

面向 H.264/SVC 空域-质量域可伸缩编码的码率分配算法

刘家瑛¹, 郭宗明¹, Yongjin CHO²

(1. 北京大学计算机科学技术研究所, 北京 100871; 2. University of Southern California, Los Angeles, CA 90007, USA)

摘要: 针对 H.264/SVC 空域-质量域可伸缩性, 本文提出了一种基于模型的多层次码率优化分配算法. 通过分析各编码层间的相关性, 对空域和质量域视频层的码率和失真特性进行了建模. 在此基础上, 将 H.264/SVC 空域-质量域两维度码率分配问题描述为一个两阶段最优化问题进行求解. 最后, 代入提出的率失真模型, 使用拉格朗日乘数法, 求取该分配问题的最优数值解. 大量实验结果可以看出新的率失真模型所提供的高效码率分配算法, 大幅度提高了现有参考代码 JSVM 的性能.

关键词: H.264/SVC; 相关性的率失真模型; 空域-质量域可伸缩性

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2010) 09-2112-06

Bit Allocation Algorithm in H.264/SVC Spatial-Quality with Dependent R-D Modeling

LIU Jia-ying¹, GUO Zong-ming¹, Yong-jin CHO²

(1. Institute of Computer Science and Technology, Peking University, Beijing, 100871, China;

2. University of Southern California, Los Angeles, CA 90007, USA)

Abstract: A model-based spatial-quality (S-Q) layer bit allocation algorithm in H.264/SVC has been proposed. In rate and distortion (R-D) modeling, the dependent inter-layer relation has been well investigated. By taking account of the proposed R-D models, a two-step optimization algorithm is explored to solve the bit allocation problem in S-Q scalability. Finally, it can be numerically solved by Lagrangian multiplier method. It is shown by experimental results that the proposed bit allocation algorithm achieves the coding performance significantly improved from current reference software JSVM.

Key words: H.264/SVC; dependent R-D models; spatial-quality scalability

1 引言

作为新一代视频压缩编码标准 H.264/AVC 的扩展, 可伸缩视频编码 (Scalable Video Coding, SVC) 已经于 2007 年 7 月正式标准化^[1]. 它的推出与发展将更好地适应现有异构时变的网络终端环境, 使得编码压缩后的视频更加灵活地满足各方面的应用需要. 目前, H.264/SVC 支持了时域、空域和质量域三个维度的可伸缩性编码.

在空域可伸缩性中, H.264/SVC 遵循了传统的多层次编码的方法: 首先将原始尺寸的视频序列分解为若干个不同空间分辨率的子序列, 其中每个分辨率都对应于一个空域编码层. 为了进一步提高各编码层的编码效

率, SVC 最新引入了“层间预测”的概念^[2]. 通过层间帧内预测、层间帧间运动预测和层间残差预测三种预测模式, 充分挖掘和利用了层次间的相关性进行编码. 而对于质量域可伸缩性, 作为空域可伸缩性的一种特殊形式, 粗粒度质量可伸缩性编码 (Coarse-grain quality scalable, CGS) 是现有 H.264/SVC 质量可伸缩性设计中的一种最简单形式, 即就是基本层和增强层的视频帧尺寸完全相同. 首先通过使用层间预测的方法来减小层间的冗余, 然后对层间预测后的残差信号选取比基本层更小的量化步长, 进而生成其增强层, 实现质量的可伸缩性.

H.264/SVC 提供了一整套可伸缩编码的有效解决方案, 通过一次编码产生一个高码率的总视频流, 再根

据客户端需求以及网络传输环境,使用部分层次码流的数据,实现不同时域、空域或信噪比下的解码.由于这种层次化的结构设计,在总视频流的目标码率相对固定的情况下,需要对各层次间的码率进行分配,不同的分配方案将会导致不同的编码效率.同时又考虑到 SVC 编码设计中层次间的依赖关系,使得在总码率一定的情况下,各层次间的失真呈现此消彼长的特性.因而需要同时考虑各层次的编码效率和特性,有效地利用各层次间的相关性,求取码率的优化分配方案.但是现有的 H.264/SVC 参考软件 JSVM (Joint Scalable Video Model)^[3]除了提供简单的基本层码率控制算法外,还不支持任何视频层次间的码率分配机制. JSVM 的编码过程遵循了由底向上的顺序性方式,从最底部的基本层开始,再依次根据编码重建后的前驱视频层作为参考进行预测,来编码增强层.每一层的目标码率都是先验设定的.这种顺序性分配的方法忽略了待编层与参考层之间编码的相关性,损失了一定的编码效率.针对这一问题,本文提出了一种面向 H.264/SVC 空域-质量域可伸缩编码的码率优化分配算法,其率失真模型的构建和码率分配都充分考虑了现有 SVC 层次化结构的特点.

在已有的视频压缩编码标准中,有一些针对可伸缩编码的码率分配算法研究.文振等人^[4]在 MPEG-4 FGS 上提出了基于帧内区域的细粒度可扩展视频编码最优码率分配算法.利用帧内区域 8×8 宏块高位平面非零系数很少的特点,设计了动态码率分配方法.王琪等人^[5]也在 MPEG-4 PFGS 上通过建立增强层的多帧联合的率失真函数,提出了增强层码流的码率分配算法.而最新针对 H.264/SVC 标准所提出的码率控制算法,都未能有效地分析和考虑到层次间相关性这一问题. Liu 等人^[6]在基于 H.264/SVC 空域或粗粒度质量域可伸缩编码维度下,提出了一种有效的码率控制算法.该方法的提出是以先验固定每层编码的码率为前提,实现了宏块级的码率分配.徐龙等人^[7]在时域可伸缩维度下,提出了一种根据层间预测像素比例来估计不同编码层权重值从而进行码率优化分配的算法.该方法在一定程度上考虑了时域层间相关的特性,但是仅先验地通过权重直接进行划分过于粗略.由于这两种算法都未充分利用 SVC 层次间的相关性,来实现码率的有效分配,因而其编码性能都仍待进一步提高.

在本文作者以往的工作^[8]中,研究了基于模型的最优化空域多层次码率分配问题,提出了空域可伸缩性编码的失真模型.该模型有效地描述了具有相关性的空域层失真特性,但是模型本身过于复杂,不适用于多维度码率分配问题的求解.在此工作的基础上,本文提出了一种简化的空域多层次率失真模型,即有效描

述了增强层的率失真特性,又使得空域-质量域二维优化分配算法的计算复杂度较低.同时,通过分析质量域各层次间的相关性特点,新提出了质量域率失真模型.通过分别在两个可伸缩维度上建立相应的率失真模型,使用拉格朗日乘数法,对于空域-质量域码率分配的最优化问题进行了数值求解.实验结果表明使用新的率失真模型的码率分配算法具有高效的码率分配特性,通过与 JSVM9.12 参考代码的工具 FixedQPEncoder^[3]比较可以看出性能有显著提高.

2 具有相关性编码层的率失真特性

图 1 描述了两种可能的码率分配方案在空域-质量域联合可伸缩编码结构中的应用.在空域-质量域二维可伸缩性中, x, y 方向分别表征了沿质量域和空域维度的可伸缩性.在空域-质量域构成的编码关系平面中,各层编码单元之间的相关关系显著地影响了可伸缩总码流的编码效率.

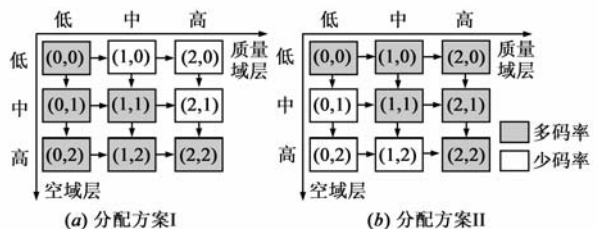


图1 H.264/SVC中空域-质量域联合可伸缩编码码率分配示意图

由于这种层次间的相关关系,每一个编码单元 (i, j) 的码率和失真特性,可以用多变元函数 $R_{i,j}(q_{0,0}, \dots, q_{i,j})$ 和 $D_{i,j}(q_{0,0}, \dots, q_{i,j})$ 进行表示.其中 $q_{i,j}$ 是一个编码单元在第 i 个质量域层 (QL- i) 和第 j 个空域层 (SL- j) 的量化步长.也就是说,第 (i, j) 编码单元的率失真特性,受到前 $(i-1)$ 层质量域编码层和前 $(j-1)$ 层空域编码层编码特性的影响.问题的关键就在于:如何将具有相关性的编码层的率失真特性进行化简和去相关,从而实现将原有复杂的多变元率失真表达式进行合理地线性化分解,转化为多个单变元函数的线性关系和.

2.1 空域编码层的失真特性

空域编码层 (Spatial Layer, SL) 的失真特性不仅依赖于自身量化参数的选择,还与其参考层的编码质量相关.对于这种具有复杂相关性的空域增强层,我们通过固定增强层的量化参数,在改变基本层量化参数的条件下,分析和确定增强层失真与基本层失真之间的关系.该空域增强层失真模型可以表达为一个分别以各空域层的量化参数为变元的基本层失真函数 D_0 的线性关系和.图 2 显示了空域增强层 (例如 SL-1) 的失真 $D_1(q_0, q_1)$ 与空域基本层 (SL-0) 失真 $D_0(q_0)$ 之间的函数关系.通过分析该函数关系,得到以下重要结论:

(1)对于每个固定的 qp_1 值,当 $D_0(q_0)$ 值较小时, $D_1(q_0, q_1)$ 和 $D_0(q_0)$ 间存在一个线性函数关系区域.当越过 $qp_0 - qp_1 = 6$ 拐点后,两者的关系趋于水平直线;

(2)该线性区域内,函数关系的斜率反映了相邻两层次之间的相关性.由于函数线性簇各分支线段基本保持平行,即斜率接近为一个常数.这里假设线性区域中所有分支的斜率都相同.

当 $qp_0 - qp_1 = 6$ 时,相应的量化步长被减半,即 $q_0 = q_1/2$.直观上,对拐点后关系曲线趋于平缓的现象可以做如下解释:当 q_1 相对于 q_0 较小时,SL-1 的失真主要由 q_1 单独决定.

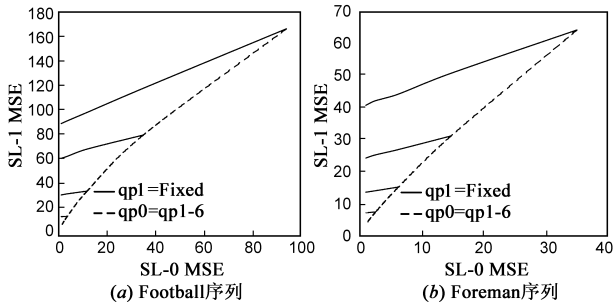


图2 SL-0(参考层)的失真与SL-1失真的相关性图

考虑到上述分析,可得到 SL-1 失真模型如下:

$$D_1(q_0, q_1) = n_1 \cdot D_0(q_0) + (n_0 - n_1) \cdot D_0(q_1/2), q_0 \leq q_1/2 \quad (1)$$

其中 n_0 是虚线的斜率,表示当 $qp_1 - qp_0 = 6$ 时 SL-0 和 SL-1 之间的失真关系, n_1 是线性区域内各分支线段的斜率,表示 $qp_1 - qp_0 < 6$ 时,SL-0 和 SL-1 之间的失真关系,如图 3(a)所示.

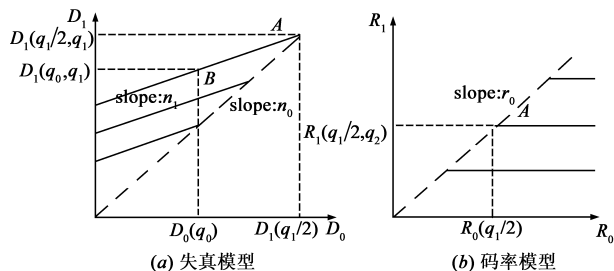


图3 提出的空域相关性的增强层失真与码率模型

2.2 空域编码层的码率特性

令 $R_1(q_0, q_1)$ 表示 SL-1 层的码率模型.通过对于大量视频序列测试,重点分析了增强层码率模型 $R_1(q_0, q_1)$ 与空域基本层码率 $R_0(q_0)$ 之间的函数关系.可以看到一组接近平滑不变的直线簇,如图 4 所示,即相邻两层之间的码率相关性相对较低.因此,设计如下码率模型:

$$R_1(q_0, q_1) = r_0 \cdot R_0(q_1/2), q_0 \leq q_1/2 \quad (2)$$

其中 r_0 是 $q_0 = q_1/2$ 时的关系函数的斜率值.图 3(b)抽象表示了该码率模型.

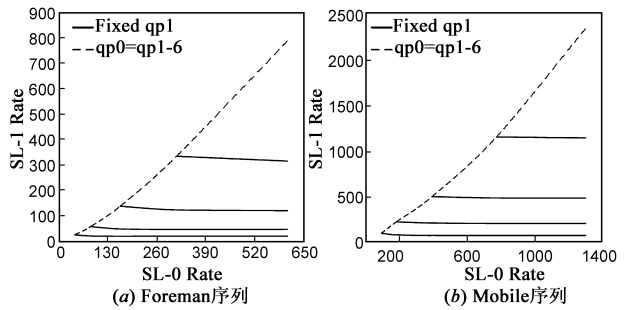


图4 SL-0(参考层)的码率与SL-1码率相关性图(单位:kbits)

2.3 质量域编码层失真特性

同理,对于质量域编码层(Quality Layer, QL)的失真特性,图 5 描述质量增强层与基本层间的失真关系.在固定了质量域增强层(例如 QL-1)量化参数后,调整基本层量化参数的设置,分析了增强层失真特性与基本层(QL-0)失真的函数关系.可以观察到质量域基本层与增强层之间存在几乎不变的平行于 x 轴的线性关系.因此可以将 QL 失真函数表示为:

$$D_1(q_0, q_1) = s_0 \cdot D_0(q_1) \quad (3)$$

其中模型参数 s_0 是 $qp_0 = qp_1$ 时失真关系的斜率.这一简单关系也可以按照信号分解的原理来解释.即增强层的量化步长必须比基本层的量化步长更精细,否则增强层相对于原始帧的失真就相对独立于基本层的量化参数选择.

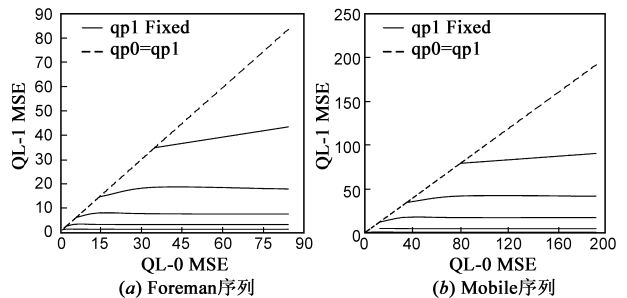


图5 QL-0层(参考层)的失真与QL-1层失真的相关性图

2.4 质量域编码层的码率特性

质量域层的码率特性相比失真特性更为复杂,需要进一步的研究.图 6 把 QL-1 的码率关于其基本层 QL-0 的码率的函数关系表示出来,其中通过调整不同

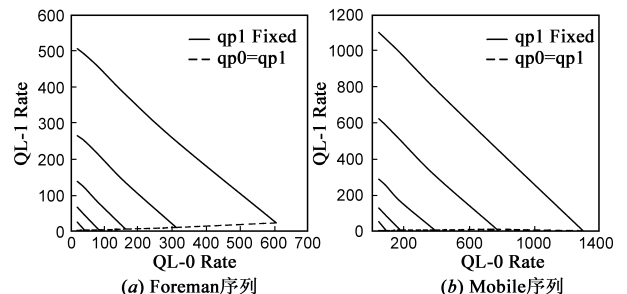


图6 QL-0层(参考层)的码率与QL-1层码率的相关性图(单位:kbits)

的量化参数设置来控制产生码率。

关于质量域层码率特性的两个主要观察结论如下:

(1) 质量域增强层的码率和质量域基本层的码率基本成线性比例;

(2) 对于设置相同的增强层量化步长 q_1 , 得到的关系直线具有同样的斜率, 也即每个 q_1 对应的直线都接近于互相平行。

图 7 中显示了一个抽象模型, 实线关系表示了当 QL-0 码率增高时, QL-1 码率随之降低。这是因为基本层的高码率减少了将要被编码到增强层的信息, 使得当固定 q_1 时, 增强层的码率降低了。

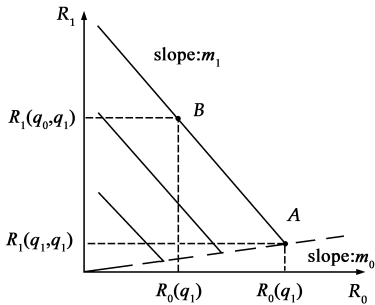


图7 提出的质量域相关性的层的码率模型

基于以上两个性质, 将质量域码率模型设计为以参数 q_0, q_1 为评价依据的质量域基本层 (QL-0) 码率函数的线性和。数学表达式如下:

$$R_1(q_0, q_1) = m_1 \cdot R_0(q_0) + (m_0 - m_1) \cdot R_0(q_1) \quad (4)$$

其中 m_0 和 m_1 分别是 $q_0 = q_1$ 和 q_1 固定时线的斜率。

3 联合空域-质量域编码层码率分配算法

作为所提出的率失真模型的一个应用, 本文重点求解了 H.264/SVC 中空域-质量域联合可伸缩性编码的码率分配问题。将实现具有相关性的各层次码率优化分配问题设计为两阶段的最优化问题: 首先, 当总码流的目标码率给定时, 为了获取各层次的最佳编码效果, 编码器必须高效地分配码率给每个空间域层; 其次, 对于每个空域层, 已知第一步中计算出的相应分辨率分配的码率值, 作为该空域层内所有质量域层次的总码率, 在给定质量域中各层次最大的分配比例的前提下, 求取使得质量域层的失真之和最小的码率分配方案。该问题的算法设计可以数学地表达为,

$$\begin{aligned} \text{第 1 步: } \mathbf{q}_j^* &= \arg \min_{\mathbf{q}_j \in Q} \sum_{j=0}^{N_s-1} D_j(q_0, \dots, q_j), \\ \text{s. t. } &\sum_{j=0}^{N_s-1} R_j(q_0, \dots, q_j) \leq R_{total}; \end{aligned}$$

$$\text{第 2 步: } \mathbf{Q}^* = \arg \min_{\mathbf{Q} \in Q^{N_s \times N_s}} \sum_{i=0}^{N_0-1} D_{i,j}(q_{0,j}, \dots, q_{i,j}), j = 0, \dots,$$

$$N_s - 1$$

$$\text{s. t. } R_{0,j}(q_{0,j}) \leq \omega_0 \cdot R_j(\mathbf{q}_j), \dots, R_{N_0-1,j}(q_{N_0-1,j}) \leq \omega_{N_0-1} \cdot R_j(\mathbf{q}_j) \quad (5)$$

其中 $R_j(\mathbf{q}_j)$ 是 SL- j 层的码率, \mathbf{Q} 和 \mathbf{q}_j 是 $N_Q \times N_S$ 矩阵和 $N_S \times 1$ 向量, 向量中的元素是参与的编码单元的量化步长。 Q 是所有允许的量化步长所构成的集合。 ω_i 是权重因子, 代表第 QL- i 层所占的相应比例。

拉格朗日乘法通过引入拉格朗日代价函数, 将方程(5)中的有约束最优化问题转化为一个等价的无约束最优化问题:

$$\begin{aligned} \text{第 1 步: } J(\mathbf{q}_j^*, \lambda^*) &= \arg \min_{\mathbf{q}_j \in Q} J(\mathbf{q}_j, \lambda) \\ &= \sum_{j=0}^{N_s-1} D_j(q_0, \dots, q_j) + \lambda \cdot \left(\sum_{j=0}^{N_s-1} R_j(q_0, \dots, q_j) - R_{total} \right); \end{aligned}$$

第 2 步:

$$\begin{aligned} J(\mathbf{Q}^*, \mathbf{\Lambda}^*) &= \arg \min_{\mathbf{Q} \in Q^{N_s \times N_s}} J(\mathbf{Q}, \mathbf{\Lambda}), j = 0, \dots, N_s - 1 \\ &= \sum_{i=0}^{N_0-1} D_{i,j}(q_{0,j}, \dots, q_{i,j}) + \lambda_0 \cdot (R_{0,j}(q_{0,j}) - \omega_0 \cdot R_j(\mathbf{q}_j)) \\ &\quad + \dots \\ &\quad + \lambda_{N_0-1} (R_{N_0-1,j}(q_{N_0-1,j}) - \omega_{N_0-1} \cdot R_j(\mathbf{q}_j)) \end{aligned} \quad (6)$$

其中 λ_j 是拉格朗日乘子。

为了不失一般性, 本文考虑一个具有两个空域层和两个质量域层的简单应用场景。它的解法可以很容易地推广到一个更多层次的场景中。利用第二部分中提出的空域、质量域的率失真模型, 方程(6)中的目标函数可以被改写为:

$$\begin{aligned} \text{第 1 步: } J(\mathbf{q}_j, \lambda) &= (1 + n_1) D_0(q_0) + (n_0 - n_1) D_0(q_1/2) \\ &\quad + \lambda \cdot (R_0(q_0) + r_0 \cdot R_0(q_1/2) - R_{total}); \end{aligned}$$

第 2 步:

$$\begin{aligned} J(\mathbf{Q}, \mathbf{\Lambda}) &= D_{0,j}(q_{0,j}) + s_{0,j} \cdot D_{0,j}(q_{1,j}) \\ &\quad + \lambda_0 (R_{0,j}(q_{0,j}) - \omega_0 \cdot R_j(\mathbf{q}_j)) \\ &\quad + \lambda_1 (R_{1,j}(q_{1,j}) - \omega_1 \cdot R_j(\mathbf{q}_j)), j = 0, \dots, N_s - 1 \end{aligned} \quad (7)$$

同时对于基本层, 使用文献[9]中基于帧的率失真模型, 其码率和失真函数给定如下:

$$R(q) = a \cdot q^{-\alpha} \text{ 和 } D(q) = b \cdot q^{\beta} \quad (8)$$

其中 a, b, α 和 β 为模型参数。最后, 最优化问题变为:

$$\begin{aligned} \text{第 1 步: } J(\mathbf{q}_j, \lambda) &= (1 + n_1) a_0 \cdot q_0^{-\alpha_0} + (n_0 - n_1) a_0 \\ &\quad \cdot (q_1/2)^{-\alpha_0} \\ &\quad + \lambda \cdot (b_0 \cdot q_0^{\beta_0} + r_0 \cdot b_0 \cdot (q_1/2)^{\beta_0} - R_{total}); \end{aligned}$$

第 2 步:

$$\begin{aligned} J(\mathbf{Q}, \mathbf{\Lambda}) &= a_{0,j} \cdot q_{0,j}^{-\alpha_{0,j}} + s_{0,j} \cdot a_{0,j} \cdot q_{1,j}^{-\alpha_{0,j}} \\ &\quad + \lambda_0 \cdot (b_{0,j} \cdot q_{0,j}^{\beta_{0,j}} - \omega_0 \cdot R_j(\mathbf{q}_j)) + \lambda_1 ((1 + m_{1,j}) b_{0,j} \cdot q_{0,j}^{\beta_{0,j}} \\ &\quad + (m_{0,j} - m_{1,j}) \cdot b_{0,j} \cdot q_{1,j}^{\beta_{0,j}} - \omega_1 \cdot R_j(\mathbf{q}_j)), j = 0, \dots, N_s - 1 \end{aligned} \quad (9)$$

对于方程(9)中的拉格朗日联立方程组可以通过对 $q_{i,j}$ 求偏微分的方法来计算. 通过基于梯度的方法, 求解偏微分方程组获得最优的数值解.

4 实验结果与分析

由于目前 H.264/SVC 的参考软件 JSVM 中没有空域/质量域多层次码率控制算法, 因此本算法考虑与 JSVM 中的参考工具 FixedQPEncoder 的编码结果做比较, 参数设置基于 JVT-Q205^[10] 中定义的 SVC 测试条件. 在 FixedQPEncoder 工具中采用对数迭代搜索算法和逐级递减 QP 的方法, 寻找一个合适的量化参数, 因而其算法复杂性很高. 当本轮迭代中, 计算得到的码率与目标码率的误差小于某一个设定的阈值(本实验中设置为 0.5%, 或是迭代的编码次数大于某个指定的阈值(本实验中设置为 30 次/层), 迭代计算过程都会停止.

本文所提出的码率分配算法在实验平台 JSVM9.12^[3] 上实现. 为了验证上面提出的面向空域-质量域可伸缩编解码率分配算法的效果, 实验设置如下: 对于基本层 SL-0, 不使用任何层间预测进行编码. 对于空间增强层 SL-1, 使用基于基本层的自适应层间预测模式. 在每个空域层内包含两个质量域层: QL-0 和 QL-1. 为了和 JSVM9.12 做比较, 两个实验设计中 QP 的初

始设置都是相同的. 实验按图像复杂性由低到高的顺序选了 4 个测试序列 (Foreman, Football, Bus 和 Mobile), 编码了 20 个 GOP, 且 GOP 大小设置为 16. 本实验中假定质量域比率 ω_0 为 2/3.

图 8(a)到(d)分别描述了在不同目标码率的情况下, 本文所提出算法相比于 JSVM9.12 所实现的编码增益. 从图中结果可以看出, 本文所提出的码率优化分配算法和参考代码相比较有显著的编码性能增益, 在 PSNR 上有平均 1.04dB 的增益. 表 1 显示了不同目标码率下, 使用两种实验方法的编码性能结果的比较. 可以看出相同序列不同码率下, 本文所提出的方法与 JSVM 相比, 编码性能上都有所提高, 特别是对于低码率提升的性能更显著, 具有很好的鲁棒性. 而本文所提出的方法其码率分配的精确性也有所提升, 即和目标码率的偏差值(Δ 码率)有所降低(比目标码率少 1.5%). 同时, 因为本文提出的算法是基于模型的, 其算法复杂度较低, 只需要迭代编码 8 次计算得到模型参数即可实现码率的优化分配. 而 JSVM 使用了基于对数的搜索方法其时间复杂度很高(如表 1 所示). 这些实验结果证实了本文所提出的算法对于各种具有不同空域特性的视频序列的高效性和健壮性.

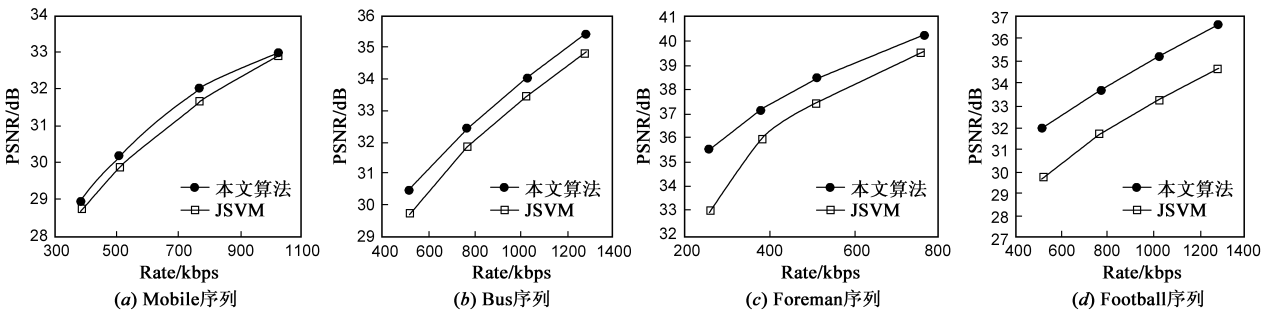


图8 本文提出的码率分配算法和JSVM9.12相比的率失真性能比较

表 1 对于联合空域-质量域视频层, 两种方法在 PSNR, 输出码率, Δ 码率和 Δ PSNR 方面的性能比较结果

序列	目标码率 (kbps)	方法	算法复杂性 (迭代次数)	PSNR (dB)	码率 (kbps)	Δ 码率	Δ PSNR
Foreman	256	本文方法	8	35.53	254.50	-1.50	+2.65
		JSVM	36	32.88	253.45	-2.55	
	384	本文方法	8	37.21	384.42	+0.42	+1.21
		JSVM	37	36.00	380.95	-3.05	
	512	本文方法	8	38.44	508.84	-3.16	+1.01
		JSVM	36	37.43	516.53	+4.53	
Mobile	512	本文方法	8	30.17	511.40	-0.60	+0.29
		JSVM	39	29.88	510.50	-1.50	
	768	本文方法	8	31.98	758.68	-9.32	+0.36
		JSVM	27	31.61	768.77	+0.77	
	1024	本文方法	8	32.99	1016.37	-7.63	+0.11
		JSVM	36	32.88	1023.42	-0.58	

5 结论

本文针对 H.264/SVC 中,空域-质量域具有相关性的各视频层次视频的高效码率分配问题提出了一种基于模型的码率分配算法.通过分析层次间的相关性,分别提出了空域、质量域的率失真模型,使得该码率分配问题最终使用拉格朗日乘数法求解最优数值解.本文工作的主要贡献在于,将空域和质量域上具有多变元的相关性率失真函数分解为不相关的单变元率失真函数的线性关系和.该算法使得具有相关性的层次间码率分配问题的复杂度大幅度降低,且通过有效地码率分配方案进一步提升了整个码流的编码效率.

参考文献:

- [1] ISO/IEC 14496-10:2005, Amendment 3 to ITU-T Rec H 264 (2005), Scalable Video Coding[S].
- [2] C A Segall, G J Sullivan. Spatial scalability within the H.264/AVC scalable video coding extension[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2007, 17(9): 1121 - 1135.
- [3] Joint Video Team of ITU-T VCEG and ISO/IEC MPEG.. Joint Scalable Video Model software 9.12. [OL]. ftp://garcon.iert.rwth-aachen.de, 2009-12-05.
- [4] 文振, 张基宏, 孙立峰. 基于帧内区域的细粒度可扩展视频编码最优码率分配算法[J]. 电子学报, 2007, 35(4): 761 - 765.
Wen Zhen, Zhang Ji-hong, Sun Li-feng. An optimal bit rate allocation algorithm for the intra-frame FGS video coding[J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(4): 761 - 765. (in Chinese)
- [5] 王琪, 赵黎, 吴枫, 李世鹏, 钟玉琢. 可伸缩性视频编码的码率分配算法[J]. 电子学报, 2002, 30(2): 204 - 209.
Wang Qi, Zhao Li, Li Shi-peng, Zhong Yu-zhuo. A rate allocation scheme for Progressive Fine Granular Scalable Video Coding[J]. Acta Electronica Sinica, 2002, 30(2): 204 - 209. (in Chinese)

- [6] Y Liu, Y C Soh, Z G Li. Rate control of H.264/AVC scalable extension[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2008, 18(1): 116 - 121.
- [7] 徐龙, 高文, 季向阳, 赵德斌. 一种面向 SVC 的码率控制算法[J]. 计算机学报, 2008, 31(7): 1175 - 1184.
Xu Long, Gao Wen, Ji Xiang-yang, Zhao De-bin. A Rate Control Algorithm for Scalable Video Coding[J]. Chinese Journal of Computers, 2008, 31(7): 1175 - 1184. (in Chinese)
- [8] J Liu, Y Cho, Z Guo, and C-C Kuo. Bit allocation for spatial scalability in H.264/SVC[A]. In Proc. IEEE Multimedia Signal Processing Workshop[C], NJ: IEEE Press, 2008. 278 - 283.
- [9] N Kamaci, Y Altinbasak, and R M Mersereau. Frame bit allocation for H.264/AVC video coder via Cauchy density-based rate and distortion models[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2005, 15(8): 994 - 1006.
- [10] JVT-Q205, Testing Conditions for SVC Coding Efficiency and JSVM Performance Evaluation[S].

作者简介:



刘家瑛 女, 1983 年 8 月出生于陕西西安. 2005 年毕业于西北工业大学计算机学院, 获工学学士学位. 同年保送至北京大学计算机系, 攻读长制博士研究生, 2010 年毕业于北京大学计算机系. 获理学博士学位, 并留校任教, 从事视频编码压缩技术, 与视频处理方面的有关研究.
E-mail: liujiaying@icst.pku.edu.cn



郭宗明 男, 教授、博士生导师、中国电影电视技术学会(C-SMPTE)常务理事、IEEE 会员. 1966 年出生于江苏盐城. 1987 年、1991 年和 1994 年分别在北京大学数学系、北京大学计算机系获理学学士、理学硕士和理学博士学位. 主要从事计算机动画、音视频(含网络视频、移动多媒体)技术及应用的研究工作.