

一种基于无比率 LDPC 编码的分布式视频压缩机制

蔡述庭^{1,2}, 王钦若¹, 谢 云¹, 尹 明¹

(1. 广东工业大学自动化学院, 广东广州 510006; 2. 东南大学信息科学与技术学院, 江苏南京 210096)

摘 要: 针对固定码率 LDPC 码进行视频压缩时存在自适应能力差的问题, 提出了一种基于无比率 LDPC 编码的 Wyner-Ziv 视频压缩机制. 算法的主要思想是对部分变量节点调整删余比率以达到码率自适应的目的. 同时采用一种新的在编码端进行码率估计的方法, 克服了当前分布式编码码率调整需要反馈通道的问题, 并为无比率 LDPC 编码设计多种编码模式提供了保障. 实验结果表明, 相对于 LDPCA 编码, 提出的编码机制提升了系统率失真性能大约 1-2dB, 相对 Motion oracle 算法解码复杂度要低 2 个数量级.

关键词: 无比率 LDPC; 码率控制; Wyner-Ziv 编码; 删余码

中图分类号: TN919.82 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2009)11-2535-06

A Kind of Distributed Video Compression Scheme Based on Rateless Low Density Parity-Check Codes

CAI Shu-ting^{1,2}, WANG Qin-ruo¹, XIE Yun¹, YIN Ming¹

(1. Faculty of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510006, China;

2. School of Information Science and Engineering, Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210096, China)

Abstract: To overcome the poor adaptive ability of the fixed rate Low Density Parity-Check (LDPC) codes when applied to video compression, a kind of distributed video compression scheme based on rateless LDPC is proposed. The main idea of the algorithm is that part of variable node is punctured to adjust the puncturing ratio for rate adaptive ability. A novel rate estimation method is also proposed in encoder, it can solve the problem of needing the feedback channel for rate control in distributed video coding currently, and supply the rateless LDPC to design multiple code mode. Experiments results show that proposed scheme access the 1-2dB gain of rate distortion (RD) compared with rate adaptive LDPC Accumulate (LDPCA) codes. The decoder complexity magnitude of proposed scheme is 2 orders less than the motion oracle algorithm.

Key words: rateless low density parity check; rate control; wyner ziv code; punctured code

1 引言

随着个人多媒体终端和无线视频监控系统等新的应用需求日益增长, 分布式视频编码的研究越来越受到重视. Slepian-Wolf^[1]和 Wyner-Ziv^[2]的理论表明可以很容易地将一部分的计算量转移到解码端实现, 达到构造低复杂度编码器的目标, 即分布式视频编码 (Distributed Video Coding, DVC), 如图 1 所示. 有损分布式编码可看作是由量化器加 Slepian-Wolf 编码器组成.

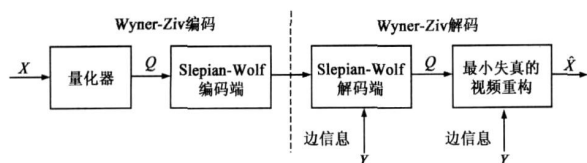


图1 Wyner-Ziv编码体系结构

实际使用最为典型的几个分布式视频编码模型包括: 斯坦福大学 Girod 等人提出的斯坦福模型^[3], 主要基于信道编码技术. 伯克利大学 Ramchandran 等人提出的伯克利模型^[4], 主要是基于 Syndrome 编码技术. 欧盟信息技术协会下的未来和新兴技术组 (IST-FET) 2005 年开始支持的 DISCOVER 项目^[5]. 国内也积极展开了 LDPC 码和分布式视频编码的研究, 2002 年慕建君等人证明了低密度删余码的稳定条件^[6]. 2007 年干宗良等人基于斯坦福模型对空间域的 Wyner-Ziv 编码系统进行了算法改进^[7].

Slepian-Wolf 编码被证明和信道编码极为近似, 因此许多信道编码技术被用于 Slepian-Wolf 编码, 典型的包括 Turbo 码和 LDPC 码. 尤其是 LDPC 码被重新认识以来, 被证明比 Turbo 码更逼近信道容限. 但是应用于 Slepian-Wolf 编码的这些信道编码技术从一开始就缺乏

灵活性, 尤其对于码率范围比较宽的情况. 例如, 对于视频压缩, 如果视频中有大量运动, 即使给出前面所有帧, 当前帧的条件熵也会剧烈变化. 同时固定码率的编码技术为了提高码率范围, 需要在编码端耗费大量存储空间来存储不同码率. 因此, 很有必要设计一种无比率编码, 母码具有好的码率自适应特性, 能够容纳一个广泛的压缩比率范围和提供一致好的性能.

无比率 LDPC 编码思想来源于信道编码中的删余 LDPC 编码(Punctured LDPC Codes). 将删余码用于 Selpiar-Wolf 编码已经有文献报道. 文献[8]中, 基于符号划分提出了码率自适应机制. 然而, 划分后的编码集并未针对信源统计特性进一步优化. 文献[9]中提出一种包含两个特定信源相关层次的 Selpiar-Wolf 编码, 需要两个二分图, 这种机制在存在多于两种码率的情况时十分复杂. 文献[10]删除标准 LDPC 二分图的部分校验节点, 称为 LDPCA, 由于简单删除部分校验节点后, 导致接收信源的部分变量节点失去与校验节点的联系, 因此这种方法的性能较差, 且改变了 LDPC 母码的二分图结构. 文献[11]对不改变母码二分图结构的删余 LDPC 码应用到分布式编码进行了理论分析, 证明了通用的编码边界. 文献[12]首次将无比率 LDPC 用于分布式视频编码, 相对固定码率 LDPC 编码获得较好性能, 但文献中码率控制机制尚不清楚.

本文提出了一种使用无比率 LDPC 的 Wyner-Ziv 视频编码机制. 首先通过删除特定变量节点而不是校验节点实现宽的码率范围, 这种方法保证了母码的二分图结构不变. 然后采用了一种新的编码器码率控制方法, 与无比率 LDPC 无缝集成, 具有多种编码模式选择的灵活性. 与当前大部分分布式编码的码率控制需要反馈相比, 提出的方法在无法通过解码器反馈进行码率控制时具有很大的优势.

2 LDPC 码用于分布式编码的问题

目前广泛用于分布式视频编码的固定码率 LDPC 码存在一些缺陷.

首先, 原有的 LDPC 信道编码是固定码率的, 因此无法及时适应视频序列统计相关性的变化, 尤其是在视频运动较为剧烈的时候问题尤为突出. 固定码率 LDPC 情况下如果要提高编码效率, 需要大量存储器来存储母本.

其次, 固定码率 LDPC 还会导致编码机制不够灵活. 现存的分布式编码机制对每个像素位平面或者 DCT 系数均进行编解码, 能否只对一些重要位平面或者 DCT 系数编解码? 一个典型的情况是当条件熵为零时, 解码器根据边信息就可以解码, 编码端可以忽略这个部分从而提高编码效率.

总之固定码率 LDPC 码导致了系统性能下降.

3 无比率 LDPC 码

3.1 无比率 LDPC 码定义

无比率 LDPC 编码源于信道编码中的删余 LDPC 编码. 考虑具有码率 $R_p = k/n$ 的 LDPC 编码, k 和 n 分别是信息块和码本. 为了产生一个新的码率, 需要删除码本 n 的部分码字, 再将剩余的码字发送到接收端. 正确解码的前提条件是解码器已经知道了码本中被删除的码字的位置. 解码端需要计算对数似然率(log likelihood ratios, LLR's), 将已经删除的码字对数似然率设为零. 文献[13, 14]提出了两种优化删除 LDPC 编码的方法. 一种是随机选择删除字节(删除比率 p), 称为随机删余 LDPC. 第二种是有目的删除, 并优化删除分布.

关于删余 LDPC 码的码率变化范围文献[15]有如下定理:

定理 1: 对于任意码率 R_1 和 R_2 , $0 < R_1 < R_2 < 1$, 存在 LDPC 码集合具有下面属性: 对于所有码率 $R_1 \leq R \leq R_2$, 集合删余后可以生成码率为 R_1 到 R_2 的渐进好码.

也就是理论上删余码可以生成任意码率范围的 LDPC 码. 删余后的 LDPC 码的性能有以下定理^[15]:

定理 2: 对于任意 LDPC 码 (λ, ρ) , 码率 $R_1 > 0$ 且对任意 R_2 满足 $R_1 < R_2 < 1$, 存在一个删余 LDPC 码集合, 码率为 R_1 , 母码码率为 R_2 , 在置信传播算法下具有相同的删余阈值.

定理 2 表明只要恰当设计删余码, 删余码的性能和标准 LDPC 码一样好.

将删余码应用到分布式视频编码中已经有文献报道, 但各种删余方式均在不同程度改变了 LDPC 母码的二分图结构.

据此, 我们有如下定义:

定义 1: 把具有以下属性的 LDPC 码称为无比率 LDPC 码:

- (1) LDPC 码率可以在 $[R_1, R_2]$ 范围内变化, 其中 $0 < R_1 < R_2 < 1$;
- (2) 删余后的 LDPC 码达到删余前的 LDPC 母码性能;
- (3) 相比标准 LDPC 码, 删余后的 LDPC 码的母码二分图结构保持完整.

3.2 无比率 LDPC 码的优势

相对于传统固定码率 LDPC 码, 无比率 LDPC 具有很多优势, 为分布式视频编码提高整体性能提供了各种潜能. 文献[12]总结了无比率 LDPC 的三个优点: 降低了存储复杂度; 无缝集成模式选择; 全面提高系统整体性能. 下面作简要分析.

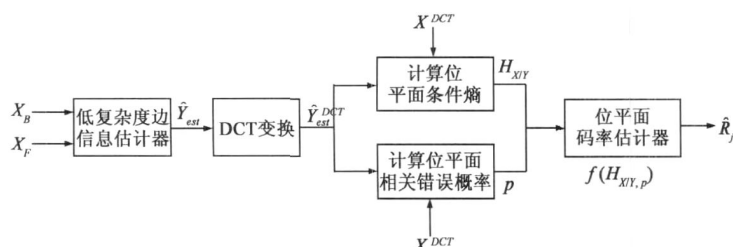


图3 自适应编码端码率估计器

算法 1 自适应编码端码率估计

第 1 步: 使用帧 X_B 和 X_F 产生边信息估计 \hat{Y}_{est} ;

第 2 步: 对 \hat{Y}_{est} 进行 8×8 DCT 变换;

第 3 步: 计算位平面 \hat{Y}_{est}^{DCT} 的条件熵 $H_{X/Y}$;

第 4 步: 计算位平面 \hat{Y}_{est}^{DCT} 的相关错误概率 p ;

第 5 步: 计算位平面 \hat{Y}_{est}^{DCT} 的校验码率 \hat{R}_j ;

估计器中最为关键的是三个参数的计算: 边信息 \hat{Y}_{est} , 条件熵 $H_{X/Y}$, 编码码率 \hat{R} , 下面进行分析计算。

5.1 边信息计算

一种最简单的边信息估计机制是平均插值。计算方法如下: $\hat{Y}_{est} = (X_B + X_F)/2$, 式中 X_B 表示前面已经使用过的参考帧, X_F 表示下一参考帧。这种方法足够简单, 但是如果运动剧烈, 那么两帧之间的相关性就会较小, 那么估计的结果就会很不准确, 尤其对于 GOP 值较大的情况更加明显。

文献[17]提出了一种编码端的低复杂度的快速运动补偿插值算法。基本思想是计算每个搜索点的绝对差值和 (Sum of Absolute Difference, SAD) 以后, 根据 SAD 大小降序排序, 只对 SAD 较大的 $T\%$ 进行运动估计, 其余直接进行平均插值计算, 以加快运动估计速度。根据实验数据统计, 每个视频序列根据其运动剧烈程度, 需要运动估计的块的数量也会有很大不同, 如果笼统的给定一个比率进行运动估计, 自适应能力较差, 且单依据 SAD 值往往很难准确评估运动向量。因此, 本文将快速运动补偿插值算法改进, 增加一个简单的运动向量分类步骤, 代替原来的 SAD 排序过程, 额外还需增加的是计算搜索点的边界绝对差值 (Boundary of Absolute Difference, BAD), 每个块只需要计算一次, 因此不会增加很多复杂度。

T_1, T_2, T_3, T_4 是四个阈值, 且 $T_3 > T_1, T_4 > T_2$, 根据以下准则对运动向量分类^[8]:

计算 SAD 和 BAD;

IF $SAD < T_1$ or $BAD < T_2$

运动向量被认为是好的;

Else if $SAD < T_3$ and $BAD < T_4$

运动向量被认为是好的;

Else

运动向量被认为是差的。

对运动向量有效分类后, 根据文献[17]提出的方法进行运动估计和补偿插值, 求出 \hat{Y}_{est} 。

5.2 条件熵和校验码率计算

第 j 个位平面的条件熵通过以下方程计算^[19]:

$$H_{X/Y} = H(B_j(X^{DCT}) | B^{j-1}(X^{DCT}), \hat{Y}_{est}^{DCT}) \approx \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N H(p_n) \quad (1)$$

式中 N 是位平面长度, $H(p_n)$ 由下式给出:

$$H(p_n) = p_n \times \log_2\left(\frac{1}{p_n}\right) + (1 - p_n) \times \log_2\left(\frac{1}{1 - p_n}\right) \quad (2)$$

$$p_n = \frac{p(B_j(X^{DCT}) = 1 | B^{j-1}(X^{DCT}) = \hat{Y}_{est}^{DCT})}{p(B^{j-1}(X^{DCT}) = \hat{Y}_{est}^{DCT})} = \frac{B_j^{-1}(x_n^{DCT})}{B^{j-1}(x_n^{DCT})} \quad (3)$$

第 j 个位平面的校验码率 \hat{R}_j 由下面公式计算:

$$\hat{R}_j = \frac{1}{2} H_{X/Y} \times e^{\frac{H_{X/Y}}{2}} + \sqrt{p_j} \quad (4)$$

p_j 表示第 j 个位平面的相关错误概率, 由式 $p_j = B_j(n)/M$ 计算可得, 其中 $B_j(n)$ 表示第 j 个位平面出现错误的数量 (这些错误在前 $(j-1)$ 个位平面没有出现过), M 表示位平面长度。校验码率 \hat{R}_j 与条件熵 $H_{X/Y}$ 存在的指数函数关系是由试验获得。

6 无比率 LDPC 编解码算法

无比率 LDPC 编码、解码分别用二分图表示, 如图 4 所示。其中圆形节点是变量节点, 方形节点是校验节点。与传统固定速率 LDPC 不同的是变量节点数量不再等于输入符号数量。这些多余的变量节点用于获得宽的编码码率范围。注意解码端必须知道编码端删除位的位置, 以便在解码时确定被删除的位。

文献[10, 11]采用的是随机删余的方法, 其删余模式 (Puncturing patterns) 选择没有根据任何标准优化。对

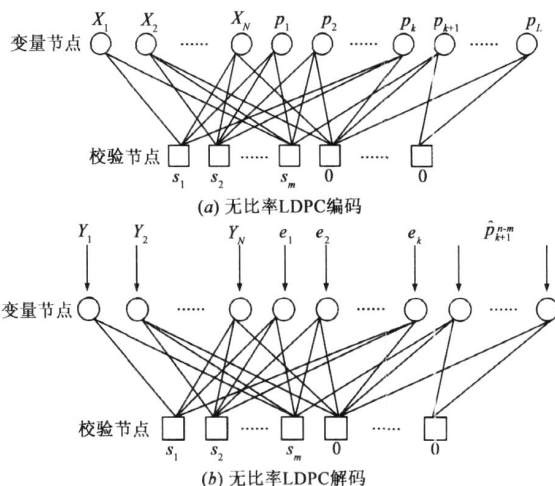


图4 无比率LDPC编解码二分图

于 LDPC 码而言, 最好是将具有小的度数的变量节点删除, 以最小化因删除而影响到的校验节点数量. 故对于非正则 LDPC 码, 将选择删除度数小的变量节点. 然而对于正则 LDPC, 所有的变量节点都具有相同的度, 因此无法基于变量节点度数大小来选择删除模式. 可以通过蒙特卡罗方法来选择删除模式, 但过于复杂. 本文尝试采用基于启发式的方法来搜索恰当的删除模式以替代随机删除, 复杂度较蒙特卡罗降低许多, 且能获得比随机删除好的性能, 但考虑到分布式应用情况, 为了降低编码复杂度还是采用了简单的随机删除模式.

在描述无比率 LDPC 编解码算法前我们设定: 信源 X 和边信息 Y 是二进制的, 无记忆, 并通过二进制对称信道模型相关; X 和 Y 都是统一分布的. 输入二进制序列 X_1^{N+k} , 其中 $k < L$ 是一个非负整数; M 表示校验节点数量, 为了计算 p_1^L 值时使得后 $M-m$ 个校验节点的输出全部为 0, 不失一般性的设定 $M = m + L$, 且 $n > m + k$, 其中 p_1^L 为变量节点的二进制输入序列. 编解码主体算法描述如下.

算法 2 无比率 LDPC 编码

第 1 步: 输入 X_1^{N+k} 的首先 N 个符号到 N 个变量节点;

第 2 步: 确定序列 p_1^L 的值, p_1^L 作为输入时, 强制后 $M-m$ 个校验节点的输出全部为 0;

第 3 步: 通过 X_1^{N+k} 和 p_1^L 计算出符号序列 s_1^n

第 4 步: 计算 $\hat{p}_i = X_{N+i} \oplus p_i, 1 \leq i \leq k$;

第 5 步: 对于非正则 LDPC 码, 从 p_{k+1}^L 选择度数较小的 $L-n+m$ 个作为删除节点, 保留其它 $n-m-k$ 个变量节点, 用 \hat{p}_{k+1}^{n-m} 表示; 而对于正则 LDPC 码, 随机从 p_{k+1}^L 选择 $n-m-k$ 个变量节点, 用 \hat{p}_{k+1}^{n-m} 表示;

第 6 步: 级联 s_1^n 和 \hat{p}_{k+1}^{n-m} , 发送长度为 n 的编码到解码端.

算法 3 无比率 LDPC 解码

第 1 步: 接收 s_1^n 和 \hat{p}_{k+1}^{n-m} , 将 m 个校验节点置为 s_1^m ;

第 2 步: 初始化开始 N 个变量节点为 Y_1^N , 随后 k 个变量节点置为 $e_1 = Y_{N+1} \oplus \hat{p}_1, \dots, e_k = Y_{N+k} \oplus \hat{p}_k$;

第 3 步: 从剩余变量节点中遵照算法 2 第 5 步选择相同位置的 $n-m-k$ 个变量节点置为 \hat{p}_{k+1}^{n-m} , 剩下的节点就是删除节点, 解码时其对数似然率(LLR's)要设为 0;

第 4 步: 使用置信传播解码方法, 变量节点通过硬判决得到解码的 X_1^N 和 p_1^L 序列;

第 5 步: 剩余的 k 个信源符号 X_{N+1}^{N+k} , 由 $X_{N+i} = p_i \oplus \hat{p}_i, 1 \leq i \leq k$ 计算输出.

7 实验结果和结论

为了评估提出的无比率 LDPC 编码机制, 使用了两个标准视频序列: Foreman 和 Carphone. 以 QCIF 分辨率

和 15 帧/秒进行编码, 共 96 帧. 将视频序列分成单独图片组(GOP), GOP 的第一帧编码为 K 帧, 解码没有参考边信息. GOP 其它帧根据图 2 进行编码, 使用前面重构帧作为解码器参考. 程序编写参考了文献[20]提供的部分源代码, 使用 C++ 和 Matlab 混合编程. 无比率 LDPC 码使用了前面的提到的将条件熵为零的位平面直接剔除的编码模式. 为了公平比较, 无比率 LDPC 码变量节点的度和文献[16]使用的 LDPCA 一样固定为 3, 同时比较的还有 JPEG 帧内编码.

图 5 和图 6 中, 对于 Carphone, Foreman 序列, GOP=2 时, 我们可以看到无比率 LDPC 率失真性能比使用 LDPCA 的编码要提高 1~2dB, 比 JPEG 帧内编码要好大约 3dB.

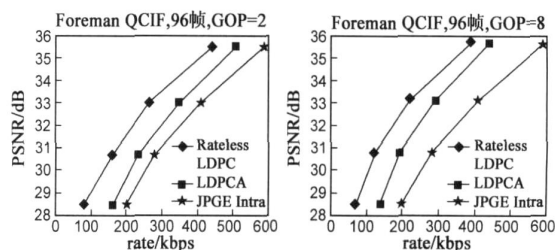


图5 Foreman序列的率失真性能比较

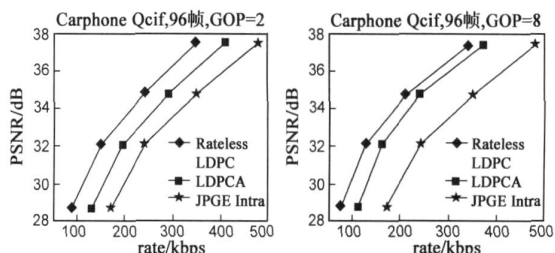


图6 Carphone序列的率失真性能比较

当 GOP=8 时, LDPCA 算法的率失真性能相对 GOP=2 时有所提高, 这主要是由于在解码端采用了运动学习算法, 相应的, 如果使用标准运动补偿插值(MCIT), 随着 GOP 增加, 率失真性能变差[16]. GOP=8 时, 同样在解码端采用运动学习算法的无比率 LDPC 性能也有所提高, 但随着码率的增大, 无比率 LDPC 相对 LDPCA 的优势变小. 主要原因是当 GOP 值变大, 编码端码率估计器的输入帧相关性减小, 码率估计准确度下降, 从而导致无比率 LDPC 率失真性能变差, 在高速率时较为明显.

从仿真结果可以看出, 无比率 LDPC 编码比固定码率 LDPC 编码获得更好的率失真性能. 特别提到的是通过编码端码率估计取消了当前分布式编码常用的需要反馈通道的码率控制机制. 需要提醒的是这是以增加编码器复杂度为代价获得的, 因此在设计时需要综合考虑. 实验统计表明编码器复杂度有一定上升, 但在无法通过反馈获得码率控制时, 这种方式无疑具有吸引

力. 解码复杂度与理想的 Motion oracle 算法相比有 2 个数量级的下降.

进一步的研究包括改进编码端的码率估计机制, 降低编码器复杂度, 提高估计准确性. 同时设计合适的编码模式, 以进一步发挥无比率 LDPC 编码的潜在性能.

参考文献:

- [1] J D Slepian, J K Wolf. Noiseless coding of correlated information sources [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1973, IT-19: 471-480.
- [2] A Wyner, J Ziv. The rate distortion function for source coding with side information at the decoder [J]. IEEE Trans on Information Theory, 1976, 22(1): 1-10.
- [3] B Girod, A Aaron, S Rane, D Rebollo Monedero. Distributed video coding [A]. Proc IEEE Special Issue on Advances in Video Coding and Delivery [C]. 2005, 93(1): 71-83.
- [4] R Puri, K Ramchandran. PRISM: A new robust video coding architecture based on distributed compression principles [A]. Proc Allerton Conference on Communication, Control and Computing [C]. 2002, 40(1): 586-595.
- [5] ISF FET. DIStributed CODing for Video sERVICES (DISCOVER) [OL]. <http://www.discoverdvc.org>, 2005-09-01.
- [6] 幕建君, 贺玉成, 王新梅. 低密度纠错码稳定收敛条件的证明 [J]. 电子学报, 2002, 30(4): 530-532.
Mu Jianjun, He Yucheng, Wang Xinmei. A proof of the stability condition for low density erasure codes [J]. Acta Electronica Sinica, 2002, 30(4): 530-532. (in Chinese)
- [7] 干宗良, 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): 2014-2018.
Gan Zongliang, Qi Lihua, Zhu Xirchan. A novel performance improved method for pixel-domain Wyner-Ziv video coding system [J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(10): 2014-2018. (in Chinese)
- [8] J Chen, A Khisti, D M Malioutov, J S Yedidia. Distributed source coding using serially concatenated accumulate codes [A]. In Proc. Information Theory Workshop [C]. 2004. 209-214.
- [9] A Eckford, W Yu. Rateless Slepian-Wolf codes [A]. In Proc. Asilomar [C]. Pacific Grove, CA, 2005. 1757-1761.
- [10] D Varodayan, A Aaron, B Girod. Rate adaptive distributed source coding using low density parity check codes [A]. In Proc. Asilomar [C]. Pacific Grove, CA, 2005. 1023-1027.
- [11] J Jiang, D-K He, A Jagmohan. Rateless Slepian Wolf coding based on rate adaptive low-density parity check codes [A]. Proc. ISIT'07 [C]. Nice, France, 2007. 1316-1320.
- [12] Dake He, Ashish Jagmohan, Ligang Lu, Vadim Sheinin. Wyner-Ziv video compression using rateless LDPC codes

[A]. Proc SPIE: Visual Communications and Image Processing [C]. San Jose, CA, 2008. 6822(2): 68221U. 1-68221U. 9.

- [13] J Ha, S McLaughlin. Optimal puncturing of irregular low density parity check codes [A]. IEEE Int Conf Commun. [C]. 2003. 5: 3110-3114.
- [14] J Ha, S W McLaughlin. Optimal puncturing distributions for rate compatible low density parity check codes [A]. IEEE International Symposium on Information Theory, Yokohama [C]. Japan, 2003. 233.
- [15] Pishro Nik, H Fekri, F. Results on punctured LDPC codes [A]. IEEE Information Theory Workshop [C]. 2004. 215-219.
- [16] D Varodayan, D Chen, M Flierl, B Girod. Wyner-Ziv coding of video with unsupervised motion vector learning [J]. EURASIP Signal Processing: Image Communication, 2008, 23(5): 369-378.
- [17] Brites, C Pereira, F. Encoder rate control for transform domain Wyner-Ziv video coding [A]. IEEE International Conference on Image Processing, ICIP 2007 [C]. II-5-II-8.
- [18] Jiefu Zhai, Keman Yu, Jiang Li, Shipeng Li. A low complexity motion compensated frame interpolation method [A]. IEEE International Symposium on Circuits and Systems [C]. Kobe, Japan, 23-26 May, 2005. 4927-4930.
- [19] S Cheng, Z Xiong. Successive refinement for the wyner-ziv problem and layered code design [J]. IEEE Trans on Signal Processing, 2005, 53(8): 3269-3281.
- [20] D Chen, D Varodayan. Unsupervised Learning Motion for Distributed Video Coding [OL]. <http://www.stanford.edu/~dmchen/dvc.html>, 2008-09-15.

作者简介:



蔡述庭 男, 讲师, 博士研究生. 1979 年生于湖南益阳. 2001 年, 2004 年在中南大学分别获得工学学士和硕士学位. 其后在广东工业大学自动化学院工作, 现任电子信息科学与技术系副主任. 2006 年开始攻读博士学位, 从事视频编码等方面的研究. 2008 年 9 月开始作为教育部高等学校青年骨干教师国内访问学者在东南大学进修.
E-mail: shutingcai@gdut.edu.cn



王钦若 男, 教授, 博士生导师. 近年先后主持并完成科研项目 30 项, 转让专利 1 项. 1996 年获广东省教育厅科技进步二等奖; 1998 年获国家教委科技进步二等奖; 1998 年获广东省科学技术突出贡献三等奖; 2007 年获广东省科技进步一等奖, 2008 年获广东省科技进步二等奖. 现任广东工业大学自动化学院院长, 主要从事图像识别, 智能控制等方面的工作.