

文章编号 1004-924X(2009)04-0923-07

分布式视频编码中虚拟信道模型的动态估计

卿粼波,何小海,张志亮

(四川大学 电子信息学院 图像信息研究所,四川 成都 610065)

摘要:针对分布式视频编码系统中虚拟信道的时域动态特性,提出了新的解码端帧级虚拟信道模型的动态估计算法。利用边信息内插阶段所获得的双向运动矢量,对当前帧前后的关键帧进行运动补偿,通过前后关键帧的运动补偿误差来估计当前帧的虚拟信道模型。针对虚拟信道的空域动态特性,还提出了子块级虚拟信道模型的动态估计算法。通过对视频帧进行分块,然后对每个分块都进行参数估计,即可动态地完成各子块对应的虚拟信道模型的估计。实验证明,对于不同运动特性的序列,所提出的虚拟信道模型可使系统的率失真性能提高 0.5~1 dB,有效地降低了视频编码系统的传输码率。

关键词:分布式视频编码; Wyner-Ziv; 虚拟信道模型; 矩估计

中图分类号: TN919.81 **文献标识码:** A

Dynamic estimation of virtual channel model for distributed video coding

QING Lin-bo, HE Xiao-hai, ZHANG Zhi-liang

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

Abstract: Two kinds of algorithms are proposed to dynamically estimate the precise of the Virtual Channel Model(VCM) to improve the performance of Distribution Video Coding(DVC) system. According to the temporal dynamic property of the VCM, a new frame level VCM estimation algorithm at the decoders is proposed. For each coding frame, the bidirectional vectors acquired in side information interpolation are used to get motion compensated versions of the key frames, then, the residuals of the key frames and their compensated motion versions are used to estimate the VCM of current coding frame. According to the spatial dynamic property of the VCM, a novel block level VCM estimation algorithm is proposed also. The video frames are divided into blocks, then the VCM estimation algorithm proposed is adopted to get its own VCM for each block. Experimental results show that for different video sequences, the proposed algorithms improve rate distortion performance by 0.5~1 dB for the DVC system, and reduce transmission code rates for video encoding systems.

Key words: distributed video coding; Wyner-Ziv; virtual channel model; moment estimation

1 引言

随着视频技术的飞速发展,视频的应用范围越来越广,大量新涌现的视频应用如多媒体传感器网络、卫星视频通信、无线视频监控等,使得视频编码设备逐渐向低功耗化、无线化、微型化方向发展。这就决定了视频的编码设备在电源功耗、计算能力方面都有很大的限制,而且传输过程中将受到无线信道的误码干扰。传统的帧间视频编码标准(如 H. 264/MPEG 系列)具有很高的编码复杂度,而且固有预测回路的存在使得其对无线信道的误码鲁棒性不高,因此在嵌入式无线设备上的应用遇到了很大的挑战。虽然大量学者不断研究各种快速算法^[1-2],编码复杂度的问题仍无法从根本上解决。为此基于 Slepian-Wolf 理论^[3]和 Wyner-Ziv 理论^[4]的分布式视频编码(Distributed Video Coding, DVC)技术应运而生。理论上,DVC 技术只需要在编码端进行简单的帧内编码就能获得与传统帧间视频编码标准相似的编码效率,同时 DVC 系统基本都基于信道编码,而且不存在预测回路,对误码具有固有的鲁棒特性。因此,DVC 技术为嵌入式无线视频编码应用提供了很好的解决方案。

虽然 DVC 技术的理论基础在上世纪 70 年代就已经提出,但直到 2002 年,在国际上才开始研究 DVC 技术。国内的相关研究文献更是屈指可数,从可查询的中文文献看,只有一些综述性研究^[5]及少数具体算法的研究^[6]。迄今为止,DVC 技术还很不成熟,如何提高 DVC 系统的压缩性能是当前急需解决的问题。当前,国际上对 DVC 技术的研究大都基于 Aaron^[7]等提出的 DVC 应用框架——Wyner-Ziv 视频编码系统,然后从多方面进行研究,如在编码端引入变换编码^[8-10]、解码端提高边信息的质量^[11-13]等,以期提高系统的编码性能。然而很少有研究者从提高信道编码纠错性能方面来提高 DVC 系统的编码性能,即便是在最近 Girod^[14]对 DVC 技术的详细综述中都没有提及。

DVC 系统中影响信道编码纠错性能的最关键因素之一就是虚拟信道模型估计的准确性。所估计的虚拟信道模型与实际虚拟噪声分布越接近,信道编码的纠错性能越好。P. Ishwar^[15]和

Weerakkody^[16]利用 AWGN 信道对虚拟信道进行模拟。然而,DVC 系统中边信息一般是通过基于块的运动补偿内插完成的,因此 Aaron^[7]等提出的基于 Laplacian 分布的虚拟信道模型,比 AWGN 模型更加符合虚拟噪声的统计特性。随后大多数学者都以 Laplacian 分布作为基本的虚拟信道模型,对虚拟信道模型的估计只是简单提到,而没有进行深入研究。Chien^[11]等和 Scenso^[12]等利用几个序列的原始信息与边信息的差值来估计虚拟信道的模型,然后在进行 DVC 解码时保持虚拟信道不变,这种方式不能有效地挖掘虚拟信道的时域动态特性。Brites^[9]等利用原始视频帧与边信息之间的残差完成虚拟信道的估计,Aaron^[7]等利用边信息与前一帧已解码帧的差来完成虚拟信道的估计,两种方式都考虑了虚拟信道的时域动态特性(即每一帧视频对应的虚拟信道都不一样)。然而,解码端并不知道原始视频帧,因此 Brites^[9]的算法只适用于对视频编码系统中其他模块的理论研究,不适用于实际系统实现。而 Aaron^[7]的算法虽然完全在解码端完成,但对虚拟信道模型的估计只依赖于前一帧,受噪声的影响较大,准确度不高,而且没有考虑虚拟信道的空间变化特性。

对于 Wyner-Ziv 系统中实际虚拟信道的特性而言,由于视频的运动特性是变化的,不同帧、甚至同一帧的不同区域的边信息质量是不同的,因此虚拟信道噪声特性在时域(即不同帧)甚至空域(即同一帧的不同区域)上都是不同的。因此,本文从虚拟信道的准确度出发,深入分析了虚拟信道的特性。首先,提出了更优化的帧级虚拟信道模型的动态估计算法;然后,进一步提出了子块级虚拟信道模型的动态估计算法,从而有效提高了信道编码的纠错性能,提升了 DVC 系统的率失真性能。

2 Wyner-Ziv 系统中的虚拟信道

2.1 虚拟信道

本文对虚拟信道模型估计算法的评估主要基于 Aaron 等^[7]提出的像素域 Wyner-Ziv 视频编码系统,系统框图如图 1 所示。系统首先将原始视频帧的奇数帧 X_{2i-1} 作为关键帧,采用传统帧内编码对其进行编解码;将偶数帧 X_{2i} 作为 Wyner-

Ziv 帧,采用 Wyner-Ziv 编码系统对其进行编解码。

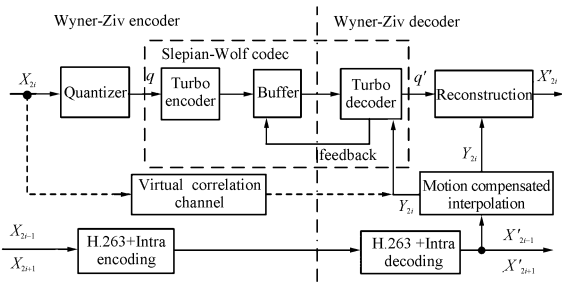


图1 像素域 Wyner-Ziv 视频编码系统框图

Fig. 1 Block diagram of Wyner-Ziv video coding system in pixel domain

在如图1所示的 Wyner-Ziv 编码系统中,边信息 Y_{2i} 是利用与当前帧 X_{2i} 临近的已解码关键帧 X'_{2i-1} 和 X'_{2i+1} , 通过双向运动补偿内插获得的, 其内插重建模型如图2所示。

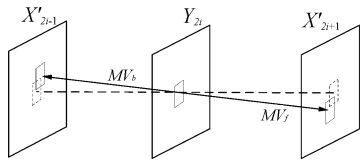


图2 边信息的双向运动补偿内插

Fig. 2 Bi-directional motion compensated interpolation of side information

首先经过单向运动估计、双向对称运动估计及运动矢量后处理等算法^[13]获得边信息 Y_{2i} 各分块的前向运动矢量 $\mathbf{MV}_f = (mv_{xf}, mv_{yf})$ 和后向运动矢量 $\mathbf{MV}_b = (mv_{xb}, mv_{yb})$, 然后通过双向运动补偿完成边信息帧的内插:

$$Y_{2i}(m, n) = (X_{2i-1}(m + mv_{xf}, n + mv_{yf}) + X_{2i+1}(m + mv_{xb}, n + mv_{yb})) / 2, \quad (1)$$

其中, $Y_{2i}(m, n)$ 表示边信息中处于 (m, n) 的像素值。此时原始视频帧 X_{2i} 与其边信息 Y_{2i} 已经非常相似, 因此 Y_{2i} 可以看作是 X_{2i} 经过一个虚拟噪声信道后的输出, 即

$$Y_{2i}(m, n) = X_{2i}(m, n) + N_{2i}(m, n). \quad (2)$$

而 Turbo 码的引入, 就可看作是用来对这个虚拟信道的噪声(即边信息与原始视频帧的残差)进行纠错。显然, 对虚拟信道模型估计的准确性将直接影响 Turbo 码的纠错性能, 从而影响 Wyner-Ziv 视频编码器的编码效率。所估计的虚拟信道

模型与实际噪声分布越接近, Turbo 码就能够利用越少的校验位完成原始信息的解码, 从而降低需要传输到解码端的校验位数量, 提高 Wyner-Ziv 系统的编码效率。

2.2 虚拟信道模型的估计

如式(2), 对虚拟信道模型的估计过程实际就是对虚拟信道噪声中噪声 N_{2i} 的统计特性进行估计。由于 Y_{2i} 是通过运动补偿内插(如式(1))生成的, 因此 Laplacian 分布能够有效地对其进行建模^[7], 即假设 N_{2i} 符合如下分布:

$$f(N_{2i}) = \frac{\alpha}{2} e^{-\alpha |N_{2i}|}, \quad (3)$$

其中 α 为待定系数。

由于式(3)设定了虚拟信道的总体模型, 对虚拟信道模型的估计就转到对待定系数 α 的估计上来。对于符合式(3)分布的随机变量 N , 其方差 σ^2 可由下式计算:

$$\sigma^2 = E(N^2) - (E(N))^2 = 2/\alpha^2. \quad (4)$$

显然如果能够估计 N 的方差 σ^2 , 则可计算待定系数 α 。

设当前已知 N 的 n 个样本 $N_j, j \in [1, n]$, 首先利用矩估计理论对随机变量 N 的方差 σ^2 进行估计:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (N_j - \bar{N})^2, \quad (5)$$

其中, \bar{N} 为所有样本的均值, 然后通过式(4)即可完成对参数 α 的估计即:

$$\hat{\alpha} = [2n / \sum_{j=1}^n (N_j - \bar{N})^2]^{1/2}. \quad (6)$$

从式(3)~(6)可知, 要完成虚拟信道模型的估计, 关键就是要找到合适的样本 $N_j, j \in [1, n]$, 通过符合相应分布的样本来完成虚拟信道模型的估计。

3 Wyner-Ziv 系统中解码端虚拟信道模型的动态估计

3.1 解码端帧级虚拟信道模型的动态估计

如果假设虚拟信道模型对于任一个视频序列都保持不变(如 Chien 等^[10]和 Sscenso^[11]等的算法), 则直接通过对几种不同序列进行边信息内插重建, 然后利用所有边信息与原始帧的差值作为

样本 N_j , 利用式(6)就可对序列级虚拟信道模型进行估计。

然而, 视频帧随着时间的推移, 运动强度的变化、场景的变化、光照的变化等诸多因素都将影响边信息运动补偿内插的质量, 因此边信息与原始信息的相似度是在不断变化的。Wyner-Ziv 系统中, 每一帧 Wyner-Ziv 帧对应的虚拟信道的噪声分布都不一样, 这就决定了在解码端对于每一帧 Wyner-Ziv 帧都需要动态地估计其对应的虚拟信道, 即帧级虚拟信道模型。然而, 在 Wyner-Ziv 实际系统中, 虚拟信道的参数估计是需要解码端完成的, 这就意味着解码端没有原始视频帧 X_{2i} 的数据, 因此式(6)中的准确噪声样本在是无法获取的。为此本文依据运动视频时域局部的连续性特点, 有效地利用已解码临近视频帧 X'_{2i-1} 、 X'_{2i+1} 和边信息 Y_{2i} 来完成对参数 α 的估计, 从而实现解码端帧级虚拟信道的动态估计。算法的步骤如下:

首先将 X'_{2i+1} 作为参考帧, 对 X'_{2i-1} 进行运动估计, 然后通过运动补偿完成 \hat{X}'_{2i-1} 的重建, 进而通过 X'_{2i-1} 和其对应的运动补偿版本 \hat{X}'_{2i-1} 完成对应的残差的计算:

$$N_{2i-1} = X'_{2i-1} - \hat{X}'_{2i-1}. \quad (7)$$

为了防止运动场突变(如场景切换)带来的虚拟信道模型的突变, 本算法继续将 X'_{2i-1} 作为参考帧, 计算所对应的残差 N_{2i+1} :

$$N_{2i+1} = X'_{2i+1} - \hat{X}'_{2i+1}. \quad (8)$$

最终将两帧残差的平均即:

$$\hat{N}_{2i} = (N_{2i-1} + N_{2i+1})/2. \quad (9)$$

作为符合式(3)分布的随机 N_{2i} 的噪声样本, 利用式(3)~(6)完成帧级虚拟信道模型的动态估计。

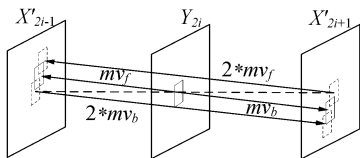


图 3 N_{2i-1} 和 N_{2i+1} 的计算

Fig. 3 Calculation of N_{2i-1} and N_{2i+1}

需要注意的是, 如果为了完成 N_{2i-1} 和 N_{2i+1} 的计算, 在边信息的运动补偿内插后又进行两次运动估计, 将增加解码端的计算复杂度, 而且没有与边信息本身建立直接联系, 不利于对与边信息对应的实际虚拟信道模型的准确估计。为此本文

算法直接利用边信息内插阶段所获得的双向运动矢量 $MV_f = (mv_{xf}, mv_{yf})$ 和 $MV_b = (mv_{xb}, mv_{yb})$ 来完成 \hat{N}_{2i} 的估计(如图 3 所示):

$$N_{2i-1} = X'_{2i-1} - X'_{2i+1}(p + 2mv_{xb}, q + 2mv_{yb}), \quad (10)$$

$$N_{2i+1} = X'_{2i+1} - X'_{2i-1}(p + 2mv_{xf}, q + 2mv_{yf}), \quad (11)$$

$$\hat{N}_{2i} = (N_{2i-1} + N_{2i+1})/2. \quad (12)$$

3.2 解码端子块级虚拟信道模型的动态估计

在边信息的内插过程中, 由于场景改变、视频运动场强度的空间不均匀性、运动物体的进入和移出等方面的影响, 同一帧边信息的质量是随其空间位置的不同而变化的, 因此不同区域的虚拟信道模型是不一样的。如图 4 所示为 Grasses 序列第 60 帧边信息与原始视频帧之间的残差绝对值的图示, 其中亮度高的区域表示噪声值大, 反之亦然。显而易见, 不同位置残差的强度是不一样的。如果将残差分为 4 个子块, 然后对每个子块中残差 R 的概率 P 进行统计, 得到如图 5 所示的结果。

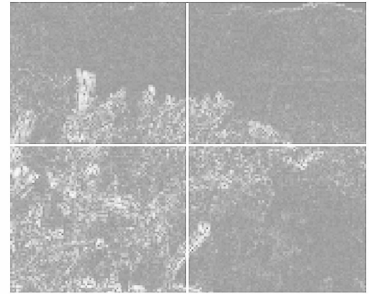


图 4 边信息与原始帧的残差(Grasses 第 60 帧)

Fig. 4 Residual of the side information and original frame (Grasses 60th frame)

如图 5 所示, 不同的分块中残差的分布都不相同, 特别是 Grasses 的第 2、3 个子块与第 1、4 个子块的差别非常大, 因此不同子块对应的虚拟信道模型是不一样的。如果将原始视频帧分为多个子块, 对每个子块对应的虚拟信道都分别利用 4.1 节提出的算法进行动态估计, 这将使所估计的虚拟信道模型更符合原始虚拟噪声的分布, 从而提高 Wyner-Ziv 视频编码系统的中信道编码的纠错性能。为此, 本文提出子块级虚拟信道模型的动态估计算法, 算法的步骤如下:

首先按照式(10)~(12)所示的算法计算当前

帧对应虚拟信道的噪声估计样本 \hat{N}_{2i} , 其尺寸为 $A \times B$ 。

然后将 \hat{N}_{2i} 分为大小为 $A_b \times B_b$ 的样本子块 \hat{N}_{2i}^j , 其中 $j \in [1, (A \times B) / (A_b \times B_b)]$ 。

最后对于每个样本子块 \hat{N}_{2i}^j , 都利用式(6)估计当前子块的参数 α^j , 完成子块级虚拟信道模型的动态估计。如图 6 所示为分块数为 4 的子块级虚拟信道模型的示意图, 显然, 每个子块都对应于不同的虚拟信道模型, 各个信道模型总体上与实际虚拟噪声的分布更为接近。

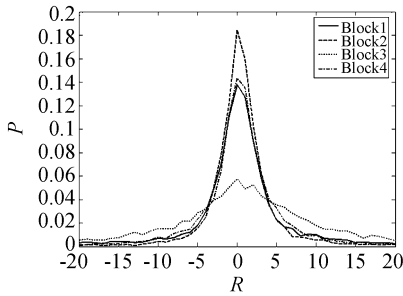


图 5 不同分块残差的概率分布 (Grasses 第 60 帧)

Fig. 5 Probability distribution of residual for each block (Grasses 60th frame)

$\frac{\alpha_1}{2} e^{-\alpha_1/N_{2i}^j}$	$\frac{\alpha_2}{2} e^{-\alpha_2/N_{2i}^j}$
$\frac{\alpha_3}{2} e^{-\alpha_3/N_{2i}^j}$	$\frac{\alpha_4}{2} e^{-\alpha_4/N_{2i}^j}$

图 6 子块级虚拟信道模型

Fig. 6 Block level virtual channel model

4 实验结果及分析

为了评估本文所提出算法的有效性, 利用 Wyner-Ziv 视频编码器对 Grasses 序列和 Carphone 序列的前 100 帧进行编码测试。测试过程中采用如下测试条件: (1) 设定奇数帧为关键帧, 偶数帧为 Wyner-Ziv 帧, 并假设关键帧能在解码端无失真重建; (2) 边信息的内插采用文献[13]的多策略内插方式; (3) 采用量化电平为 $2^M \in \{2, 4, 8, 16\}$ 的均匀量化器, 以便获得系统不同的率失真(Rate Distortion, RD)点; (4) 在测试过程中只计算 Wyner-Ziv 帧(帧率为 15 frames/s)的平均码率 Rate 和平均 PSNR 值。分别利用如下 4 种

方式对虚拟信道模型进行估计: (1) 解码端帧级虚拟信道模型的动态估计(Frame level VCM); (2) 解码端子块级虚拟信道模型的动态估计(Block level VCM); (3) Aaron^[7]的虚拟信道模型估计算法, 即通过统计邻近已解码帧与边信息的残差($X'_{2i-1} - Y_{2i}$)来估计 α ; (4) 序列级虚拟信道模型(Sequence level VCM)的静态估计。其中前 2 种方式采用本文所提出的算法, 对于第 4 种方式, 直接通过统计所有的边信息与原始视频帧之间的残差数据来估计 α , 在所有序列编码过程中保持虚拟信道模型不变。

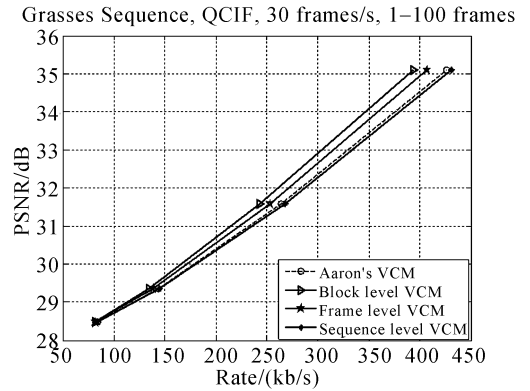


图 7 Wyner-Ziv 系统 RD 性能对比 (Grasses 序列)

Fig. 7 RD performance comparison of Wyner-Ziv system (Grasses sequence)

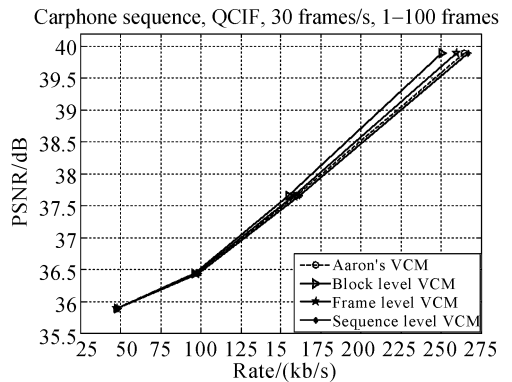


图 8 Wyner-Ziv 系统 RD 性能对比 (Carphone 序列)

Fig. 8 RD performance comparison of Wyner-Ziv system (Carphone sequence)

图 7、图 8 所示为 Wyner-Ziv 系统的 RD 性能对比测试结果。首先可以看出, Aaron^[7]所估计的帧级虚拟信道模型相对于序列级虚拟信道模型而言, 对系统的 RD 性能提升非常少。而本文提出的解码端帧级虚拟信道模型的动态估计算法

不但同时考虑了前一帧和后一帧关键帧的信息,而且也将边信息内插过程所获得的运动矢量信息引入到虚拟信道的估计中,因此获得了更精确的帧级虚拟信道模型,对系统的 RD 性能的提升更明显。

另一方面,与序列级虚拟信道模型、帧级虚拟信道模型相比,本文算法所估计的子块级虚拟信道模型更进一步提高了系统的 RD 性能。同时,系统的量化电平越多,输出码率及系统解码图像质量越高,本文算法对系统性能的提升越大。特别地,相对于序列级虚拟信道模型而言,视频编码系统在对运动场空域不均匀的 Grasses 序列进行编码时,本文算法使系统的 RD 性能提升了近 1 dB;即便是在对运动场空域较均匀的 Carphone 序列进行编码时,本文算法也使系统的 RD 性能提升了近 0.5 dB。

参考文献:

- [1] 梁燕,刘文耀. 基于起点预测的自适应交叉-准菱形运动估计算法[J]. 光学 精密工程, 2005, 13(2): 237-246.
- LIANG Y, LIU W Y. Adaptive cross-quasi-diamond search algorithm based on initial search point estimation[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(2): 237-246. (in Chinese)
- [2] 闫敬文,余见,屈小波,等. 优化预测运动矢量的快速运动估计算法[J]. 光学 精密工程, 2007, 15(10): 1623-1627.
- YAN J W, YU J, QU X B, *et al.*. Novel fast motion estimation algorithm based on optimizing predictive motion vector [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(10): 1623-1627. (in Chinese)
- [3] SLEPIAN S, WOLF J K. Noiseless coding of correlated information sources[J]. *IEEE Transaction on Information Theory*, 1973, IT-19: 471-480.
- [4] WYNER A, ZIV J. The rate-distortion function for source coding with side information at the decoder [J]. *IEEE Transaction on Information Theory*, 1976, IT-22: 1-10.
- [5] 陈爽文. 分布式视频编码[J]. 中国传媒大学学报(自然科学版), 2007, 14(2): 63-66.
- CHENG SH W. Overview of the stream media technology[J]. *Journal of Communication University of China (Science and Technology)*, 2007, 14

5 结 论

本文针对 DVC 系统中虚拟信道的时域和空域动态特性,分别提出了帧级虚拟信道模型和子块级虚拟信道模型的动态估计算法。两种算法都在解码端实时地对虚拟信道模型进行估计,适用于实际视频编码系统。实验结果证明,针对具有不同运动特性的视频序列,本文提出的两种虚拟信道模型的估计算法使得分布式视频编码系统的 RD 性能提升了 0.5~1 dB。特别地,对于运动场空域不均匀的视频场景而言,本文提出的空域虚拟信道估计算法更加有效。另外,所提出的算法只用了解码端重建的相邻关键帧以及边信息,因此,同样适用于其它基于信道编码(如 LDPC 码)的 DVC 系统。

- (2): 63-66. (in Chinese)
- [6] 千宗良,齐丽娜,朱秀昌. 一种空间域 Wyner-Ziv 视频编码系统的性能改进算法[J]. 电子学报, 2007, 35(10): 2015-2018.
- GAN Z L, QI L N, ZHU X CH. A novel performance improved method for pixel-domain Wyner-Ziv video coding system[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2007, 35(10): 2015-2018. (in Chinese)
- [7] AARON A, ZHANG R, GIROD B. Wyner-Ziv coding of motion video[C]. *Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove*, 2002: 3-5.
- [8] AARON A, RANE S, SETTON E, *et al.*. Transform-domain Wyner-Ziv codec for video[C]. *Proceedings of the IT&S/ SPIE Conference on Visual Communication, Image Processing (VCIP)*, San Jose, 2004.
- [9] BRITES C, ASCENSO J, PEREIRA F. Improve transform domain Wyner-Ziv video coding performance[C]. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2006: 525-528.
- [10] GUO X, LU Y, WU F, *et al.*. Distributed video coding using wavelet [C]. *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 2006: 5427-5430.
- [11] CHIEN W J, KARAM L J. Distributed video coding with 3-D recursive search block matching[C].

IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2006.

- [12] SSCENSO J, BRITES C, PEREIRA F. Motion compensated refinement for low complexity pixel based distributed video coding[J]. *IEEE International Conference on Advanced Video and Signal-Based Surveillance*, 2005; 593-598.
- [13] 卿粼波,何小海,吕瑞,等. 分布式视频编码中边信息的多策略优化[J]. *四川大学学报(工程科学版)*, 2008, 40(1): 138-143.
QING L B, HE X H, LV R, *et al.*. The optimization of side information with several strategies for distributed video coding[J]. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2008, 40(1): 138-143. (in Chinese)
- [14] GIROD B, AARON A, RANE S, *et al.*. Distributed video coding[J]. *Proceedings of the IEEE, Special Issue on Video Coding and Delivery*, 2005, 93(1): 71-88.
- [15] ISHWAR P, PRABHAKARAN V M, RAMCHANDAN K. Towards a theory for video coding using distributed compression principles[C]. *International Conference on Image Processing*, 2003(2): 687-690.
- [16] WEERAKKODY W A R J, FERNANDO W A C, ADIKARI A B, *et al.*. 4-PSK TTCM for Wyner-Ziv frame coding in DVC[J]. *IEICE Electronics Express*, 2006, 3(8): 178-183.

作者简介:



卿粼波(1982—),男,博士研究生,主要从事模式识别、图像处理和图像通信等方面的研究。E-mail: q_linbo@163.com



张志亮(1981—),男,硕士,主要从事图像通信和电子系统设计方面的研究。E-mail: mylucky365@163.com

导师简介:



何小海(1964—),男,博士,教授,博士生导师,主要从事图像处理、模式识别和智能化信息技术及系统等方面的研究。E-mail: hxh@scu.edu.cn