

中图法分类号: TP391.41 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)07-1276-07

论文索引信息: 孙力娟, 马子平, 肖甫, 王汝传. 面向多媒体传感器网络的视频压缩新算法 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(7): 1276-1282

面向多媒体传感器网络的视频压缩新算法

孙力娟¹⁾, 马子平¹⁾, 肖甫¹⁾, 王汝传^{1),2)}

¹⁾(南京邮电大学 计算机学院, 南京 210003)

²⁾(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室, 南京 210093)

摘要: 视频压缩可以降低多媒体传感器网络中的数据信息量。传统分布式视频编码方案采用区域统一编码, 可能导致运动剧烈区域解码估计的失真。提出一种改进的分布式视频编码算法。该算法基于图像梯度场, 针对 Wyner-Ziv 帧不能准确编解码的区域, 通过 ROI 判定准则提取该区域并基于熵编码压缩, 图像其他区域则基于 LDPC 实现分布式编解码, 进而实现视频的优化传输。仿真实验表明: 本文算法可增强运动剧烈区域的编码效率, 在降低码率的同时提高解码图像质量, 最终降低传感器节点能耗。

关键词: 分布式视频编码; 感兴趣区域; 熵编码; 多媒体传感器网络

Novel video compression algorithm for multimedia sensor network

Sun Lijuan¹⁾, Ma Ziping¹⁾, Xiao Fu¹⁾, Wang Ruchuan^{1),2)}

¹⁾(School of Computer Science, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003 China)

²⁾(State key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093 China)

Abstract: Video compression can reduce the amount of data information in multimedia sensor networks. Traditional distributed video coding scheme that adopts regional unified coding may induce the distortion problem in decoding estimation of the intense motion region. This paper proposes an improved algorithm for DVC. The algorithm is based on image gradient field. The regions of the Wyner-Ziv frame that cannot be coded or decoded accurately are extracted according to the criteria of ROI and compressed with entropy coding. Other regions are encoded and decoded based on LDPC. The optimization of video transmission is achieved eventually. Simulation results show that: the proposed algorithm can enhance the encoding efficiency of the intense motion region; the algorithm can also reduce the rate and improve the quality of decoded image, and decrease the energy consumption of sensor nodes ultimately.

Keywords: distributed video coding (DVC); region of interest (ROI); entropy coding; multi-media sensor network

0 引言

随着无线多媒体通信技术的发展, 出现了越来越

越多的视频应用需求, 如无线多媒体传感器网络、移动可视电话、无线视频监控、无线 PC 摄像机等。在这些视频应用中, 由于电源电量、存储容量、计算能力、通信能力都受限, 不仅需要较低复杂度的编码,

收稿日期: 2010-07-12; 修回日期: 2011-02-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(61003236, 61003039, 60973139, 60773041); 教育部博士点基金项目(20103223120007); 中国博士后基金项目(20090451240); 江苏省博士后基金项目(0801019C); 江苏省科技支撑计划重点项目(BE2010197, BE2010198); 江苏高校科技创新计划项目(CX09B_153Z, CX08B-086Z); 省级现代服务业发展专项资金; 江苏省六大高峰人才项目(2008118); 江苏省计算机信息技术重点实验室基金(2010); 南京邮电大学青蓝计划项目(NY207084)。

第一作者简介: 孙力娟(1963—), 女, 院长, 教授, 博士生导师。研究方向为计算机网络、无线传感器网络, 计算机在通信中的应用和智能优化方法等。E-mail: sunlj@njupt.edu.cn。

而且需要视频信号实时编码和传输。传统的视频编码标准(如 MPEG、H. 26X)都采用了混合编码框架,编码采用运动补偿技术,充分利用视频序列的时间和空间相关性进行预测编码,一般情况下,编码复杂度是解码复杂度的 5~10 倍^[1]。在这些新的视频应用中,由于节点计算能力或节点能量受限,传统视频编码标准不再适用。近年来一种全新的视频编解码框架——分布式视频编码(DVC)^[2]受到学者的广泛关注。

分布式视频编码具有编码简单、解码复杂的特点,与传统的视频复杂编码、简单解码具有良好的互补性。图 1 为点对点无线移动视频信号的通信^[2]。发送方采用分布式视频编码并将编码的视频流发送至基站或网络中心节点,在基站或网络中心节点设置码流转换器,将分布式码率转换为 H. 26X/MPEG 码流,然后由基站或网络中心节点将转换后的视频流传送给客户端。该编码方案将分布式复杂的解码和传统视频的复杂编码转移到了基站或网络中心,利用了基站或网络中心较强的计算和存储能力。这样对于发送方和接收方终端而言,仅需要进行较低复杂度的编码和解码,从而适用于电源电量、存储能力、运算能力和通信能力受限的无线多媒体传感器网络。

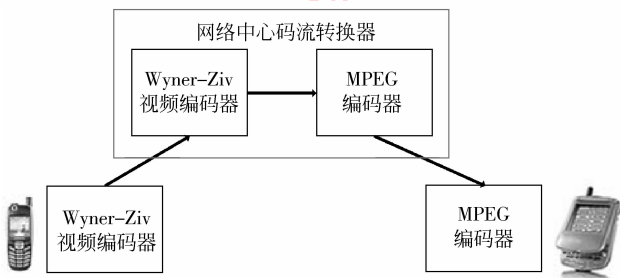


图 1 基于分布式视频编码和传统视频编码的无线视频通信网络框架

Fig.1 Wireless video communication network framework based on distributed video coding and traditional video coding

目前比较经典的分布式编解码方案主要包括: Girod 和 Aaron 等人^[2,3-10]提出的 Wyner-Ziv 视频编码; Ramchandran 等人^[11-13]提出的 PRISM 视频编码; Xiong 等人^[14]提出的分层 Wyner-Ziv 视频编码; Sehgal 等人^[15]提出的 state-free 分布式视频编码; 基于小波编码的分布式视频编码^[16-18]以及多视角分布式视频编码^[19-20]等。文献[3-10]基于 turbo 或 LDPC 对 Wyner-Ziv 帧的所有区域不加区别地编码,

这种方式的编码处理,对于运动比较剧烈的区域和运动对象的边缘区域,运动估计技术不能够准确预测,解码时需要向编码端请求较多的反馈信息,这样不仅增加了码率,而且解码的部分图像仍然不够精确。针对该问题,首先介绍 Wyner-Ziv 分布式视频编码的理论,在此基础上提出一种改进的 Wyner-Ziv 分布式编码算法,该算法基于图像梯度场,通过 ROI 判定准则提取运动剧烈区域并基于熵编码压缩,其余区域则基于 LDPC 分布式编解码,最终实现视频的优化传输。仿真实验结果表明,本文算法可增强运动剧烈区域和运动对象的边缘区域编码的效率,从而在降低码率的同时提高解码图像质量,最终降低传感器节点能耗。

1 Wyner-Ziv 分布式视频编码原理

分布式视频编码的思想最早由 Slepian 和 Wolf, Wyner 和 Ziv 以信息编码理论的方式提出并加以论证。随着无线多媒体技术的不断发展,分布式视频编码的优点符合无线多媒体传感器网络特殊的需求,逐渐成为视频编码领域的热点课题之一。Wyner-Ziv 视频编码方案主要基于信息论中两个基本理论: Slepian-Wolf 理论^[21]和 Wyner-Ziv 理论^[22]。传统的视频编码方案如图 2(a)所示,采用联合编解码的方式。Wyner-Ziv 视频编码作为一种典型的分布式视频编码方案,将帧内编码和帧间解码结合,首先在编码端,采用帧内编码技术相互独立地编码两个或者多个相关的信源,将编码位流发送到接收端;其次,在解码端,利用各个信源间的相关性,进行联合预测解码,如图 2(b)所示。

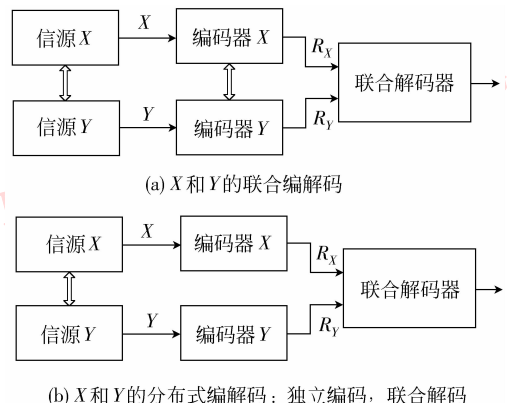


图 2 传统的编解码和分布式编解码
Fig.2 Traditional coding and distributed coding

相互独立的编码两路信号 X 和 Y , 它们的熵分别设为 $H(X)$ 和 $H(Y)$, 对应码率为 R_x 和 R_y , 两路信号的联合熵设为 $H(X, Y)$, 则总码率为

$$R = R_x + R_y \geq H(X) + H(Y) \geq H(X, Y) \quad (1)$$

Slepian-Wolf 理论^[21] 是一种无损压缩方案, 如果仅在解码端得到参考信息时, Slepian-Wolf 证明了 X 的压缩极限和在编码端得到参考信息的编码效率相同, 即互相独立地编码两路信号 X 和 Y , 其总码率 $R = R_x + R_y$ 仍可达到两路信号的联合熵 $H(X, Y)$, 即

$$\begin{aligned} R_x &\geq H(X|Y) \\ R_y &\geq H(Y|X) \\ R_x + R_y &\geq H(X, Y) \end{aligned} \quad (2)$$

在 Slepian-Wolf 理论上, Wyner 与 Ziv 将分布式编码扩展到无损编码领域。Wyner-Ziv 理论认为, 无损压缩时, 若仅在解码端可以得到边信息和在编解码端都得到边信息相比, 编码效率并没有下降^[22]。即在无损压缩时, 边信息如果仅可在解码端得到, 可取得与在编解码端都得到边信息时具有相同的率失真。这两个理论为 Wyner-Ziv 视频编码奠

定了理论基础, 其中, 无损的分布式信源编码被称为 Slepian-Wolf 编码器, 而在 Slepian-Wolf 编码器前加上量化器称为 Wyner-Ziv 编码器。

Girod 和 Aaron 等人在 Wyner-Ziv 视频编码领域进行了深入研究, 如图 3 所示, Wyner-Ziv 分布式视频编码由关键帧 (Key 帧) 和 Wyner-Ziv 帧 (W 帧) 两部分组成。其中 key 帧采用传统的帧内编解码的方式, 而 W 帧采用帧内编码和帧间解码相结合的方式。W 帧编码时, 先进行基于块的 DCT 变换和量化, 然后采用 Slepian-Wolf 编码器进行编码。编码器将编码生成的校验位存储在编码端的缓冲器中, 根据解码端的解码反馈请求, 将校验位发送给解码器进行纠错解码。解码时, Slepian-Wolf 解码器根据解码边信息和接收到的校验位进行解码, 根据解码端的解码的正确性, 不断反馈请求 bit 数, 编码端缓存器不断发送校验位, 直到能够正确解码为止。将解码后的系数进行 IDCT 和反量化以及解码重建。Slepian-Wolf 编解码器通常采用 Turbo 码进行纠错编码, 但 LDPC 以其优异的性能、良好的适用性受到越来越多的关注。

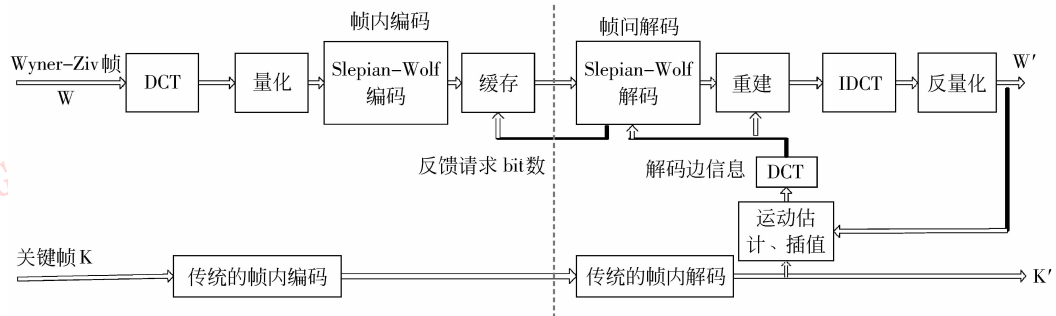


图 3 Wyner-Ziv 分布式视频编码框图

Fig. 3 Wyner-Ziv distributed video coding framework

2 改进 Wyner-Ziv 视频系统编解码方案

2.1 基于梯度域 ROI 区分的编解码框架

在 Wyner-Ziv 视频编码中, 解码端的运动估计技术是根据帧间的相关性进行运动矢量预测实现的。当解码端边信息和 W 帧之间的相关性较弱时, 就不能准确地进行运动估计, 进而影响解码的效果。针对这种情况, 将运动剧烈和运动对象边缘区域, 作为 ROI 提取出来, 采用熵编码方式, 从而提高编码

端的效率和解码图像的质量, 算法框架如图 4 所示。将待编码的视频流分为关键帧 K 和 Wyner-Ziv 帧 W , K 帧采用传统的编码方案, W 帧采用 LDPC 编解码和熵编解码相结合的方案。在编码端, K 帧采用 JPEG 编码方案, W 帧根据基于梯度域 ROI 区分算法, 将宏块区分为 ROI 宏块和非 ROI 宏块, 对 ROI 宏块采取熵编解码, 对非 ROI 宏块采取 LDPC 编解码的方式。在解码端, ROI 宏块采用熵解码, 非 ROI 宏块采用 LDPC 解码。解码完毕后, 对解码数据进行反离散余弦变换 (IDCT) 和反量化, 最后重构解码图像, 进而完成视频编码压缩。

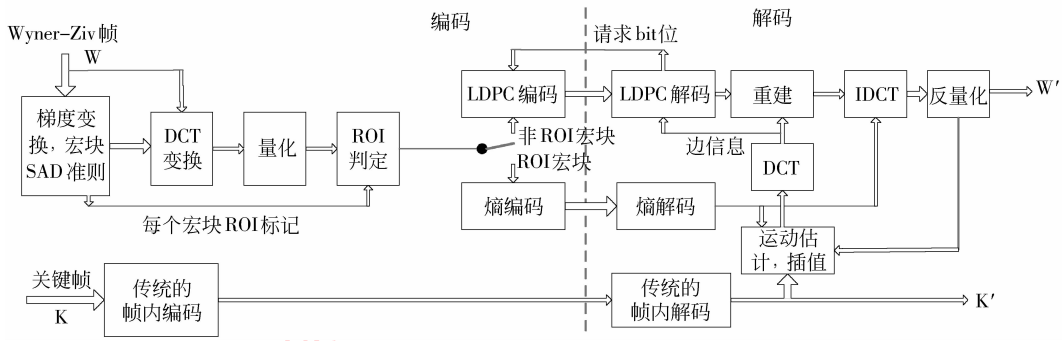


图 4 基于梯度域的 ROI 区分 Wyner-Ziv 分布式视频编码

Fig. 4 ROI Discriminating Wyner-Ziv distributed video coding based on gradient field

2.2 基于梯度域的图像宏块区分

假定图像函数为 $F(j, k)$, 其在点 (j, k) 上的梯度定义为矢量

$$G[F(j, k)] = \begin{pmatrix} \frac{\partial F}{\partial j} \\ \frac{\partial F}{\partial k} \end{pmatrix} \quad (3)$$

从梯度的性质可知, 梯度的方向确定了图像 $F(j, k)$ 的最大变化率方向, $G[F(j, k)]$ 的幅度为

$$|G[F(j, k)]| = \left[\left(\frac{\partial F}{\partial j} \right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial k} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

后面的讨论, 均以式(4)为基础。

对离散的图像而言, 式(4)可用差分近似表示为

$$|G[F(j, k)]| = \{ [F(j, k) - F(j + 1, k)]^2 + [F(j, k) - F(j, k + 1)]^2 \}^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

为提高运算速度, 将式(5)简化为

$$|G[F(j, k)]| \approx |F(j, k) - F(j + 1, k)| + |F(j, k) - F(j, k + 1)| \quad (6)$$

将上面各式写成算子运算的形式, 有

$$\begin{aligned} \nabla_x F &= F(j, k + 1) - F(j, k) \\ \nabla_y F &= F(j + 1, k) - F(j, k) \end{aligned} \quad (7)$$

因而该点 (j, k) 处的数字梯度的最大差分为

$$|G[F(j, k)]| = [\nabla_q F(j, k)]_{\max} = [(\nabla_x F)^2 + (\nabla_y F)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

进一步简化运算, 采用下式进行计算:

$$|G[F(j, k)]| = |\nabla_x F| + |\nabla_y F| \quad (9)$$

梯度变换后, 分别计算关键帧和 Wyner-Ziv 帧相同位置宏块的 $G[F(j, k)]$ 的绝对差值和

$$SAD_B = \sum_{(j, k) \in B} |G_{\text{Key}}[F(j, k)] - G_{\text{WZ}}[F(j, k)]| \quad (10)$$

式中, Key 为关键帧, WZ 为 Wyner-Ziv 帧, B 为每个

宏块, (j, k) 为像素点。

根据计算得到的 SAD_B , 采用 ROI 宏块判定准则, 将 SAD_B 与阈值 T 进行比较, 如果 $SAD_B \geq T$, 则对应为 ROI 宏块, 否则是非 ROI 宏块。ROI 宏块判定后, 对不同宏块的采用不同的编码处理, ROI 宏块采用熵编码, 非 ROI 宏块采用 LDPC 编码。

假定关键帧为 Key, Wyner-Ziv 帧为 WZ, 本文分布式图像压缩算法具体描述为:

- 1) 将每帧分成大小相等且互不重叠的 8×8 宏块 B ;
- 2) 根据式(9), 将 Key 帧和 WZ 帧进行梯度变化;
- 3) 根据式(10), 计算 Key 帧和 WZ 帧相同位置 B 的 SAD_B ;
- 4) 根据 ROI 宏块的判定准则, 对 WZ 帧每个 B 进行 ROI 区分;
- 5) 对 ROI 宏块采用熵编码压缩;
- 6) 对 Wyner-Ziv 帧的其他宏块则采用 LDPC 分布式编解码压缩。

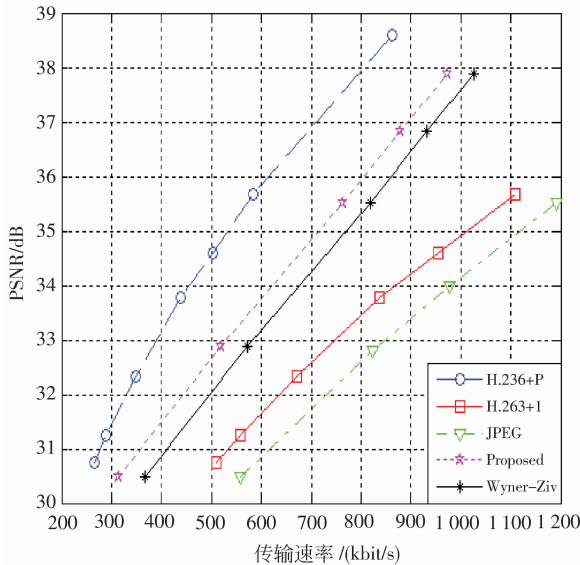
3 实验及分析

在实验中, Wyner-Ziv 帧采用 LDPC 编解码和熵编解码相结合的方式, 其中 LDPC 码的校验矩阵由 PEG 方法^[23-25]产生, 码率为 7/8。经过多次实验分析比较, ROI 判定准则的阈值取 32 效果最为理想。通过对不同量化级系数的调整, 产生不同的输出码率, 进而获得不同的压缩率。关键帧 K 采用 JPEG 编码方案, 它和 Wyner-Ziv 帧的编码顺序为“K-W-K-W”, 即关键帧 K 和 Wyner-Ziv 帧 W 相互交替的编码。仿真实验中基于 salesman 和 foreman 两个标准

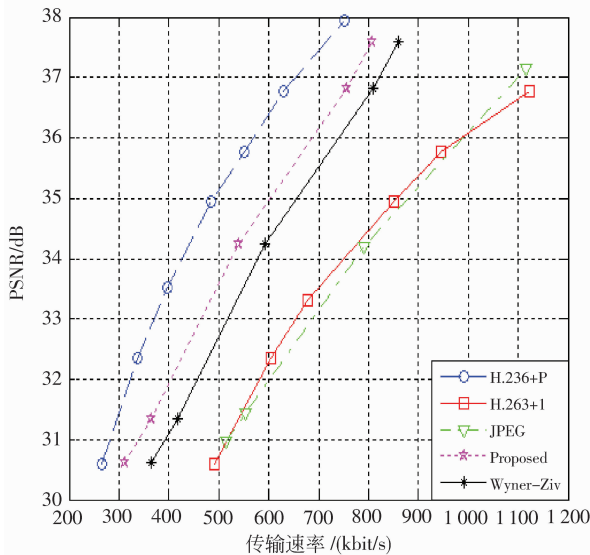
视频序列,图像格式为 QCIF (176 × 144), 编码帧数为 100 帧(30 帧/s), 分别比较了基于梯度域 ROI 区分算法、Wyner-Ziv 编码算法、H. 263 + 帧内编码 (“I + I + I + I”)、H. 263 + 帧间编码算法 (“I + P + I + P”) 以及传统 JPEG 编码算法。其中, H. 263 + 的编码器采用 TMN8^[26], JPEG 标准采用 Annex K^[27], 实验结果如图 5 所示。可以看出本文算法比 H. 263 + 的帧内编码效率评价提高 3 ~ 4 dB, 同时解码图像的主观质量也有所提高, 与 H. 263 + 帧间编码效率有一定距离, 但 H. 263 + 帧间预测编码良好的性

能是以较大的计算复杂度为代价的, 不适合多媒体传感器网络应用场景。基于梯度域 ROI 区分算法与仅用 LDPC 编解码 Wyner-Ziv 视频系统的效果平均可以提高 1.2 dB, 这是因为本文算法较准确地将运动剧烈对象区域提取出来, 基于无损的熵编码不仅可以降低编码码率, 而且加强了这些区域的编码处理, 大大降低解码端不准确的运动估计; 同时, 解码端采取 LDPC 的 BP 算法进行迭代解码可以充分利用帧内的冗余信息, 提高解码的准确性, 进而提高解码图像质量。

图 6 分别是 Salesman 序列和 Foreman 序列第 19 帧(W 帧)使用 ROI 提取算法编码后的解码图像; 图 7 对应为 Salesman 序列和 Foreman 序列第 19 帧(W 帧)使用 LDPC 编码后的解码图像, 可以看出采用 ROI 区分算法编码比仅直接采用 LDPC 编码的图像的视觉效果。本文的基于梯度域 ROI 区分算法有效, 采用 ROI 区分算法没有增加编码端额外开销, 解码端进行运动补偿可以充分利用帧内的冗余信息, 从而获得更好的率失真性能。



(a) Salesman 的传输速率及峰值信噪比比较



(b) Foreman 的传输速率及峰值信噪比比较

图 5 基于梯度域 ROI 区分算法 Wyner-Ziv 视频编码仿真结果
Fig. 5 The simulation results of Wyner-Ziv video coding of ROI Discriminating algorithm based on gradient filed



(a) salesman 解码第 19 帧 (PSNR=36.33 dB)



(b) foreman 解码第 19 帧 (PSNR=36.42 dB)

图 6 采用本文算法的 salesman 和 foreman 解码图像
Fig. 6 The decoded frame of salesman and foreman adopting this proposed algorithm



(a) salesman解码第19帧 (PSNR=35.54 dB)



(b) foreman解码第19帧 (PSNR=35.68 dB)

图7 基于传统LDPC的salesman和foreman解码图像
Fig.7 The decoded frame of salesman and foreman based on traditional LDPC

4 结论

在Wyner-Ziv视频编码基础上提出一种基于梯度域ROI区分算法。该算法基于像素梯度域SAD准则,将运动估计不能准确预测的区域采用熵编码,从而增强编码效果,丰富了Wyner-Ziv分布式视频编码理论体系。分布式视频编码压缩效率高、具有较高的鲁棒性;编码简单、解码复杂;易于分级和多描述处理,因此非常适用于耗电量低、存储量小、运算能力有限的无线多媒体传感器网络,实验结果验证了本文算法的有效性。在后面的工作中,将考虑在解码端增加滤波技术,消除由于量化和运动补偿预测带来的方块效应,从而进一步提高解码图像的质量。

参考文献 (References)

[1] Ostermann J, Bormans J, List P, et al. Video coding with H.264 /AVC: tools, performance, and complexity [J]. IEEE Circuits and Systems Magazine, 2004, 4 (1): 7-28.
[2] Girod B, Aaron A, Rane S, et al. Distributed video coding [J].

IEEE Special Issue on Video Coding and Delivery, 2005, 93(1):71-83.

- [3] Aaron A, Rane S, Setton E, et al. Transform-domain Wyner-Ziv codec for video [C]// Proceedings of SPIE Visual Communications and Image Processing. Berlin, Springer, 2004: 520-528.
[4] Aaron A, Zhang R, Girod B. Wyner-Ziv coding of motion video [C]//Proceedings of Asilomar Conference on Signals and Systems. Washington: IEEE, 2002: 240-244.
[5] Aaron A, Rane S, Zhang R, et al. Wyner-Ziv coding for video: applications to compression and error resilience [C] // Proceeding of IEEE Data Compression Conference. Washington: IEEE, 2003: 93-102.
[6] Aaron A, Setton E, Girod B. Toward practical Wyner-Ziv coding of video [C]//Proceedings of International Conference on Image Processing. Washington: IEEE, 2003: 869-872.
[7] Aaron A, Rane S, Girod B. Wyner-Ziv video coding with hash-based motion compensation at the receiver[C]// Proceedings of IEEE Int. Conf. Image Processing. Washington: IEEE, 2004: 3097-3100.
[8] Varodayan D, Aaron A, Girod B. Rate-adaptive distributed source coding using Low-Density Parity-Check codes [C]// Proceedings of 39th Asilomar Conference on Signals and Systems. Washington: IEEE, 2005: 1203-1207.
[9] Aaron A, Varodayan D, Girod B. Wyner-Ziv residual coding of video [EB/OL]. (2006-12-31) [2011-02-20]. <http://ivms.stanford.edu/~dsc/wzcodingvideo>.
[10] Varodayan D, Aaron A, Girod B. Exploiting spatial correlation in pixel-domain distributed image compression[C]// Proceedings of International Picture Coding Symposium. Washington DC: IEEE, 2006: 230-233.
[11] Puri R, Ramchandran K. PRISM: A video coding paradigm based on motion-compensated prediction at the decoder [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(10): 2436-2448.
[12] Puri R, Ramchandran K. PRISM: a new robust video coding architecture based on distributed compression principles [C]// Proceedings of the Annual Allerton Conference on Communication Control and Computing. Illinois: Urbana Publisher, 2002: 586-595.
[13] Puri R, Ramchandran K. PRISM: A 'reversed' multimedia coding paradigm [C]// Proceedings of 2003 International Conference on Image Processing. Washington: IEEE CS, 2003: 617-620.
[14] Xu Q, Xiong Z. Layered Wyner-Ziv video coding [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(12): 3791-3803.
[15] Sehgal A, Jagmohan A, Ahuja N. A state-free causal video encoding paradigm [C]// Proceeding of IEEE International Conference on Image Processing. Washington: IEEE CS, 2003: 65-72.
[16] Fowler J E, Tagliasacchi M, Pesquet-Popescu B. Wavelet-based

- distributed source coding of video [C]//Proceedings of the 13th European Signal Processing Conference. New York :Hindawi, 2005:1-4.
- [17] Tonomura Y, Shirai D, Nakachi T, et al. Optimal bit allocation for Wavelet-Based Distributed video coding [C]// Proceedings of Eighth IEEE International Symposium on Multimedia. Washington: IEEE, 2006: 442-448.
- [18] Wu B, Ji X, Zhao D, et al. Wavelet based distributed video coding with spatial scalability [C]// Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS2008). Washington: IEEE, 2008:3458-3461.
- [19] Zhong J, Hu X, Kleijn W B, et al. Constructive camera pose control for optimizing multiview distributed video coding [C]// Proceedings of 47th IEEE Conference on Decision and Control (CDC 2008). Washington: IEEE, 2008:3372-3379.
- [20] Artigas X, Angeli E, Torres L. Side information generation for multiview distributed video coding using a fusion approach [C]// Proceedings of the 7th Nordic Signal Processing Symposium (NORSIG 2006). New York: Hindawi, 2006:250-253.
- [21] Slepian J D, Wolf J K. Noiseless coding of correlated information sources [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1973, 19(4):471-480.
- [22] Wyner A, Ziv J. The rate-distortion functions for source coding with side information at the decoder [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1976, 22(1):1-10.
- [23] Hu Xiaoyu, Evangelos eleftheriou and dieter michael arnold. Progressive Edge-growth Tanner Graphs [C] // Proceeding of IEEE Global Conf. Communication. Washington: IEEE. 2001: 25-29.
- [24] Hua Xiao, Amir H Banihashemi. Improved progressive-edge-growth (PEG) construction of irregular LDPC codes [J]. IEEE Communications Letters, 2004, 8(12):715-717.
- [25] Hu Xiaoyu, Evangelos Eleftheriou, Dieter M Arnold. Regular and irregular progressive edge-growth tanner graphs [J]. IEEE Transactions on Communications, 2005, 51(1):386-398.
- [26] Ribas-Corbera J, ITU-T/SG15, Video Codec Test Model[S]. TMN8, New York: Hindawi, 1997.
- [27] CCITT/ITU T. ISO/IEC 10918- 1, Digital compression and Coding of Continuous-tone Still Images[S]. Boston: Kluwer, 1992.