到分布式视频编码性能的优劣。如果对虚拟信道的特性越了解, 则所描述的统计相关性就越真实, 解码端所需校验比特数量则越少, 从而编码压缩效率改善。

原始 WZ 帧信息和边信息(SI, side information) 分别出现在编、解码端, 无法在解码端获知原始信息, 而编码端也只能以离线方式重构边信息或通过反向信道从解码端传输, 进而增加系统计算复杂度及时延等诸多不利, 与实际应用需求不符。且编码视频内容是不断变化的, 所生成边信息帧在空域和时域上随机变化, 故相关噪声表现出非平稳随机性, 尤其对于运动较复杂的序列边信息质量变化剧烈, 因此对虚拟信道精确建模变得非常困难。目前, 国内外的研究文献通常利用边信息的前后运动补偿帧差数据研究虚拟信道模型, 且认为模型近似服从 Laplacian 分布^[6-12], 具体研究大多集中在如何精确估计信道参数。文献[6]对像素域 DVC 的编码码流进行分析, 指出相关噪声的分布与边信息的改变密切相关。Catarina Brites^[7]针对像素域和变换域的 DVC 分别提出了帧、块及像素三级模型参数估计的算法, 通过精确的相关噪声统计模型来改善了系统整体编码效率。X. Huang^[10]等提出利用交叉频带信息来估计 DCT 域 DVC 的相关模型参数, 实验表明能有效改善率失真性能。国内学者房胜^[11]等对影响时域相关噪声的因素进行了研究, 提出了一种基于小波变换域的相关噪声模型 VCMDWT, 提高 DVC 系统的率失真性能达到 2.6dB 以上。王凤琴等发现其残差变换后直流系数带统计分布相比零均值 Laplacian 分布存在一定偏差, 提出了一种基于变换域的相关噪声分布模型及自适应参数估计算法, 有效提高了编码效率^[12]。

然而, 视频信息的时移特性以及解码端不能获取原始帧信息等现象, 导致采用 Laplacian 模型描述虚拟信道并不十分精确, 表现为不能有效反映视频真实运动情况, 从而重构 WZ 帧需要较多校验数据, 这是引起 DVC 率失真性能难以达到基于运动补偿的帧间编码方案性能的关键之一。现有建模方法^[6-12]常常忽略量化器对边信息分布影响, 当量化噪声变大时, 采用补偿帧差作为样本数据则不能反映相关噪声的真实分布情况, 表征的虚拟信道特性

不够准确, 进而影响图像帧重构质量。

通过深入探讨量化噪声因素对边信息概率分布的影响, 本文发现现有 Laplacian 虚拟信道模型不够精确, 引入量化噪声因素修正模型^[13], 提出一种新的像素域分布式视频编码系统的帧级虚拟信道估计方法, 且利用原始图像相关信息实现参数动态调整。具体内容安排如下, 本文第 2 节分析了量化噪声对边信息影响, 改进虚拟信道模型, 给出了模型参数估计方法; 第 3 节验证了改进模型的准确性; 第 4 节给出实验结果并分析; 最后是本文的结束语。

2 虚拟信道模型分析

2.1 问题描述

图 1 表示像素域 Wyner-Ziv 视频编码框架, 输入图像序列被分作 2 类: WZ 帧和关键帧(Key 帧)。采用 Wyner-Ziv 编码对 WZ 帧, 而采用传统帧内编码方法对 Key 帧进行编解码。一般, WZ 帧编解码处理是: 首先, 编码端采用 2^M 级均匀量化器将图像 WZ 帧量化成 Bit-Stream(符号流), 然后由 Slepian-Wolf 编码器处理上述量化位平面获得奇偶校验信息。解码端则对接收的 Key 帧信息帧内解码, 利用已解码帧信息进行 ME(运动估计)、Interpolation(插值)得到边 SI 帧, 联合由 Slepian-Wolf 解码器产生的校验比特一起重构出 WZ 帧。一般, 虚拟信道模型表征源 WZ 帧信息与 SI 帧之间的统计相关性, 常用 CN 信息描述虚拟信道模型。

假设 X 为源信息, Y 为边信息, 则相关噪声为 $N=X-Y$, 其统计概率由式(1)表述:

$$f_{X|Y}(x, y) = f_{X-Y|Y}(x - y, y) = f_{N|Y}(n, y) \quad (1)$$

相关噪声分布与边信息密切相关, 如式(2)所示, 其概率分布近似服从 Laplacian 分布^[6], 即:

$$f_{N|Y}(n, y) = \frac{1}{\sigma(y)\sqrt{2}} \exp\left(-\frac{\sqrt{2}|n|}{\sigma(y)}\right) \quad (2)$$

其中, σ^2 表示方差, μ 表示均值。

解码端边信息估计常用运动补偿内插 (MCI, motion compensation interpolation)算法^[14]。首先, 用于生成边信息的参考帧(即前向参考帧和后向参考帧)及相应运动矢量信息通过运动搜索获得, 然后帧间插值获取边信息。采用双向对称运动估计求解

最佳运动矢量(MV)，如式(3)所示。

常常假设 Key 帧为无损重建，从而忽略了量化噪声

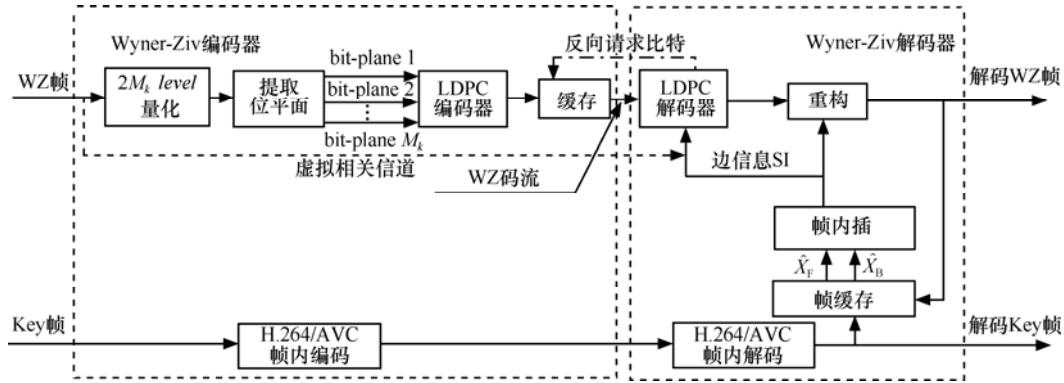


图1 像素域 Wyner-Ziv 视频编码

$$\langle d\hat{x}, d\hat{y} \rangle = \arg \min_{d\hat{x}, d\hat{y}} \left[\sum_{i,j \in \Omega} \left| \hat{X}_F(i + d\hat{x}_F, j + d\hat{y}_F) - \hat{X}_B(i + d\hat{x}_B, j + d\hat{y}_B) \right|^2 \right],$$

$$(d\hat{x}_B, d\hat{y}_B) = -(d\hat{x}_F, d\hat{y}_F) = (d\hat{x}, d\hat{y})/2 \quad (3)$$

其中，(i, j) 为像素位置，待解码帧的前后 2 帧分别为 \hat{X}_F 和 \hat{X}_B ，当前块内像素集合为 Ω 。

在获取前向、后向的最佳运动矢量 $(d\hat{x}_B, d\hat{y}_B)$ 、 $(d\hat{x}_F, d\hat{y}_F)$ 后，运用式(4)估计边信息 $S(i, j)$ ：

$$S(i, j) = \frac{1}{2} \hat{X}_B(i + d\hat{x}_B, j + d\hat{y}_B) + \frac{1}{2} \hat{X}_F(i + d\hat{x}_F, j + d\hat{y}_F)$$

$$= X(i, j) + N(i, j) \quad (4)$$

其中， $N(i, j)$ 表示相关噪声。

由式(3)发现，如果前后运动补偿帧相差越小，边信息质量越好，则相关噪声越小。反之，补偿帧差越大，所生成的边信息质量越差，则相关噪声越大。因此，前后补偿帧差间接反映了相关噪声的统计特性情况。实际上，由于解码端无法获知源 WZ 帧信息，通常采用前后运动补偿帧差 $R(i, j)$ 代替式(2)中边信息来对虚拟信道建模^[6,7]，其中， $R(i, j)$ 如式(5)所示。

$$R(i, j) = \left| \hat{X}_B(i + d\hat{x}_B, j + d\hat{y}_B) - \hat{X}_F(i + d\hat{x}_F, j + d\hat{y}_F) \right| \quad (5)$$

但是，前后向运动补偿帧往往会受到量化噪声影响，边信息亦将受到影响，进而影响相关噪声 N 的分布特性。目前研究^[4-8]在虚拟信道建模过程中，

对边信息影响。尽管，边信息的估计会因为运动搜索可能比较准确，前后向运动补偿帧差所受量化噪声影响有限，但 $R(i, j)$ 与 N 的概率分布不再匹配。

为了验证这种现象，本文利用文献[15]的平台分析不同量化步长下， $R(i, j)$ 和 N 数据的概率分布情况。其中，针对 Key 帧设定量化步长。测试序列选用 foreman 序列作为实验对象，其分辨率为 QCIF 格式，帧率为 15Hz，共编码 100 帧。图 2 和图 3 给出了不同量化参数(QP)下，foreman 序列中 R 和 N 直流分量的概率分布情况。通常，直流分量占到图像帧的大部分能量，文中采用 R 和 N 直流分量的概率分布来说明不匹配现象。由图观察，粗量化（即低码率）下， N 和 R 分布情况差异较大，此时若采用 R 数据对相关噪声建模，则模型不能准确反映虚拟信道特性。为此，精确建模虚拟信道必须分析量化器对边信息的影响，才能使模型更符合实际情况。

2.2 改进的虚拟信道模型

基于边信息受到量化器影响，分别采用 Q_F 、 Q_B 表示前向和后向参考帧的量化噪声， $\hat{S}(i, j)$ 为量化噪声影响的边信息，由式(4)计算出相关噪声 $\hat{N}(i, j)$ ：

$$\hat{N}(i, j) = \hat{S}(i, j) - X(i, j)$$

$$= \left(\hat{S}_{(d\hat{x}_B, d\hat{y}_B)}(i, j) + \hat{S}_{(d\hat{x}_F, d\hat{y}_F)}(i, j) \right) / 2 - X(i, j)$$

$$= \left(S_{(d\hat{x}_B, d\hat{y}_B)}(i, j) + Q_B + S_{(d\hat{x}_F, d\hat{y}_F)}(i, j) + Q_F \right) / 2 - X(i, j)$$

$$= (Q_B + Q_F) / 2 + S(i, j) - X(i, j)$$

$$= N(i, j) + (Q_B + Q_F) / 2 \quad (6)$$

由式(6)可看出，量化噪声越大(对应低码率时)，量化器对相关噪声的影响越大。反之，量化噪声越

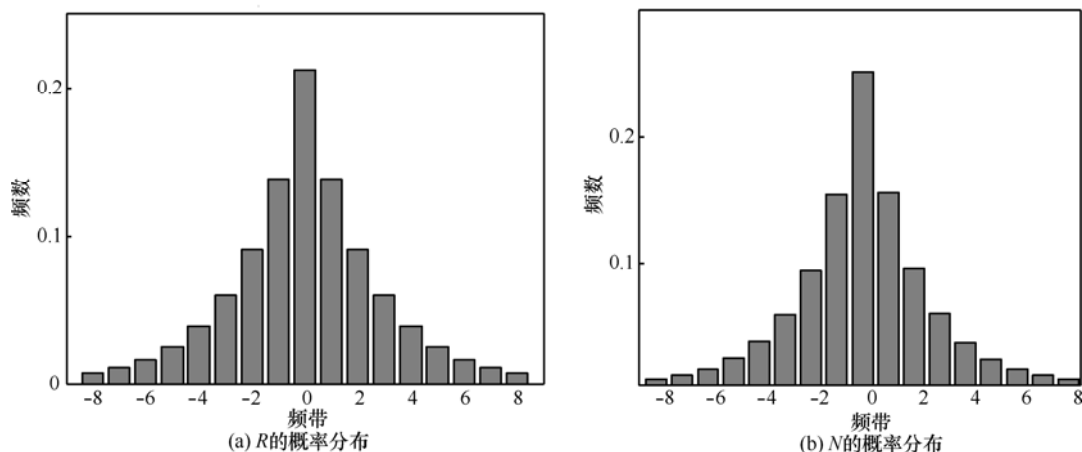


图 2 $QP=25$ 时 foreman 序列的 R 和 N 的概率分布

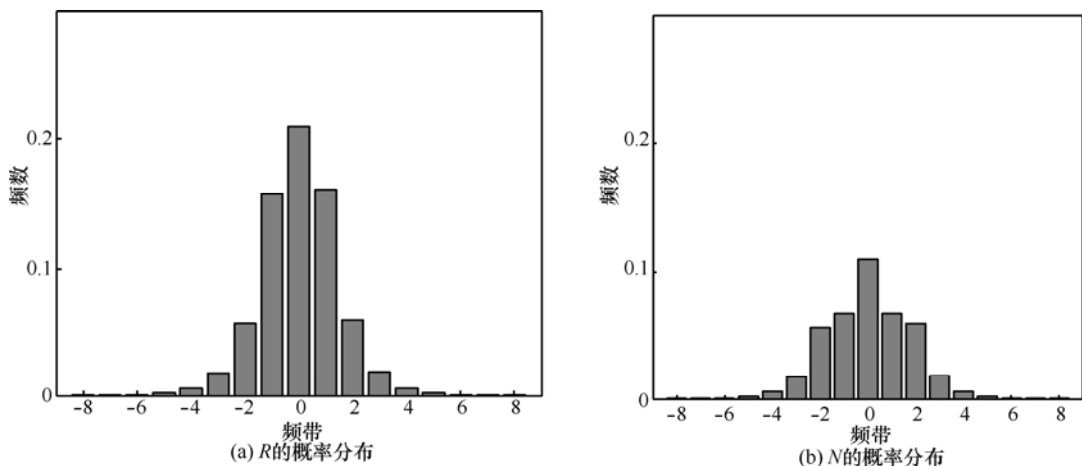


图 3 $QP=40$ 时 foreman 序列的 R 和 N 的概率分布

小(对应高码率时), 量化器对相关噪声的影响越小。即, 量化噪声通过影响边信息, 进而影响相关噪声。因此, 根据式(2)建模虚拟信道时, 必须考虑量化噪声因素, 模型才能精确反映相关特性。

在图 1 编码框架中, Key 帧采用 H.264/AVC Intra 编码, 进行率失真优化和模式选择运算。通过相关数据计算, 同时可获得编码端 Key 帧的量化噪声, 并将该量化噪声传输至解码端。在运算复杂度方面, 与帧内编码的计算复杂度相比, 量化噪声的计算量可忽略不计。一般, Intra 编码器采用均匀量化器, 假设量化步长为 d , 则量化噪声的范围为 $[0, d^2/12]$ 。为保持 DVC 视频质量平稳, 采用逐步迭代选择 Key 帧 QP, 可获得与相邻 WZ 帧近似的 PSNR。因此, 一般假设 Key 帧和 WZ 帧的量化误差接近, 可将边信息的量化噪声视为等同于 Key 帧。

通过上述分析, 本文提出基于量化噪声因素的虚拟信道模型, 如式(7)所示。 σ_Q^2 为量化噪声, 可取前向和后向参考帧的量化噪声的平均, 该参量可由编码端计算后发送至解码端。由于残差信息随图像帧变化而改变, 根据式(7), 所提出的相关噪声模型的参数实现了动态调整。

$$f(R) = \frac{1}{\sqrt{2}\sigma} \exp\left(-\frac{\sqrt{2}}{\sigma}|R - \mu|\right)$$

$$\sigma = \sigma_R + \rho\sigma_Q$$

$$\rho = \begin{cases} 1 - \frac{\sigma_R}{2\sigma_Q}, & \frac{\sigma_R}{\sigma_Q} < 1 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

$$\sigma_Q = (\sigma_f + \sigma_b)/2 \tag{7}$$

其中, σ_R 为帧差系数的均方根, μ 为帧差系数的均值, ρ 为量化噪声影响因子, σ_f, σ_b 分别为前向

和后向参考帧的量化噪声均方根。

2.3 辅助相关性的虚拟信道模型

尽管在过去的几年中, DVC 的编码性能有了较大提高, 但与传统的视频编解码 H.264/AVC 相比, 仍存在较大差距^[4-16]。其中主要原因在于为降低编码端复杂度而过分减少相关信息传递, 导致边信息质量较差, 解码端的边信息仅依赖已解码的前后相邻关键帧获得, 缺少原始 WZ 帧的相关信息^[17]。因此, 本文为了精确预测改进模型的参数, 引入原始图像的相关性作为参数估计的辅助信息。

编码端计算每一个 WZ 帧与前后 2 关键帧图像之间的对应块的相关性 MSE , 如式(8)所示。其中, $M \times N$ 为生成边信息 MCI 过程中块的大小, X_{wz} 和 X_k 分别为 WZ 帧和相邻关键帧的像素值。将 WZ 帧与前后相邻帧的相关性 MSE_f 和 MSE_b 量化处理后传送至解码端。

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_i \sum_j (X_{wz}(i, j) - X_k(i, j))^2 \quad (8)$$

在解码端, 计算虚拟信道模型参数时, 先判断当前 WZ 帧的相关性。如果 $MSE_f \geq MSE_b$, 则表明当前 WZ 帧的块与后向关键帧中对应块相关性较强, 进而选择后向关键帧的量化噪声 σ_b 作为 σ_Q 。反之, 当 $MSE_b \geq MSE_f$ 时, 则表明当前 WZ 帧的块与前向关键帧中对应块相关性较强, 进而选择后向关键帧的量化噪声 σ_f 替代 σ_Q 。最终由各个块的 σ_Q 计算出当前边信息帧的量化噪声。

3 模型精度评估

KL (Kullback-Leibler) 散度常用来评价 2 个概率分布的相似性^[18], $p(\cdot)$ 和 $q(\cdot)$ 分别对应观测数据的真实概率分布和模型的分布, 其计算如式(9)所示:

$$KL(p \parallel q) = \sum_x p(x) \ln(p(x)/q(x)) \quad (9)$$

本文采用对称 KL 散度来评估模型的准确性, 如式(10)所示, 值越小表明模型精确度越高。

$$sKL = KL(p \parallel q) + KL(q \parallel p) \quad (10)$$

实验测试了典型视频 carphone 和 football 序列的部分帧, 其中包含冲突区域较多的 WZ 帧。在仿

真实验中, 量化参数 QP 的选取尽量满足于使每一 Key 帧和 WZ 帧的 PSNR 值近似相等, 保证重构出的图像近似平滑。实验以离线方式获取相关噪声 (CN) 信息, 使得样本数据更真实。对不同序列的对称 KL 散度计算结果见表 1 和表 2 所示。

表 1 carphone 序列 2 种模型下的 KL 散度比较

模型	帧号			
	182	184	186	188
Laplacian	0.162 9	0.638 4	0.031 8	0.057 1
改进模型	0.040 4	0.095 8	0.001	0.036 7

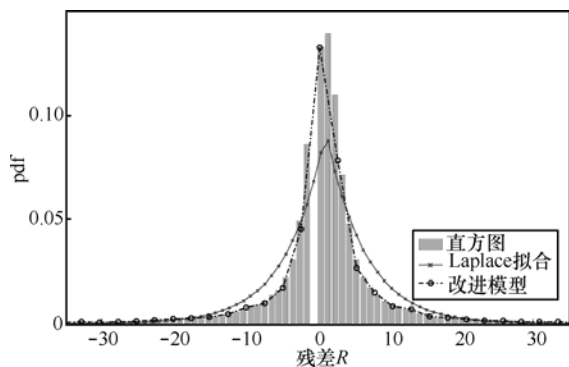
表 2 football 序列 2 种模型下的 KL 散度比较

模型	帧号				
	80	82	84	86	88
Laplacian	0.066 6	0.023 6	0.035 4	0.057 9	0.059 2
改进模型	0.043 9	0.006 4	0.019 9	0.014 6	0.027 4

由表 1、表 2 可知, 改进的虚拟信道模型准确度要优于 Laplacian 模型。图 4、图 5 给出分别用 Laplacian 模型和改进模型拟合相关噪声的情况。由于篇幅有限, 仅给出 carphone 和 football 序列部分结果, 其中 carphone 第 182 帧和 football 第 82 帧均为运动程度较高的图像。



(a) 第 182 帧图像

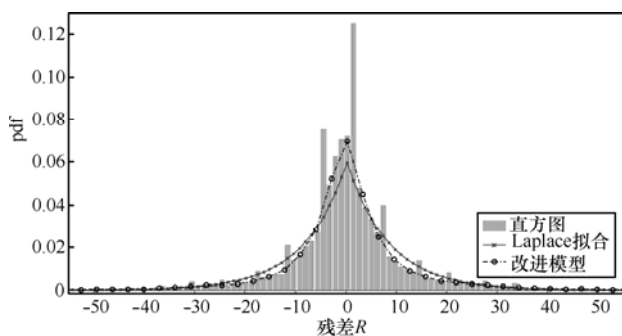


(b)残差概率分布情况

图 4 carphone 序列第 182 帧图像及其残差的概率分布情况



(a) 第 82 帧图像



(b)残差概率分布情况

图 5 football 序列第 82 帧图像及其残差的概率分布情况

由图 4 和 5 可看出，采用 Laplacian 拟合虚拟信道会在尾部出现较严重拖尾，曲线下降较慢。而模型尾部拟合精确与否对于 LDPC 解码非常关键。如果尾部下降过慢，LDPC 解码器就需较多校验数据来纠正虚拟信道的误码，导致系统整体编码效率下降。而基于量化噪声因素的模型能更好地拟合相关噪声的真实分布，尾部收敛较快，解决了 Laplacian 模型尾部下降较慢的问题，且在零值附近的拟合更精确。

4 实验分析

为了验证改进模型对 DVC RD 性能改善，在图 1 所示框架下，采用改进模型 RD 性能测试，并与采用 Laplacian 模型方法^[7]比较。实验选用 4 种具有典型代表性的测试序列：foreman 和 soccer、coastguard、hall monitor，分别对应高、中及低运动程度的视频序列，分辨率为 QCIF 格式，帧率为 15Hz，编码前 160 帧。测试序列既包含运动平缓部分又包含运动剧烈部分，使得结果更具普遍性。Key 帧采用 H.264/AVC Intra 编码(main profile)，GOP 长度为 2，即偶数帧采用 WZ 帧编码，奇数帧采用 Key 帧编码。解码端利用帧间内插方法估计边信息^[19]，取前后向运动估计搜索范围为±32 个像素，运用交叠块运动补偿(OBMC, overlapped block motion compensation)方法。根据大多数文献测试方法，实验仅评估亮度分量的率失真结果。通过调整 Key 帧的量化级数 $2^M \in \{2,4,8,16,32,64,128\}$ ，输出 4 个不同的 WZ 帧比特面，从而获得不同的码率及相应 PSNR。改进的虚拟信道模型参数根据如下方法计算，首先在编码端计算 WZ 帧与相邻 Key 帧的相关性 MSE_f 和 MSE_b ，同时根据 Key 帧的量化情况计算 Key 帧各块的 σ_f 、 σ_b ，一起经量化处理后传送至解码端。然后，解码端根据残差计算出 σ_R 和 μ 以及辅助相关信息得到 σ_Q ，进而求得其他相关参数。

如图 6~图 8 所示，相比 Laplacian 模型^[7] 方案，实验结果表明本文改进模型实现了参数动态调整，率失真性能得到改善。对于 3 种序列而言，hall monitor 序列所获平均增益最大，为 0.81dB；coastguard、foreman 序列的平均增益分别为 0.44dB 和 0.31dB。

由结果可知改进模型是有效的，但对于不同运动特征的视频，其增益不同。一般对于运动程度较低的平稳序列，获得的增益较大；对于运动剧烈的序列，所改进模型带来的增益较小。这主要是量化噪声对边信息的影响程度不同造成的。对于运动平稳序列，边信息质量较高，残差 R 较小，量化噪声的影响较大，而改进模型更符合实际情况，由此获得的增益也较大。对于运动剧烈的序列来说， R 较大，量化噪声的影响较小，对模型参数影响很有限，所以改进模型的增益较小。此外，在不同的码率下，量化噪声对边信息的影响程度也不同。低码率情况

下，量化噪声的影响较大，所获增益较高；随着编码码率增加，量化噪声的影响逐渐减小，增益相对减少。

另外，实验还比较了改进编码方案与3种标准编码方法 H.264/AVC Intra、H.264/AVC Inter No Motion(即 IBIB)、H.263+ Intra 的率失真性能。图9给出了 soccer 序列 RD 性能，图像运动特征非常剧烈，可以看到其性能只是略优于 H.263+ Intra，从而也验证了上述模型性能分析情况。由于 foreman 序列中出现了快速的相机移动，造成图像边界上剧烈运动，导致相关噪声信息的方差较大，量化噪声的影响相对较小。欲获取所需图像重构质量，编码端需传输较多校验信息纠正相关噪声，导致其率失真性能劣于 H.264/AVC Inter No Motion 方案，但改进模型缩小了与 H.264/AVC Intra 的性能差距。而 coastguard 序列，其场景较简单，全局运动规则，边信息质量较高，虚拟信道模型的置信度亦高，RD 增益更为显著。上述实验结果，不约而同地反映出 Wyner-Ziv 编码方法性能与 H.264/AVC Inter No Motion 方法相比还存在不少差距。因此，Wyner-Ziv 编码的率失真性能仍待提高，才能满足无线多媒体传感器等应用的实际需求。

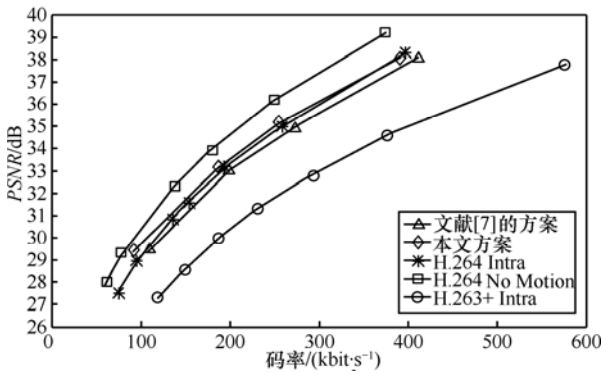


图6 foreman 序列率失真性能比较

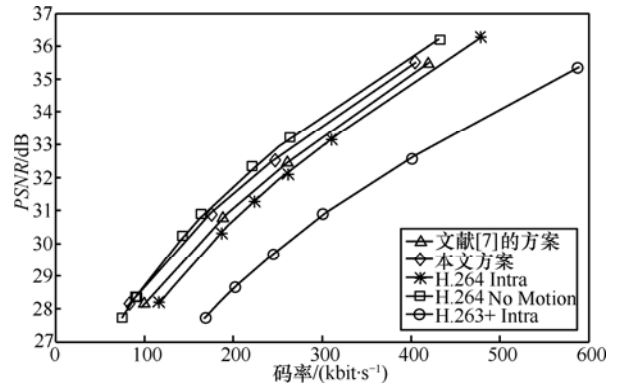


图7 coastguard 序列率失真性能比较

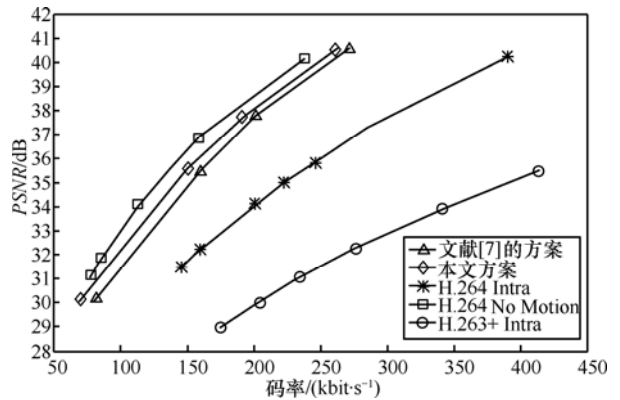


图8 hall monitor 序列率失真性能比较

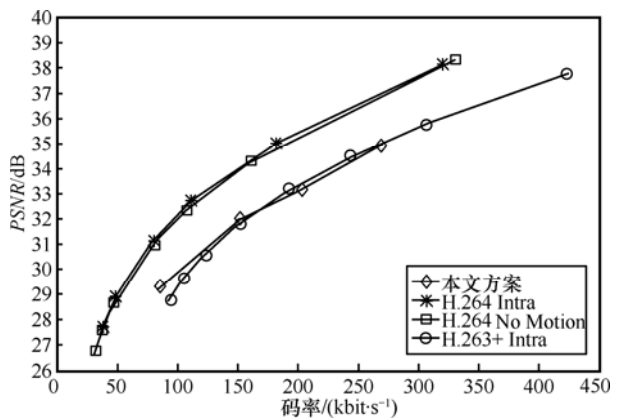


图9 soccer 序列率失真性能比较

5 结束语

针对现有 Laplacian 模型对虚拟信道特性的描述并不精确，本文考虑了量化处理对边信息的影响，改进了虚拟信道模型，实现了动态参数估计。实验结果表明，在不明显增加编码端计算量情况下，改进模型获得的率失真性能整体优于基于 Laplacian 模型的 PDWZ 方案。但与标准的 H.264/AVC Inter No Motion 编码方法相比，

Wyner-Ziv 编码的率失真性能仍存在较大改善空间, 才能满足实际应用的需求。

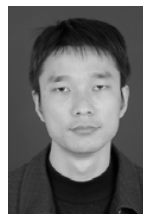
参考文献:

- [1] ZHUO X, LOO K K, COSMAS J, *et al.* Distributed video coding in wireless multimedia sensor network for multimedia broadcasting [J]. *WSEAS Trans on Communication*, 2008, 7(5):418-427.
- [2] 罗武胜, 翟永平, 鲁琴. 无线多媒体传感器网络研究[J]. *电子与信息学报*, 2008, 30(6):1511-1516.
LUO W S, ZHAI Y P, LU Q. Study on wireless multimedia sensor networks[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2008, 30(6):1511-1516.
- [3] 孙岩, 马华东. 无线多媒体传感器网络 QoS 保障问题[J]. *电子学报*, 2008, 30(6): 1412-1420.
SUN Y, MA H D. The QoS guarantee problem for wireless multimedia sensor networks[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2008, 30(6): 1412-1420.
- [4] GIROD B, AARON A, RANE S, *et al.* Distributed video coding[A]. *Proc IEEE Special Issue on Advances in Video Coding and Delivery*[C]. 2005.71-83.
- [5] AARON A, RANE S, SETTON E, *et al.* Transform-domain Wyner-Ziv codec for video[A]. *Proc of SPIE, Visual Communications and Image Processing*[C]. San Joe, California, USA, 2004. 520-528.
- [6] DELIGIANNIS N, MUNTEANU A, CLERCKX T, *et al.* Correlation channel estimation in pixel-domain distributed video coding[A]. *WIAMIS 2009*[C]. London, United Kingdom, 2009.93-96.
- [7] BRITES C, PEREIRA F. Correlation noise modeling for efficient pixel and transform domain Wyner-Ziv video coding[J]. *IEEE Trans Circuits Syst Video Technol*, 2008, 18(9):1117-1190.
- [8] BRITES C, ASCENSO J, PEREIRA F. Studying temporal correlation noise modeling for pixel based wyner-ziv video coding[A]. *ICIP*[C]. Atlanta, GA, USA, 2006.273-276.
- [9] CHEUNG N M, WANG H, ORTEGA A, *et al.* Sampling-based correlation estimation for distributed source coding under rate and complexity constraints[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2008, 17(11): 2122-2137.
- [10] HUANG X, FORCHHAMMER S. Improved virtual channel noise model for transform domain wyner-ziv video coding [A]. *ICASSP 2009*[C]. Taipei, 2009.921-924.
- [11] 房胜, 李哲, 梁永全等. 分布式视频编码虚拟信道模型研究[J]. *计算机学报*, 2009, 32(7): 1404-1412.
FANG S, LI Z, LIANG Y, ZHONG Y Z. Research of the virtual dependency channel in distributed video coding[J]. *Chinese Journal of Computers*, 2009, 32(7): 1404-1412.
- [12] 王凤琴, 樊养余, 赵炯等. 基于变换域 Wyner-Ziv 视频编码的相关噪声模型[J]. *数据采集与处理*, 2009, 24(5): 609-614.
Wang F Q, FAN Y Y, ZHAO J, *et al.* Correlation noise model for transform domain Wyner-Ziv video coding[J]. *Journal of Data Acquisition & Processing*, 2009, 24(5): 609-614.
- [13] 尹明, 蔡述庭, 章云等. 像素域 Wyner-Ziv 视频解码端的相关噪声建模研究[A]. 第十五届全国图象图形学学术会议论文集[C]. 2010.70-73
YIN M, CAI S T, ZHANG Y, *et al.* Correlation noise model at the decoder for pixel domain Wyner-Ziv video coding[A]. *The 15th National Conference on Image and Graphics*[C]. 2010.70-73.
- [14] YE S, OUARET M, DUFAUX F, *et al.* Improved side information generation for distributed video coding by exploiting spatial and temporal correlations[J]. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2009, 1-15, doi:10.1155/2009/683510.
- [15] CHEN D, VARODAYAN D. Unsupervised learning motion for distributed video coding [EB/OL]. <http://www.stanford.edu/~dmchen/dvc.html>, 2008.
- [16] MARTINS R, BRITES C, ASCENSO J, *et al.* Statistical motion learning for improved transform domain Wyner-Ziv video coding[J]. *IET Image Processing*, 2010, 4(1):28-41.
- [17] 宋彬, 贺红, 刘海华等. Wyner-Ziv 视频编码中边信息生成算法研究[J]. *通信学报*, 2010, 31(12):97-103.
SONG B, HE H, LIU H H, *et al.* Research on side information generation algorithm for Wyner-Ziv video coding[J]. *Journal on Communications*, 2010, 31(12):97-103.
- [18] KULLBACK S, LEIBLER R A. On information and sufficiency[J]. *Annals of Mathematical Statistics*, 1951, 22:79-86.
- [19] 尹明, 章云, 程良伦等. Wyner-Ziv 视频编码中边信息估计算法改进[J]. *计算机应用研究*, 2009, 26(12): 4818-4820.
YIN M, ZHANG Y, CHENG L L, *et al.* Improving on side information estimation for Wyner-Ziv video coding[J]. *Application Research of Computers*, 2009, 26(12): 4818-4820.

作者简介:



尹明 (1975-), 男, 湖南永州人, 博士, 广东工业大学自动化学院讲师, 主要研究方向为视频编码压缩及图像通信、嵌入式图像处理系统。



蔡述庭 (1979-), 男, 湖南益阳人, 博士, 广东工业大学自动化学院副教授, 主要研究方向为图像视频编码。



谢云 (1963-), 女, 江西赣州人, 博士, 广东工业大学自动化学院教授、硕士生导师, 自动化学院副院长, 主要研究方向为图像识别和智能机器人技术。

章云 (1963-), 男, 湖南衡阳人, 广东工业大学自动化学院教授、博士生导师, 主要研究方向为智能控制与信息处理技术、控制网络与集成、机器人技术与自动化装备。