

·信号与信息处理·

## 一种改进的虚拟相关信道参数估计方法

代明鑫, 宋兴华

(北京航天飞行控制中心通信总站, 北京 100120)

**摘要:** 分布式视频编码框架中, 准确地估计 WZ 帧与辅助边信息之间的统计特性, 也即对它们之间的虚拟“相关信道”准确设计模型, 并估计其参数, 对于提高编码压缩效率, 进而准确进行码率控制十分重要. 讨论了模拟信道的模型选取和参数优化, 研究了视频序列中常用的 Laplace 模型和 Gauss 模型, 提出了一种带校正系数的虚拟相关信道参数估计方法, 验证了虚拟相关信道更接近残差数据的真实分布.

**关键词:** 分布式视频编码; Wyner-Ziv 编码; 虚拟相关信道; 边信息

中图分类号: TN919.8

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2009)05-0062-05

## An Improved Parameters Estimated Method for Virtual Correlative Channel

DAI Ming-xin, SONG Xing-hua

(Communication Terminal of Beijing Aviation Control Center, Beijing 100120, China)

**Abstract:** In the frame of the distributed video coding, the exact estimate for the statistic between the WZ frame and assistant side information, the exact model and estimated parameters for virtual correlative channel is important to improve the coding compress efficiency and the control of the code rate. The model selection and parameters optimization for analog channel were discussed. The Laplace model and the Gauss model in common used in the video frequency were researched. An estimate method of parameters with emendation coefficient for virtual correlative channel was presented, and the estimated virtual channel more approaching to the real distribution of the residual difference data was validated.

**Key words:** distributed video coding; Wyner-Ziv coding; virtual correlative channel; side information

分布式视频编码(DVC, distributed video coding)是建立在 20 世纪 70 年代由 Slepian 和 Wolf 以及 Wyner 和 Ziv 提出的多信源信息编码理论<sup>[1,2]</sup>基础上的一种新的视频压缩编码框架. 它具有可将计算复杂度在编解码端灵活分配、容错性能好的优点的同时, 还可以方便地实现可伸缩编码以及多视角视频编码等. 这些优点使其在无线低功耗视频监控、可视传感器网络等飞速发展的无线视频应用领域中具有重要的应用价值<sup>[3]</sup>. 但目前已实现的分布式视频编码方案性能和以 H. 264 为代表的传统视频编码方法相比还有着较大差距. 在高效的分布式信源

编解码器(Wyner-Ziv coder)设计、辅助边信息生成、相关性建模与估计、码率分配与编码模式选择等多方面仍存在许多问题需要研究<sup>[4]</sup>.

分布式视频编码的理论基础 Slepian-Wolf 编码理论及 Wyner-Ziv 编码理论给出的分布式编码性能极限是建立在信源间统计特性是完全准确可知的基础上的. 因此在分布式视频编码框架中, 准确地估计 WZ 帧与辅助边信息之间的统计特性, 也即对它们之间的虚拟“相关信道”准确设计模型并估计其参数对于提高编码压缩效率进而准确进行码率控制十分重要. 在早期的研究<sup>[5]</sup>中采用了加性高斯白噪声信

收稿日期: 2009-08-13

作者简介: 代明鑫(1981-), 男, 山东聊城人, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为通信与信息系统; 宋兴华(1974-), 男, 山东寿光人, 工程师, 主要研究方向为图像信息处理.

道作为这一虚拟“相关信道”的模型,而进一步的实验表明,待编码的 WZ 帧数据与辅助边信息数据的残差分布和高斯白噪声的概率密度函数相比更接近于拉普拉斯分布,文献[6]即采用了拉普拉斯分布模型来描述残差数据分布.在分布式视频编码实际应用中,WZ 帧的原始数据在解码端是未知的,解码边信息的重建实际上是在解码端对编码的 WZ 帧进行估计,它要求在 WZ 帧未知的情况下,利用视频序列的帧间相关性对编码的 WZ 帧做出尽可能准确的估计.因此,如何准确地描述边信息与 WZ 帧的相似度,如何寻找合适的模拟信道参数是一个研究难点.文中提出了一种带校正系数的虚拟相关信道参数估计方法,使得估计的虚拟相关信道更接近残差数据的真实分布.

### 1 分布式视频编码基本原理与框架

Slepian-Wolf 理论可简单描述如下:考虑 2 个统计相关的 i.i.d (独立同分布)随机序列  $X, Y$ . 假设要利用  $Y$  做参考信息来对  $X$  进行无损编码,如果在编码端和解码端都可以得到参考信息  $Y$ ,即采用联合编码联合译码时,根据香农信息论可知对  $X$  无损编码所能达到的最小理论编码速率为已知  $Y$  的情况下  $X$  的条件熵  $H(X|Y)$ . 但是 Slepian 和 Wolf 证明了联合编码并不是必须的,也就是当采用独立编码联合译码时最小编码速率仍能在一个小的错误概率下达到条件熵  $H(X|Y)$ ,并且随着序列长度的

增加错误概率渐趋近于 0. 也就是说只需知道  $X, Y$  的联合概率分布,编码器不需要得到参考信息就能够取得和已知参考消息一样的编码效率. 同样对于  $X, Y$  均需要编码传输的情况,根据 Slepian-Wolf 理论可达到的最小编码速率区域应满足一组条件即

$$\begin{aligned} R_X + R_Y &\geq H(X, Y) \\ R_X &\geq H(X|Y) \\ R_Y &\geq H(Y|X) \end{aligned} \quad (1)$$

式中,  $H(X|Y)$  和  $H(Y|X)$  表示 2 个信源之间的条件熵;  $R_X$  和  $R_Y$  表示 2 个信源各自的编码速率. Wyner-Ziv 理论是 Slepian-Wolf 理论在对相关信源进行有损编码时的扩展,它同样给出了对已知联合概率分布的相关信源进行有损编码时其理论失真性能与是否采用联合编码无关. 分布式视频编码就是利用了这 2 个理论的思想,通过在编码端独立编码,解码端联合解码的方法把原本位于编码端的计算复杂度转移到解码端.

目前的分布式视频编解码框架基本遵循图 1 所示的结构. 对于输入的视频帧序列,首先从帧序列中有规律的抽取一部分帧作为关键帧(Key 帧),在这些关键帧之间的帧称为 Wyner-Ziv 帧(WZ 帧). 对于 Key 帧,使用传统的帧内编解码算法进行处理,如 Jpeg 或 H.264 的帧内编解码技术. 关键帧在解码端进行独立解码后,除直接输出之外还可以通过外推估计形成参考帧进而转换成 WZ 帧解码时需要的辅助信息. WZ 帧采用 Wyner-Ziv 编码器进行编码.

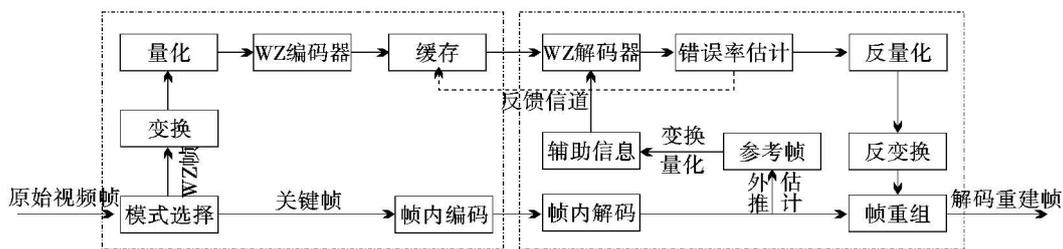


图 1 分布式视频编解码框架图

### 2 虚拟相关信道

Slepian-Wolf 理论还有一种特殊形式如图 2 所示.

$X, Y$  是 2 个相关信源,数据之间的相关性被模拟为一个“相关信道”.这样  $Y$  可以看作是  $X$  经过这样一个虚拟“相关信道”的输出,也就是  $X$  经过信道

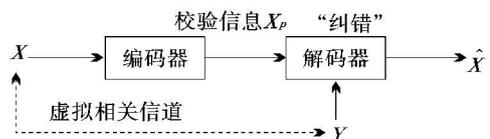


图 2 解码端有辅助边信息的压缩编码解码

传输时受到某种虚拟“噪声”污染产生误码而变成了

Y,这样就可以把 Y 作为辅助边信息,也就是解码 X 需要的参考信息;而信源 X 经过用于压缩的信道编码器得到一定的校验信息  $X_p$  传输至解码端,与边信息 Y 联合译码,得出  $\hat{X}$ . 而这一译码性能很大程度上取决于对 X 与 Y 之间的虚拟“相关信道”模型描述的准确度.

在分布式视频编码中也是同样的,对于一个 WZ 帧相应的辅助边信息帧也可以看做是该 WZ 帧通过了一个虚拟“相关信道”的输出. 如果用  $X_k$  表示视频序列中的第 k 帧,用  $Y_k$  表示视频序列中第 k 帧的辅助边信息帧. 那么两者关系为

$$X_k(i, j) = Y_k(i, j) + N_k(i, j) \quad (2)$$

式中,  $N_k$  表示的就是  $X_k$  与  $Y_k$  之间的虚拟“噪声”,对  $N_k$  的模型表示就是虚拟“相关信道”的建模. 在早期的分布式视频编码框架中用加性高斯白噪声模型来描述这一虚拟“相关信道”如下

$$p[X_k(i, j) - Y_k(i, j)] = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \cdot \exp\left[-\frac{X_k(i, j) - Y_k(i, j)}{2\sigma^2}\right] \quad (3)$$

式中,  $\sigma^2$  表示视频序列第 k 帧  $X_k$  与相应的辅助边信息帧  $Y_k$  之间残差数据的方差;函数  $p$  表示概率密度函数;  $(i, j)$  表示视频帧中位置为  $i, j$  的像素. 而实验证明用高斯白噪声来描述残差数据分布误差是较大的. 在传统的视频编码中,拉普拉斯分布常被用于对运动补偿过的残留 DCT 系数进行建模<sup>[7]</sup>. 拉普拉斯分布由于其在建模准确度和复杂度之间有个良好的折中,因此应用最为广泛<sup>[8]</sup>. 也因此最初采用高斯白噪声来描述 WZ 帧与辅助边信息帧的残差数据分布后不久,很多文献<sup>[9-11]</sup>都采用了拉普拉斯分布来描述 WZ 帧与辅助边信息帧的残差数据分布,也就是用拉普拉斯分布作为虚拟“相关信道”的模型,如式(4)所示

$$p[X_k(i, j) - Y_k(i, j)] = \frac{\alpha}{2} \exp[-\alpha |X_k(i, j) - Y_k(i, j)|] \quad (4)$$

式中,  $\alpha$  为拉普拉斯系数,可以通过式(5)计算得到;函数  $p$  仍表示概率密度函数;  $(i, j)$  表示视频帧中位置为  $i, j$  的像素.

$$\alpha = \sqrt{\frac{2}{\sigma^2}} \quad (5)$$

式中,  $\sigma^2$  表示视频序列第 k 帧  $X_k$  与相应的辅助边信息帧  $Y_k$  之间残差数据的方差.

### 3 虚拟相关信道参数估计方法

在分布式视频编码实际应用中, WZ 帧的原始数据在解码端是未知的,解码边信息重建实际上是在解码端对编码的 WZ 帧进行估计,它要求在 WZ 帧未知的情况下,利用视频序列的帧间相关性对编码的 WZ 帧做出尽可能准确的估计. 因此,如何准确地描述边信息与 WZ 帧的相似度,如何寻找合适的模拟信道参数是一个研究难点. 可以考虑如下 2 种方法.

(1)对大量有代表性的视频序列进行统计分析,对每一种序列采用不同的参数值. 此种方法思路简单,缺点是对于不同的视频序列,参数的变换范围不大,而且随着视频内容的变化,帧间的相关性也在随时变化,相应的虚拟“相关信道”拉普拉斯的参数也应该随时变化才符合实际情况,因此这种通过统计分析得到的参数值不太适用.

(2)由于每一帧与其边信息之间的模拟信道的参数都不相同,可以考虑采用自适应的方法进行参数估计. 上面分析了 WZ 帧原始数据与重建出的边信息之间符合拉普拉斯分布,只需要确定一个参数值即可. 同时,由于 WZ 帧原始数据在解码端是未知的,故可以考虑采用其他相近数据(如前后相邻的关键帧)的基础上通过校正系数间接得到,计算方法如下:

如上所述用拉普拉斯分布作为虚拟“相关信道”的模型如式(4)所示,式中拉普拉斯系数  $\alpha$  可以通过式(5)计算得到. 此时计算得到的参数称为“实际参数  $\alpha$ ”. 需要说明的是,即使是按照这种方法计算出来的参数也不能完全描述 WZ 帧与边信息帧数据残差的分布,这是由于视频序列并不是严格意义上的拉普拉斯或者高斯分布. 但是考虑到在分布式视频编码的解码端对于 WZ 帧原始数据是未知的,而同时由于 WZ 帧与边信息帧的相关性在一定程度上是和前后关键帧之间相关性变化趋势是一致的,因此在对前后相邻的 2 个关键帧残差的拉普拉斯参数计算的基础上通过修正系数间接计算得到,设由前后相邻的 2 个关键帧计算得到的拉普拉斯参数  $\alpha$  的值为

$$\alpha^2 = \frac{2}{D(K_{-1} - K_{+1})} \quad (6)$$

式中,  $K_{-1}$ 、 $K_{+1}$  分别表示 WZ 帧的前、后相邻的关键帧对应像素值;  $D(K_{-1} - K_{+1})$  为方差. 此时计算得

到的参数称为“参考参数  $\alpha$ ”。

在式(6)计算得到的关键帧间的拉普拉斯参数基础上提出如下参数修正方法为

$$WD = \frac{D(K_{-1} - K_{+1})}{Q} \quad (7)$$

$$\alpha^2 = \frac{2}{WD}$$

式中,  $Q$  表示修正系数, 根据不同特点的视频序列采用不同的参数, 可以通过数据统计试验得到. 按照这种方法得到的参数值称为“修正后的参数  $\alpha$ ”。

### 4 实验结果

下面分别在 Foreman 序列与 Claire 序列上进行实验. 采用普通双向预测重建辅助边信息帧, 辅助边信息与 WZ 帧原始数据之间为拉普拉斯分布, 参数  $\alpha_1$  由 WZ 原始帧与辅助边信息帧 SI 之间的方差求得, 即实际参数; 参数  $\alpha_2$  由 WZ 原始帧的两相邻关键帧之间的方差求得, 即根据式(6)求得; 参数  $\alpha_3$  为修正后的参数, 是根据式(7)加入修正系数后的结果, 其中  $Q = 16$ . WZ 帧采用隔帧选取策略. 结果分别如表 1 与表 2 所示.

表 1 Foreman 序列虚拟相关信道参数计算

帧编号	2	4	6	8	10	12	14
$\alpha_1$	0.38	0.31	0.42	0.41	0.39	0.25	0.22
$\alpha_2$	0.09	0.10	0.12	0.10	0.10	0.08	0.07
$\alpha_3$	0.37	0.39	0.46	0.40	0.39	0.34	0.28

表 2 Claire 序列虚拟相关信道参数计算

帧编号	2	4	6	8	10	12	14
$\alpha_1$	0.86	1.58	1.35	0.85	1.21	1.10	1.24
$\alpha_2$	0.27	0.40	0.37	0.38	0.45	0.78	0.37
$\alpha_3$	0.74	0.82	1.29	1.13	1.26	2.14	1.15

由表 1 与表 2 可以看出, 提出的带修正系数的方法使得求出的参数基本接近残差数据的真实分布. 值得注意的是, 表中  $\alpha_3$  的计算是以  $Q = 16$  为修正系数的. 在图 3、图 4 中, 分别给出了 Foreman 序列的第 6 帧, Claire 序列的第 8 帧在不同修正系数下得到的拉普拉斯分布与残差数据真实分布比较.

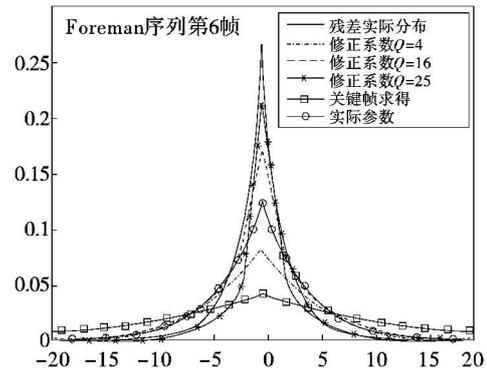


图 3 Foreman 序列不同修正系数的 Laplace 分布比较

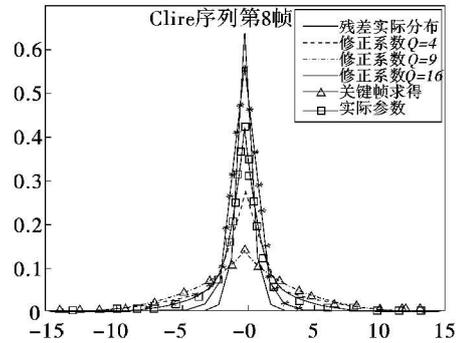


图 4 Claire 序列不同修正系数的 Laplace 分布比较

### 5 结束语

如何重建并利用数据之间的相关性, 即模拟 WZ 视频帧与对应的边信息之间的信道模型, 是 DVC 研究的重点. 文中对模拟信道的模型选取和参数优化进行了深入的讨论, 并对视频序列中常用的 Laplace 模型和 Gauss 模型进行研究, 提出了一种带校正系数的虚拟相关信道参数估计方法. 结果表明, 该方法使得估计的虚拟相关信道更接近残差数据的真实分布.

### 参考文献

[1] SLEPIAN J D, WOLF J K. Noiseless coding of correlated information sources[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1973, 19: 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, 1975, 22 (1): 1-10.

- [3] Pereira F, Torres L, Guillemot C, et al. Distributed video coding: selecting the most promising application scenarios[J]. Elsevier Journal Signal Processing: Image Communication, 2008, 23(1): 339 – 352.
- [4] Guillemot C, Pereira F, Torres L, et al. Distributed monoview and multiview video coding[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2007, 24(5): 67 – 76.
- [5] ISHWAR P, PRABHAKARAN V, RAMCHANDRAN K. Towards a theory for video coding using distributed compression principles[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing, Barcelona, Spain: IEEE Computer Society Press, 2003: 687 – 690.
- [6] ASCENSO J, BRITES C, PEREIRA F. Motion compensated refinement for low complexity pixel based distributed video coding[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, Como, Italy: IEEE Press, 2005: 593 – 598.
- [7] F Bellifemine, A Capellino, A Chimienti, et al. Statistical analysis of the 2D – DCT coefficients of the differential signal for images[J]. Signal Process: Image Commun, 1992, 4(6): 477 – 488.
- [8] E Y Lam, J W Goodman. A mathematical analysis of the DCT coefficient distributions for images[J]. IEEE Trans. Image Process, 2000, 9(10): 1661 – 1666.
- [9] B Girod, A Aaron, S Rane. Distributed video coding[J]. Proc. IEEE, 2005, 93(1): 71 – 83.
- [10] A Aaron, S Rane, E Setton, et al. Transform-domain Wyner-Ziv codec for video [C]//in Proc. VCIP. San Jose, CA, 2004: 520 – 528.
- [11] A Avudainayagam, J M Shea, D Wu. Hyper-Trellis decoding of pixel-domain Wyner-Ziv video coding[J]. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol, 2008, 18(5): 557 – 568.

-----

(上接第 22 页)

- [18] Antoni Rogalski. Heterostructure infrared photovoltaic detectors[J]. Infrared Physics & Technology, 2000, 41(4): 213 – 238.
- [19] E P G Smith, G M Venzor, M D Newton, et al. Inductively coupled plasma etching for large format HgCdTe focal plane array fabrication[J]. Journal of Electronic Materials, 2005, 34(6): 746 – 753.
- [20] M Chu, H K Gurgonian, S Mesropian, et al. Advanced HgCdTe focal plane arrays [C]//SPIE Proceeding, 2003, 5074: 103 – 110.
- [21] E P G Smith, E A Patten, P M Goetz, et al. Fabrication and characterization of two-color midwavelength/long wavelength HgCdTe infrared detectors[J]. Journal of Electronic Materials, 2006, 35(6): 1145 – 1152.
- [22] E P G Smith, G M Venzor, Y Petraitis, et al. Fabrication and Characterization of Small Unit-Cell Molecular Beam Epitaxy Grown HgCdTe-on-Si Mid-Wavelength-Infrared Detectors[J]. Journal of Electronic Materials, 2007, 36(8): 1045 – 1051.
- [23] E P G Smith, L T Pham, G M Venzor, et al. HgCdTe focal plane arrays for dual-color mid- and long-wavelength infrared detection[J]. Journal of Electronic Materials, 2004, 33(6): 509 – 516.
- [24] R D Rajavel, D M Jamba, J E Jenson, et al. Molecular beam epitaxial growth and performance of HgCdTe-based simultaneous-mode two-color infrared detectors [J]. Journal of Electronic Materials, 1998, 27(6): 747 – 751.
- [25] P Mitra, S L Barnes, F C Case, et al. MOCVD of bandgap-engineered HgCdTe p-n-N-P dual-band infrared detector arrays[J]. Journal of Electronic Materials, 1997, 26(6): 482 – 487.
- [26] Arnold Goldberg, et al. Large format and multi-spectral QWIP infrared focal plane arrays[C]//SPIE Proceeding, 2003, 5074: 83 – 94.
- [27] W A Radford, E A Patten, D F King, et al. Third generation FPA development status at Raytheon Vision Systems [C]//SPIE Proceeding, 2005, 5783: 331 – 339.
- [28] Philippe Tribolet. Sofradir backs a two-tone approach [J]. Compound Semiconductor, 2009(1): 29 – 31.
- [29] Jeffrey D Beck, Chang-Feng Wan, Michael A Kinch, et al. MWIR HgCdTe avalanche photodiodes[C]//SPIE Proceeding, 2001, 4454: 188 – 197.
- [30] F Emami, M Frdosiyani Tehrani. Noise Reduction and Simulation in Avalanche Photodiodes[J]. International Journal of Communications, 2008, 2(1): 17 – 26.
- [31] J Beck, C Wan, M Kinch, et al. The HgCdTe Electron Avalanche Photodiode [J]. IEEE LEOS NEWSLETTER, 2006(10): 8 – 12.
- [32] M Kinch, J Beck, C Wan, et al. Journal of Electronic Materials [J], 2004, 33(6): 630 – 639.
- [33] M Jack, J Asbrock, C Anderson, et al. Advances in linear and area HgCdTe APD arrays for eyesafe LADAR sensors [C]//SPIE Proceeding, 2002, 4454: 198 – 206.