

文章编号: 2096-1618 (2022) 01-0062-05

# 基于分层细化的 Wyner-Ziv 视频解码算法

杨 佳

(成都信息工程大学通信工程学院, 四川 成都 610225)

**摘要:**为进一步提高分布式视频编码(distributed video coding, DVC)的压缩性能, 针对离散小波变换域 DVC, 提出了基于分层细化的 Wyner-Ziv 解码算法。算法充分利用小波多尺度和多分辨率的特性, 将边信息优化算法和高阶统计模型进行了深度融合。在比特层面上, 通过边信息优化算法提升每一分解层高频子带的边信息质量, 从而提高高阶统计模型中与边信息相关的两大特征的准确性, 增强高阶统计模型在信源相关性挖掘和有效利用方面的性能, 实现 DVC 压缩性能的提升。测试结果表明, 与参考文献相比, 基于本文算法的 DVC 系统压缩性能有明显提高。

**关键词:**低功耗通信; 分布式视频编码; 虚拟信道模型; 边信息

**中图分类号:** TN919. 81

**文献标志码:** A

**doi:** 10. 16836/j. cnki. jcuit. 2022. 01. 011

## 0 引言

传统的视频编码如 H. 264/AVC 和 HEVC 采用基于分块的混合预测视频编码方式, 在编码端深度挖掘视频冗余, 以此实现高性能的视频压缩。高复杂度编码和低复杂度解码的特点使传统视频编码被广泛应用于广播和视频点播等一对多通信架构的多媒体传输系统当中。然而, 在工农业生产监测、野外勘探、应急救援等多媒体应用中, 数据采集节点往往分散在一个大的区域内, 采集周边的多媒体数据上传到服务器端。由于环境和成本的限制, 数据采集节点通常为轻量级终端设备, 有限的计算能力和存储容量是此类终端设备的共同特点。与此相反, 服务器则具有强大的处理能力和稳定的能耗供应。传统视频编码标准由于高复杂度的编码方式, 不能很好地适应此类轻量级终端设备的低功耗视频通信需求。在此背景下, 以 Slepian-Wolf<sup>[1]</sup>和 Wyner-Ziv<sup>[2]</sup>(WZ)定理为指导的分布式视频编码(distributed video coding, DVC)通过在解码端挖掘利用信源相关性的方式, 将繁重的计算负荷从编码端转移到了解码端。DVC 为轻量级多媒体通信应用提供了一种高效的视频编码技术。尽管如此, 与传统视频编码相比, DVC 在压缩性能方面还有待提高。

边信息和虚拟信道模型是影响 DVC 压缩性能的两大核心因素。边信息是当前待解码 WZ 帧的带噪估计, 边信息质量越高, 则能提供更准确的帧间信源相关性。目前利用已解码 WZ 帧信息优化边信息质量<sup>[3-10]</sup>

是其主流的研究思想。虚拟信道模型的主要功能是挖掘和统计信源相关性, 特别是边信息所提供的相关性信息, 计算当前待解码帧的条件概率, 为信道解码提供软输入。软输入的准确性决定了信道解码所需校验信息的数量, 从而影响 DVC 的压缩性能。相比典型的虚拟信道模型——拉普拉斯(laplace)分布<sup>[11-15]</sup>, 高阶统计模型<sup>[16-18]</sup>凭借更高效的信源相关性挖掘性能为 DVC 压缩性能的提升开拓了一条新的研究思路。

目前已知先进的高阶统计模型和部分边信息优化算法都是以离散小波变换(discrete wavelet transform, DWT)域 DVC 系统为基本的编解码框架。与离散余弦变换(discrete cosine transform)相比, 离散小波变换 DWT 可灵活控制 DWT 分解层数, 从而获得不同分辨率图像。每一分解层子带之间, 层间父子结点都具有较强的帧内信源相关性<sup>[17]</sup>, 有利于 DVC 压缩性能的提升。针对 DWT 域的 DVC 系统, 高阶统计模型方面, Qing 等<sup>[16-17]</sup>借鉴了 JPEG2000 的思想, 采用启发式方式选择上下文特征(context features), 提出了精细的自适应上下文模型及其改进算法。Yang 等<sup>[18]</sup>利用决策树充分挖掘和利用帧间和帧内信源相关性, 提出了更高效的高阶统计模型。针对 DWT 域 DVC 的边信息, Di 等<sup>[7]</sup>将自适应卡尔曼滤波器融入基于块的运动估计当中获取光学运动矢量, 再通过加权向量中值滤波器对其细化, 从而优化边信息。Fang 等<sup>[8]</sup>则通过融合多种运动估计策略来优化超完备 DWT 中 DVC 的边信息质量。Liu 等<sup>[9]</sup>充分挖掘小波分解子带间信源相关性, 利用每一分解层已解码的低频子带信息更新运动矢量场, 从而使边信息质量得到更有效的提升。Yang

等<sup>[10]</sup>在文献[9]的基础上,通过挖掘高频子带已解码信息,进一步优化了边信息质量。

综上所述,针对 DWT 域 DVC,高阶统计模型和边信息优化研究已取得了良好的进展,然而将高阶统计模型和边信息优化相融合的 WZ 解码算法还鲜有报道。因此,本文提出了基于分层细化的 WZ 解码算法,在比特层面上,利用小波多尺度和多分辨率的特性,融合前期虚拟信息模型<sup>[18]</sup>和边信息优化<sup>[10]</sup>的研究成果实现 DVC 压缩性能的进一步提升。

# 1 基于边信息优化的 DVC 系统

DWT 小波多尺度和多分辨率的特性有助于挖掘更丰富的帧内信源相关性。文献[10]针对 DWT 域 DVC,在多分辨率运动细化(multi-resolution motion refinement, MRMR)<sup>[9]</sup>编码算法的基础上,实现了边信息质量的优化。基于边信息优化的 MRMR-DVC 系统<sup>[10]</sup>如图 1 所示。

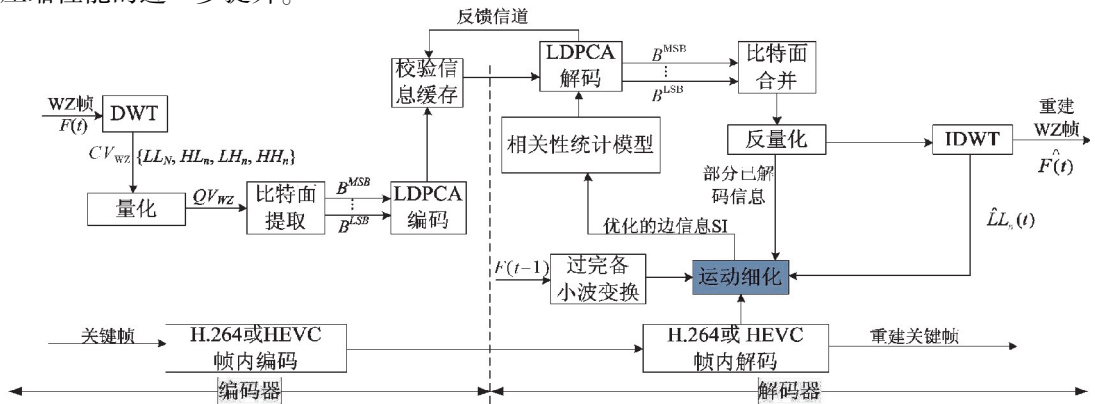


图 1 基于边信息优化的 MRMR-DVC 系统

边信息优化的基本思想是,在第  $n(n=1,2,\cdots,N)$  小波分解层,首先利用参考帧的低频子带  $LL_n(t-1)$  经 WZ 解码重建当前待解码 WZ 帧的  $LL_n(t)$ ,接着进行  $LL_n(t-1)$  与  $LL_n(t)$  之间的运动估计,细化第  $n$  小波分解层运动矢量场,并生成高频子带  $LH_n(t)$ 、 $HL_n(t)$ 、 $HH_n(t)$  的初始边信息,然后按照最高比特面(most significant bit-plane, MSB)到最低比特面(last significant bit-plane, LSB)的顺序,利用初始边信息解码高频子带信息,当解码的比特面包含的当前高频子带信息足够多时,则利用式(1)。

$$\varepsilon = \sum_{n=1}^i \sum_{x=0}^3 \sum_{y=0}^3 |S_n(x,y) - \hat{W}_n(x,y)| \quad (1)$$

以  $4 \times 4$  大小的块为单位,计算高频子带  $i-1$  个比特面已解码信息  $\hat{W}_n(x,y)$  与边信息  $S_n(x,y)$  的差值,以此作为判断边信息质量的依据。当差值大于设定阈值时,则判定该边信息  $4 \times 4$  块为“坏块”。按照文献[9]提供的搜索算法替换此“坏块”,从而提高高频子带的第  $i$  个比特面的边信息质量,降低校验比特码率,实现 DVC 压缩性能的提升。

## 2 基于分层细化的 Wyner-Ziv 解码算法

### 2.1 边信息优化与高阶统计模型的融合

边信息优化算法和基于决策树的高阶统计模型都是基于比特层面的,因此,两者的融合具有结构上的优势。高阶统计模型的初始特征集如表 1 所示,与边信息相关的特征有边信息质量分类  $QC_{SI}$  和边信息在比

特面  $B_i(i=1,2,\cdots,M)$  序号从低到高以次表示 MSB 到 LSB 比特面)上的重要性状态  $S_{SI}$ 。  $S_{SI}$  按照 JPEG2000 重要性传播过程中的方法进行判定,  $QC_{SI}$  则由文献[18]中提出的比特面层面的边信息质量分类  $BQC_{SI}$  (bit-plane-level quality classification of side information) 算法计算所得。  $BQC_{SI}$  基本思想是以当前 WZ 帧已解码比特面  $B = \{B_1, B_2, \cdots, B_{i-1}\}$  与其边信息之间对应比特面的差异作为 WZ 帧第  $i$  个比特面  $B_i$  的边信息质量分类,  $BQC_{SI}$  计算如式(2)所示。

$$BQC_{SI} = \left| \sum_{j=1}^{i-1} 2^{M-j} DB^j \right|, i=2,3,\cdots,M; j=1,2,\cdots,M-1 \quad (2)$$

$DB^j$  代表 WZ 帧与其边信息在第  $j$  个比特面上的差异。当融合高阶统计模型和边信息优化算法时,关键步骤是确定在哪个比特面开始启动边信息优化算法,然后将优化的边信息替换掉初始边信息,按照高阶统计模型中的计算方法,计算得到更新后的  $QC_{SI}$  和  $S_{SI}$ 。

表 1 高阶统计模型初始特征

| 特征名                  | 特征含义                            |
|----------------------|---------------------------------|
| $QC_{SI}$            | 边信息质量分类                         |
| $S_{SI}$             | 边信息在比特面 $B_i$ 上的重要性状态           |
| $D_0, D_1, D_2, D_3$ | 相邻系数在比特面 $B_{i-1}$ 上的对角线方向重要性状态 |
| $H_0, H_1$           | 相邻系数在比特面 $B_{i-1}$ 上的水平方向重要性状态  |
| $V_0, V_1$           | 相邻系数在比特面 $B_{i-1}$ 上的垂直方向重要性状态  |
| $B$                  | 当前 WZ 帧已解码比特面                   |





表 2 本文系统与参考系统的总体 RD 性能比较

| 视频序列                       | 参考文献算法 | GOP 8      |         |
|----------------------------|--------|------------|---------|
|                            |        | BD-PSNR/dB | BD-BR/% |
| Foreman<br>352×288         | 文献[18] | 0.89       | -13.81  |
|                            | 文献[10] | 1.12       | -18.36  |
|                            | 文献[17] | 2.25       | -32.15  |
| Football<br>352×288        | 文献[18] | 0.97       | -13.39  |
|                            | 文献[10] | 1.01       | -13.67  |
|                            | 文献[17] | 2.03       | -25.37  |
| BasketballDrill<br>832×480 | 文献[18] | 0.67       | -11.50  |
|                            | 文献[10] | 1.04       | -17.46  |
|                            | 文献[17] | 1.97       | -31.06  |
| BQMall<br>832×480          | 文献[18] | 0.94       | -14.96  |
|                            | 文献[10] | 1.19       | -18.70  |
|                            | 文献[17] | 2.38       | -33.27  |
| FourPeople<br>1280×720     | 文献[18] | 0.41       | -8.45   |
|                            | 文献[10] | 0.59       | -12.70  |
|                            | 文献[17] | 1.60       | -30.09  |
| Johnny<br>1280×720         | 文献[18] | 0.41       | -10.70  |
|                            | 文献[10] | 0.55       | -15.31  |
|                            | 文献[17] | 1.43       | -34.12  |

表 2 的测试结果表明,本文算法性能明显优于参考文献算法性能。相同码率下,与文献[18]、文献[10]和文献[17]算法相比,BD-PSNR 最高分别能达到0.97 dB (Football 序列)、1.19 dB (BQMall 序列)和 2.38 (BQMall 序列)。对于运动场景较为剧烈的视频序列,如 Football 和 BasketballDrill,本文算法也能取得良好的压缩性能。此种测试结果主要归功于结合了边信息优化算法和高阶统计模型两者的优势。利用小波多尺度和多分辨率的特性能有助于高效挖掘已解码 WZ 帧信息,特别是高频子带信息促使边信息优化算法和高阶统计模型的深度融合。随着逐层解码,渐进优化的边信息能提供更精确的信源帧间相关性,有助于提升高阶统计模型的边信息质量分类  $QC_{si}$  和边信息在比特面  $B_i$  上的重要性状态  $S_{si}$  两大特征的准确性,从而提升高阶统计模型的性能,得到更准确的信道解码软输入,以此降低校验码率,进一步提升 DVC 压缩性能。

4 结论

本文针对 MRMR-DVC 框架,提出基于分层细化的 Wyner-Ziv 解码算法,利用边信息优化算法和高阶统计模型在算法作用域层面上的一致性,利用小波多尺度和多分辨率的特性,对两者进行深度融合。以边信息优化作为基础,逐层优化高频子带初始边信息,以

此提升高阶统计模型与边信息相关的特征的准确性,从而增强高阶统计模型的性能,得到更准确的信道解码软输入,最终达到提升 DVC 压缩性能的目的。

参考文献:

[1] Slepian D, Wolf K. Noiseless Coding of Correlated Information Sources[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1973, 19(4): 471-480.

[2] Wyner A D, Ziv J. The Rate Distortion Function for Source Coding with Side Information at the Decoder[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1979, 22(1): 1-10.

[3] 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.

[4] Ascenso J, Brites C, Pereira F. A Denoising Approach for Iterative Side Information Creation in Distributed Video Coding [C]. IEEE International Conference on Image Processing, Brussels, 2011: 3513-3516.

[5] Luong H V, Rakê L L, Forchhammer S. Re-estimation of Motion and Reconstruction for Distributed Video Coding [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2014, 23(7): 2804-2819.

[6] Abou-Elailah A, Dufaux F, Farah J, et al. Fusion of Global and Local Motion Estimation for Distributed Video Coding [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2013, 23(1): 158-172.

[7] Di J, Hua H. An Improved Side Information Generation Scheme for Wyner-Ziv Video Coding [C]. 2010 International Conference on Computational Intelligence and Security, Nanning, 2010: 234-237.

[8] Fang S, Yuan C, Zhong Y. Refining Side Information by ODWT MCTI for Wyner-Ziv Video Coding [C]. 2010 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, Chengdu, 2010: 1-4.

[9] Liu W, Dong L, Zeng W. Motion Refinement Based Progressive Side-Information Estimation for Wyner-Ziv Video Coding [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2010, 20(12): 1863-1875.

- [10] Yang J, He X, Qing L, et al. A New Progressively Refined Wyner-Ziv Video Coding for Low-Power Human-Centered Telehealth [J]. IEEE Access, 2018, 6(10):38315–38325.
- [11] Fan X, Au O C, Cheung N M. Transform-Domain Adaptive Correlation Estimation (TRACE) for Wyner-Ziv Video Coding [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2010, 20(11):1423–1436.
- [12] Song J, Wang K, Liu H, et al. Progressive Correlation Noise Refinement for Transform Domain Wyner-Ziv Video Coding [C]. 2011 18th IEEE International Conference on Image Processing, Brussels, 2011:2625–2628.
- [13] Huang X, Forchhammer S. Cross-Band Noise Model Refinement for Transform Domain Wyner-Ziv Video Coding [J]. Signal Processing: Image Communication, 2012, 27(1):16–30.
- [14] Deligiannis N, Munteanu A, Wang S, et al. Maximum Likelihood Laplacian Correlation Channel Estimation in Layered Wyner-Ziv Coding [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2014, 62(4):892–904.
- [15] Wang S, Cui L, Stankovic L, et al. Adaptive Correlation Estimation with Particle Filtering for Distributed Video Coding [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2012, 22(5):649–658.
- [16] Qing L, Zeng W. Improving Distributed Video Coding by Exploiting Context-Adaptive Modeling [C]. 2014 IEEE International Conference on Multimedia and Expo(ICME), Chengdu, 2014:1–6.
- [17] Qing L, Zeng W. Context-Adaptive Modeling for Wavelet-Domain Distributed Video Coding [J]. IEEE Multimedia, 2014, 21(4):84–93.
- [18] YANG J, Qing L, Zeng W, He X. High-Order Statistical Modeling Based on a Decision Tree for Distributed Video Coding [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2019, 29(5):1488–1502.
- [19] Kubasov D, Nayak J, Guillemot C. Optimal Reconstruction in Wyner-Ziv Video Coding with Multiple Side Information [C]. 2007 IEEE 9th Workshop on Multimedia Signal Processing, Crete, 2007:183–186.
- [20] Bjøntegaard G. Calculation of Average PSNR Differences Between RD-curves [S]. Austin, TX, ITU-T SG16/Q.6, Doc. VCEG-M033, Apr. 2001.

## Layered Refinement-based Wyner-Ziv Video Decoding Algorithm

YANG Jia

(College of Communication Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** In order to further improve the compression performance for distributed video Coding (DVC), a layered refinement-based Wyner-Ziv video decoding algorithm is proposed for DVC in discrete wavelet transform (DWT) domain. The algorithm makes full use of the characteristics of wavelet multi-scale and multi-resolution in DWT domain to combine the side information optimization algorithm with the high-order statistical model in depth. At the bit-plane level, the side information quality of each high frequency sub-band is refined by the optimization algorithm, and then the optimized side information is used to promote the accuracy of the two features related to side information in the high-order statistical model. The performance of high-order statistical model in the effective exploration and utilization of the source correlation is thus enhanced, and the improvement of DVC compression performance is achieved. The test results show that, compared with the references, the compression performance of the DVC system based on the proposed algorithm is improved obviously.

**Keywords:** low-power communication; distributed video coding; virtual channel model; side information