

## 一种面向视频传输的 SVC 码流排序方法

卢冀\* 肖嵩 吴成柯

(西安电子科技大学综合业务网理论与关键技术国家重点实验室 西安 710071)

**摘要:** 该文提出了一种适用于传输的可分级视频编码码流的排序方法。该方法通过对码流的合理选择和对失真的高效近似计算, 优先传输率失真性能较好的可分级码流, 从而提高了重建图像的质量。该文建立了用于划分复合可分级码流的状态模型, 推导出了可分级码流失真的近似计算公式, 在一定带宽限制下, 采用率失真优化的方法对可分级码流进行排序。仿真结果表明该方法能提高视频流重建图像质量。

**关键词:** 视频传输; 可分级视频编码; 率失真理论; 码流优先级

中图分类号: TP919.8

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2011)03-0537-06

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2010.00670

## A Sorting Approach of SVC Streaming for Video Transmission

Lu Ji Xiao Song Wu Cheng-ke

(National ISN Key Laboratory, Xidian University, Xi'an 710071, China)

**Abstract:** A sorting approach for Scalable Video Coding (SVC) streaming is proposed for video transmission. By the accurate states selection and the effective approximate distortion calculation of the fully scalable video streaming, the proposed approach can priority transmit the scalable streaming owning better rate-distortion performance, which improves effectively the reconstructed quality of video streaming. A state model is built to select layered streaming from the fully scalable video streaming, and the distortion approximate formula of the scalable streaming is deduced. The scalable streaming is reordered by employing the rate-distortion optimization under certain bandwidth limitations. The simulation results show that the proposed approach can improve the reconstructed quality of video streaming.

**Key words:** Video transmission; Scalable Video Coding (SVC); Rate-distortion theory; Bit streams priority

### 1 引言

随着网络基础设施及视频编码技术的迅速发展, 多媒体业务受到越来越多的青睐, 众多具有不同性能的终端通过网络来获取视频流, 并且性能各异的终端对视频内容的需求及其传输带宽也各不相同, 在这种情况下, 如何保证视频流的传输效率和重建视频的质量面临着许多技术问题。JVT 和 ITU-T 联合推出的可分级视频编码<sup>[1]</sup>(Scalable Video Coding, SVC)是一种适合于网络视频流传输的编码技术<sup>[2,3]</sup>, 并且有着非常广阔的应用前景<sup>[4-6]</sup>。因此, 如何提高 SVC 码流重建图像的质量是视频处理和传输中研究的重点问题之一。

SVC 的分级特性允许在传输前对其可分级码流先进行排序, 再优先传输性能较好的可分级码流,

从而提高单位时间内重建图像的质量。已有的 SVC 码流排序方法分为基于图像帧的排序方法<sup>[7]</sup>和基于图像组(Group Of Picture, GOP)的排序方法<sup>[8-11]</sup>两类。基于图像帧的方法性能较好, 但是存在失真计算难度大并且计算复杂度高的问题, 从而使这类算法难以应用于实际的视频系统。基于 GOP 的方法以 SVC 编解码的基本单元 GOP 作为处理码流的基本单元, 算法简便且易于实现, 其中基于质量层的码流排序算法<sup>[8,9]</sup>由于没有考虑空域和时域可分级码流的排序方式, 因此不能很好地适用于实际的视频系统中。基于空域, 时域和质量域的排序方法<sup>[10,11]</sup>没有考虑传输带宽对可分级码流排序的影响, 其中文献<sup>[10]</sup>采用全局动态贪婪算法搜索率失真最佳的可分级码流, 当选择的码流大于带宽时, 可能会造成重建视频质量大幅度的下降, 文献<sup>[11]</sup>则选择平均重建视频质量最佳的分层码流, 在给定传输带宽下, 其性能不是最优的。而且, 这两种方法都是用重建图像序列相对于原始图像序列的 PSNR 来计算图像的失真, 如此还会增加系统的计算开销和延时。

2010-06-29收到, 2010-10-08改回

国家自然科学基金(60702058, 60832001, 60802076), 高等学校创新引智基金(B08038), CAST创新基金, 教育部留学回国人员科研启动基金和中央高校基本科研业务费专项资金资助课题

\*通信作者: 卢冀 lujicolin@126.com

为了提高视频流的传输效率和视频流重建图像质量,本文方法以 GOP 作为码流排序的基本单元,降低了 SVC 码流排序方法的复杂度,同时又从空域层、时域层和质量层三方面考虑了可分级码流的排序,提高了 SVC 码流排序方法的性能,此外,为了克服 SVC 码流排序方法中分层码流的选择问题<sup>[10]</sup>以及失真计算复杂的问题<sup>[7]</sup>,本文建立了一种便于选择 SVC 可分级码流的状态模型,并采用近似计算的方法来降低计算分层码流失真的复杂度,因此,本文方法具有复杂度低、效率高和适用性好的特点,并能有效地提高重建视频序列的质量。

## 2 SVC 码流排序方法的基本思想

SVC 包括空域、时域和质量域分级<sup>[12]</sup>3 种可分级方式。在码流传输时,首先对以 GOP 为单元生成的复合分级码流进行排序,再把排序后的码流打成 NAL(Network Abstraction Layer)包进行传输。SVC 标准中 JSVM 默认的排序方法<sup>[13]</sup>按时域标识递增的顺序对其进行分组排序,每个分组中按照空域标识递增的顺序依次放置空域层及其对应的全部质量层。

JSVM 提供的码流排序方法没有考虑不同重建视频序列的率失真性能,因此该算法不能有效地提高重建图像的质量。为了提高重建图像的质量,排序算法对分层码流进行排序时,必须考虑分层码流的率失真特性,当终端的带宽为  $R_B$  时,率失真性能最优的码流排序方法得到的码流可以表示为

$$\theta^* = \arg \min_{\theta \in \Theta} D(\theta), \quad \text{s.t. } R(\theta) \leq R_B \quad (1)$$

其中  $\theta$  表示从复合可分级码流  $\Theta$  中得到的部分分层码流,  $R(\theta)$  和  $D(\theta)$  分别表示排序结果  $\theta$  的码率和  $\theta$  相对  $\Theta$  的失真。

## 3 本文提出的 SVC 码流排序方法

### 3.1 复合码流状态模型

令集合  $\{L_1, L_2, \dots, L_N\}$  表示复合分级码流  $C(D_d, T_t, Q_q)$ ,  $L_i (1 \leq i \leq N)$  表示分级码流,  $D_d, T_t$  和  $Q_q$  分别表示最大的空域层、时域层和质量层标识。定义  $\xi$  为一个 3 维集合  $(d, t, q)$ , 并满足  $0 \leq d \leq D_d - 1$ ,  $0 \leq t \leq T_t - 1$  及  $0 \leq q \leq Q_q - 1$ 。用  $\xi$  表示  $\{L_1, L_2, \dots, L_N\}$ , 则  $(0, 0, 0)$  表示基本层  $L_1$ ,  $(D_d - 1, T_t - 1, Q_q - 1)$  表示最高的增强层  $L_N$ , 特别地, 当复合分级码流中不包含可分级码流  $L_i (1 < i < N)$  时,  $L_i$  为空集。  $R(L_i)$  和  $D(L_i)$  分别表示  $L_i$  的码率和失真。

$L_i \in \{L_1, L_2, \dots, L_N\}$  能被  $\xi$  中唯一的一个元素来表示。本节构造一种状态模型用来表示分级码流之间的关系。在该模型中, 每个  $(d, t, q)$  为一个节点, 每

个节点根据标识  $d, t$  或  $q$  被划分成不同的代, 代的数目随着标识的增加而增多, 当 3 个标识中任意一个增加 1 时, 代数也增加 1。若两个不同节点  $(d, t, q)$  和  $(d^*, t^*, q^*)$  满足  $|d - d^*| + |t - t^*| + |q - q^*| = 1$ , 称这两个节点为同源节点, 如果满足  $d > d^*$ ,  $t > t^*$  和  $q > q^*$ , 称后者是前者的长辈节点。相邻代之间的同源节点用一条枝干连接, 由  $(0, 0, 0)$  出发并汇聚到  $(D_d - 1, T_t - 1, Q_q - 1)$  的枝干构成一条路径。图 1 显示了复合分级码流  $C(2, 2, 3)$  的状态模型。

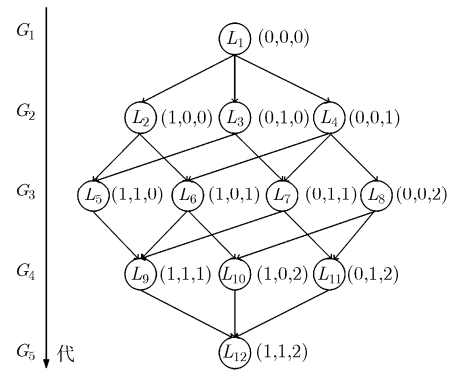


图1 复合分级码流  $C(2, 2, 3)$  的状态模型

本文建立的 SVC 可分级流状态模型满足以下属性: (1)  $L_j (1 \leq j \leq N)$ ,  $G_k (1 \leq k \leq U)$  和  $P_i (1 \leq i \leq H)$  分别表示模型中的节点, 代和路径, 其中  $N, U, H$ <sup>[11]</sup> 定义为

$$\left. \begin{aligned} N &= D_d \cdot T_t \cdot Q_q \\ U &= D_d + T_t + Q_q - 2 \\ H &= (D_d + T_t + Q_q - 3)! / (D_d - 1)! (T_t - 1)! (Q_q - 1)! \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$L_j$  表示分层码流,  $G_k$  表示分层码流的重要等级, 分层码流的  $G_k$  越大, 其重要性越低,  $P_i$  表示分层码流排序的顺序; (2)  $\pi_k^i (1 \leq i \leq H, 1 \leq k \leq U)$  表示  $P_i$  中第  $k$  代的节点,  $\lambda_k^i$  表示包含  $\pi_k^i$  及其所有的长辈节点的集合, 则  $\lambda_k^i$  满足

$$\lambda_k^i = \begin{cases} \{L_1\}, & k = 1 \\ \lambda_{k-1}^i \cup \pi_k^i, & k = 2, \dots, U - 1; i = 1, 2, \dots, H \\ \{L_1, L_2, \dots, L_N\}, & k = U \end{cases} \quad (3)$$

节点  $(d_k^i, t_k^i, q_k^i)$  表示  $\pi_k^i$  在  $\xi$  中对应的元素,  $\lambda_k^i$  表示  $P_i$  上若干分级码流的集合; (3) 集合  $\{\lambda_1^i, \dots, \lambda_U^i\}$  映射成集合  $\{\tilde{\lambda}_1^i, \dots, \tilde{\lambda}_U^i\}$ , 使路径  $P_i (1 \leq i \leq H)$  中  $\lambda_k^i$  的失真随着代的增加而减小, 故当  $D(d_k^i, t_k^i, q_k^i) > D(d_{k-1}^i, t_{k-1}^i, q_{k-1}^i)$  时,  $\tilde{\lambda}_{k-1}^i = \lambda_k^i \cup \lambda_{k-1}^i$ , 否则,  $\tilde{\lambda}_k^i = \lambda_k^i$ ,

$D(d_k^i, t_k^i, q_k^i)$  表示  $\lambda_k^i$  包含码流的失真。

定义  $\delta_j^i (1 \leq i \leq H, 1 \leq j \leq \theta_i)$  表示状态模型中路径  $P_i$  中的第  $j$  个状态, 其表示式为

$$\delta_j^i = \begin{cases} \tilde{\lambda}_1^i, & j=1 \\ \tilde{\lambda}_j^i - \tilde{\lambda}_{j-1}^i, & 2 \leq j \leq \theta_i \end{cases}, \quad i = 1, 2, \dots, H \quad (4)$$

$\delta_j^i$  表示在  $P_i$  中第  $j$  个状态中包含的可分级码流。状态模型精确的反映了单个 GOP 可分级码流之间的关系。

### 3.2 状态失真计算

假设  $F$  和  $\tilde{F}$  分别表示由  $N$  幅编码帧  $f_i (1 \leq i \leq N)$  及其对应重建帧  $\tilde{f}_i$  构成的图像序列, 则图像序列  $F$  的重建失真  $\omega(\tilde{F})$  可以表示为

$$\omega(\tilde{F}) = \sum_{i=1}^N \text{MSE}(f_i, \tilde{f}_i) = \frac{1}{256 \cdot M_B} \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_B} \sum_{x,y=0}^{15} |M_{i,j}(x,y) - \tilde{M}_{i,j}(x,y)|^2 \quad (5)$$

其中  $M_B$ ,  $M_{i,j}$  和  $\tilde{M}_{i,j}$  分别为一帧图像的宏块数, 编码宏块和重建宏块,  $\text{MSE}(f_i, \tilde{f}_i)$  表示采用均方误差 (Mean Square Error) 统计的  $\tilde{f}_i$  的重建失真。当  $f_i$  没能正确解码时, 由错误掩盖方法恢复  $f_i$  造成的失真  $\varphi(f_i)$  为

$$\varphi(f_i) = \text{MSE}(f_i, \hat{f}_i) - \text{MSE}(f_i, \tilde{f}_i) \quad (6)$$

其中  $\hat{f}_i$  表示由错误掩盖方法估计出的  $f_i$ ,  $\text{MSE}(f_i, \hat{f}_i)$  表示  $\hat{f}_i$  的失真。图像重建时,  $f_i$  的失真  $\varphi(f_i)$  还会引起其后续编码帧的重建质量下降, 那么由于  $f_i$  错误掩盖误差造成编码序列  $F$  的失真  $\varphi(\hat{F})$  可以表示为

$$\varphi(\hat{F}) = \sum_{j=i}^N \varphi(f_j), \quad i \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (7)$$

在实际应用中, 由式(7)计算  $F$  中所有图像的失真, 在编码端和解码端对  $f_i$  进行处理时要等待后面的帧, 导致计算开销和延时增加。因此, 可以采用简便的方法计算此类失真:

$$\psi(\hat{F}) = (N - i)\varphi(f_i) \quad (8)$$

针对可分级码流的失真,  $R(d, t, q)$  相对于  $R(D, T, Q)$  的失真由 3 部分组成<sup>[7]</sup>, 它们分别是:

(1) 空域和时域增强层的缺失造成的失真  $D_E$ , 它可以通过计算缺失的空域层和时域层中图像序列的重建失真获得,  $D_E$  的表示式为

$$D_E = \sum_{i=0}^D \sum_{j=t+1}^T \omega(\tilde{F}_{i,j,Q}) + \sum_{i=d+1}^D \sum_{j=0}^T \omega(\tilde{F}_{i,j,Q}) \quad (9)$$

其中  $F_{i,j,Q}$  表示满足时域, 空域及质量域标识为  $i, j$  和  $Q$  的图像序列,  $\omega(\tilde{F}_{i,j,Q})$  可由式(5)计算。

(2) 质量层的缺失造成图像质量的下降, 当以这些帧为参考帧进行图像重建或图像错误掩盖(大于

目标空域及时域分辨率图像序列)时, 造成的图像序列的失真  $D_Q$ , 它又可以细分为两类, 第 1 类是在空域层间预测时造成的空域层的图像序列的失真  $D_Q^S$ , 根据式(7)和式(8), 得到失真  $D_Q^D$  的计算及近似公式为

$$\begin{aligned} D_Q^D &= \sum_{i=1}^D [\text{MSE}(F_{i,t,q}, \hat{F}_{i,t,q}) - \text{MSE}(F_{i,t,q}, \tilde{F}_{i,t,q})] \\ &= \sum_{i=1}^D \varphi(\hat{F}_{i,t,q}) \approx \sum_{i=1}^D \psi(\hat{F}_{0,t,q}) \end{aligned} \quad (10)$$

第 2 类是在同一空域层内时域层之间预测时造成的时域层的图像序列的失真  $D_Q^T$ , 可以用每个空域层基本时域层的失真来估算该空域层的失真。在 SVC 对图像序列预测编码时, 对属于同一空域层的不同时域层图像序列之间会采用不同的预测方式, 而不同的空域层的同一时域层的预测模式是相同的。结合式(7)和式(8), 可得  $D_Q^T$  为

$$\begin{aligned} D_Q^T &= \sum_{i=0}^D \sum_{j=0}^T [\text{MSE}(F_{i,j,q}, \hat{F}_{i,j,q}) - \text{MSE}(F_{i,j,q}, \tilde{F}_{i,j,q})] \\ &= \sum_{i=0}^D \sum_{j=0}^T (T + 1 - \alpha_j) \varphi(\hat{F}_{i,j,q}) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\approx \sum_{i=0}^D (T + 2) \psi(\hat{F}_{i,t,q}) \quad (12)$$

其中系数  $(T + 1 - \alpha_j)$  表示第  $j$  个时域层中每帧图像的预测失真对整个时域层失真的影响。参数  $\alpha_j$  的取值与时域层图像帧的预测模式有关, 图 2 中显示了时域层中常用的 3 种预测方式<sup>[12]</sup>, 它们的  $T$  分别是 3, 2 和 2,  $\alpha_j (0 \leq j \leq T)$  值分别为  $\{0, 3, 3, 4\}$ ,  $\{1, 2, 3\}$  和  $\{0.5, 1.5, 3\}$ , 将以上  $T$  和  $\alpha_j$  值代入式(11), 分别得到  $\sum_{i=0}^D 6 \cdot \varphi(\hat{F}_{i,j,q})$ ,  $\sum_{i=0}^D 3 \cdot \varphi(\hat{F}_{i,j,q})$  和  $\sum_{i=0}^D 4 \cdot \varphi(\hat{F}_{i,j,q})$ , 因此, 由以上分析并结合式(7)和式(8), 对式(11)进行化简得到式(12)。

(3) 在不小于目标空域和时域分辨率的增强层中, 由于质量层 FGS 分级<sup>[14]</sup>造成的质量层码流按比特截取后, 对重建图像和错误掩盖图像质量造成的失真  $D_F$ , 有

$$\begin{aligned} D_F &= \sum_{i=d}^D \sum_{j=t}^T [\text{Mse}(F_{i,j,q^*}, \hat{F}_{i,j,q^*}) - \text{Mse}(F_{i,j,q^*}, \tilde{F}_{i,j,q^*})] \\ &= \sum_{i=d}^D (T + 1 - t) \psi(\hat{F}_{i,t,q^*}) \end{aligned} \quad (13)$$

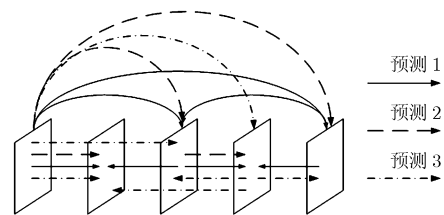


图 2 SVC 时域层的预测模式

其中  $q^*$  表示质量层  $q$  被截断后的标识。FGS 分层码流可以根据目标码率按比特进行截取, 截取码流大小的不同会造成不同的失真, 如果根据截取码流来计算失真, 会增加系统开销。因此, 我们可以根据标识为  $q-1$  和  $q$  的质量层的失真来估计  $q^*$  的失真, 根据率失真函数在  $q^*$  的泰勒展开式, 可得

$$\psi(\widehat{F}_{i,t,q^*}) = \psi(\widehat{F}_{i,t,q-1}) + \psi'(\widehat{F}_{i,t,q-1})(R(q^*) - R(q-1)) + \dots O(x) \quad (14)$$

其中  $R(q^*)$  和  $R(q-1)$  表示根据  $q^*$  和  $q-1$  截取的码流。为了便于计算, 取其一阶展开式, 式(14)可以进一步表示为

$$\psi(\widehat{F}_{i,t,q^*}) \approx \psi(\widehat{F}_{i,t,q-1}) + \frac{\psi(\widehat{F}_{i,t,q}) - \psi(\widehat{F}_{i,t,q-1})}{R(q) - R(q-1)} \cdot [R(q^*) - R(q-1)] \quad (15)$$

将式(15)代入式(13), 得到失真  $D_F$  的近似计算公式为

$$D_F \approx \sum_{i=d}^D (T+1-t) \cdot \left[ \psi(\widehat{F}_{i,t,q-1}) + \frac{\psi(\widehat{F}_{i,t,q}) - \psi(\widehat{F}_{i,t,q-1})}{R(q) - R(q-1)} (R(q^*) - R(q-1)) \right] \quad (16)$$

由上分析可以, 失真  $D(d, t, q)$  计算及近似计算公式可由式(9), 式(10), 式(12)和式(16)得到

$$D(d, t, q) = \frac{1}{G} (D_E + D_Q^S + D_Q^T + D_F) \quad (17)$$

其中  $G$  表示 GOP 的大小。

### 3.3 方法步骤

式(1)给出了在一定带宽条件下, 率失真最优的排序方法设计的原则, 本文方法采用率失真最优方法对 SVC 码流进行排序, 其步骤如下:

步骤 1 参照 3.1 小节建立复合分级码流  $C(D_b, T_t, Q_q)$  的状态模型, 模型中的  $H$  条路径实际上就是复合分级码流排序的全部可能性;

步骤 2 依据式(17)计算状态的失真;

步骤 3 搜索满足传输带宽要求的分层码流排序方式, 由(0,0,0)开始从  $H$  条路径中搜索出满足传输带宽且失真最小的状态。假设  $m^*$  ( $1 \leq m^* \leq H$ ) 是搜索出的最佳路径, 在式(1)的基础上, 本文的排序方法得到的结果可以表示为

$$R\left(\sum_{i=1}^{\tau_{m^*}} \delta_i^{m^*}\right) = \arg \min_{j=1, \dots, M} D(\delta_i^j), \quad \sum_{i=1}^{\tau_j} R(\delta_i^j) \leq R_B \quad (18)$$

其中  $\tau_j$  ( $1 \leq \tau_j \leq \theta_j$ ) 表示第  $j$  条路径中满足目标码率的最大状态数,  $R(\delta_i^j)$  和  $D(\delta_i^j)$  表示状态  $\delta_i^j$  的码率和失真。  $\sum_{i=1}^{\tau_{m^*}} \delta_i^{m^*}$  就是我们排序算法得到的结果。

## 4 算法复杂度分析

综合考虑空域、时域和质量域的排序算法有一定的时间复杂度, 用码流分层数  $N$  作为衡量算法时间复杂度的单位, 由式(2)知, 状态数和路径数的规模都是  $N$ , 则算法第 1 步的时间复杂度为  $O(N)$ , 由式(17)计算单个状态失真的时间复杂度为  $O(N)$ , 算法第 2 步需要计算  $N$  个状态的失真, 因此其时间复杂度  $O(N^2)$ , 从一条路径中搜索满足要求分层码流的时间复杂度是  $O(N)$ , 则算法第 3 步从  $H$  条路径中搜索最佳分层码流的时间复杂度是  $O(N^2)$ , 因此, 本文算法总的时间复杂度为  $O(N^2)$ 。

SVC 码流排序算法的复杂度主要由计算码流失真的复杂度和判断码流排列顺序的复杂度构成。本文方法通过分层码流重建图像中少数几帧图像的失真来近似计算整个 GOP 图像序列的失真。如图 3 所示, 计算  $C(2,3,q^*)$  的失真时, 其中  $1 < q^* < 2$ , 文献 [10,11] 需要计算所有图像的失真(图中虚线框), 计算量较大, 而本文方法只通过计算若干幅图像(图中斜虚线)的失真近似估算  $D(1,2,q^*-1)$ , 大大降低了运算复杂度。此外, 本文方法可以直接选择满足目标码率的最佳分层码流, 有效地降低了计算码流排列顺序的复杂度。

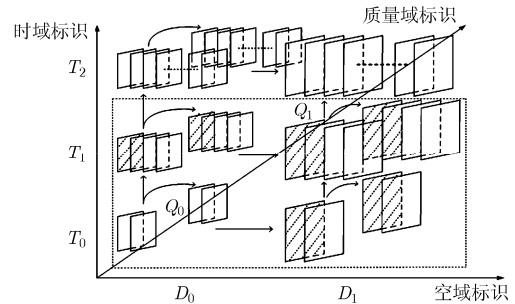


图3 SVC码流失真近似计算原理框图

## 5 实验结果

选择 Mother, Foreman 和 Mobile 3 幅标准测试序列进行仿真实验, 选择的 3 幅序列分辨率都是 CIF, 帧率 30 fps, 共 9 个 GOP, 3 幅序列的图像运动特性不同, 其中 Mother 序列图像变化最慢, 而 Mobile 序列最快。使用 JSVM9<sup>[13]</sup> 生成复合分级码流, GOP 大小设为 32, 每个 GOP 的第 1 帧编码为 I 帧。编码为 2 个空域层、3 个时域层和 2 个质量域层, 其中质量层分级方式为 FGS。

### 5.1 失真近似计算

为了验证了失真近似计算的有效性, 比较了本文近似计算方法得到的失真和序列实际的失真。选

定可分级码流排序的路径为(0,0,0)→(0,1,0)→(1,1,0)→(1,1,1)→(1,2,1)，用序列的第 1 个 GOP 图像序列进行了实验，仿真结果如图 4 所示。由图比较可知，本文方法得到的近似失真可以有效的表示图像序列的真实失真。

5.2 排序方法性能

本文比较了以下 4 种排序算法的性能：

- (1)JSVM 默认的排序方法<sup>[13]</sup>，记为 JSVM；
- (2)基于全局动态贪婪排序的方序算法<sup>[10]</sup>，记为 Greedy；
- (3)只考虑质量域分级特性<sup>[8]</sup>的排序方法，记为 Quality；
- (4)本文提出的算法，记为 Proposed。

图 5 显示了 4 种方法得到的重建图像的质量，随着带宽的增加，本文算法的性能始终好于其它方法。针对 Mother 序列、Foreman 序列和 Mobile 序列，本文算法的性能相比 Quality 方法提高了大约 0.40 dB，0.15 dB 和 0.17 dB，比 Greedy 方法提高了大约 0.74 dB，0.33 dB 和 0.41 dB，较 JSVM 方法提高了大约 0.90 dB，2.02 dB 和 2.44 dB。本文的方法由于精确估算了每个状态的率失真性能，并通过状态模型搜索出了率失真性能最优的分层码流，故其性能最好，JSVM 算法没有考虑复合分级码流增强层的率失真性能，结果最差。

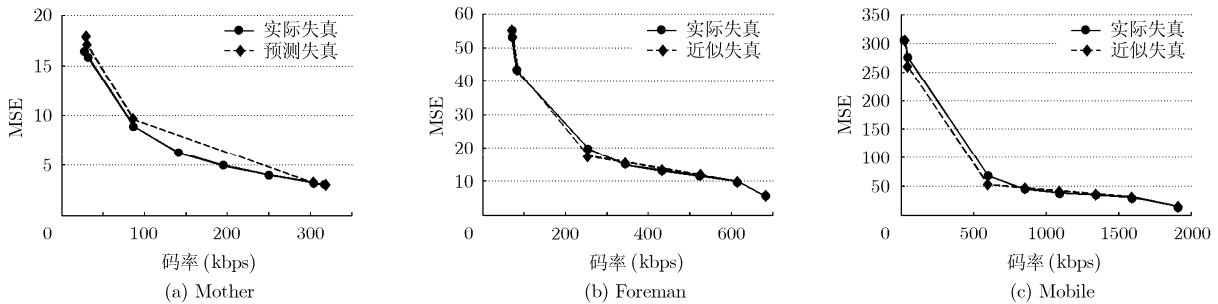


图 4 近似失真与实际失真的比较

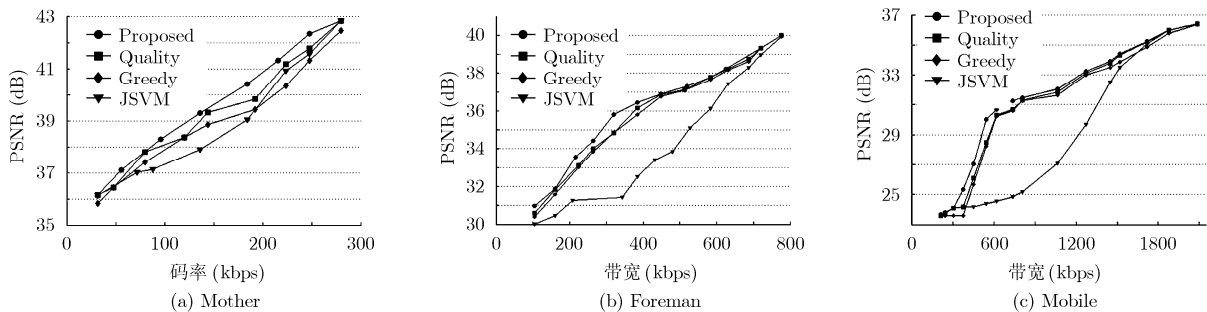


图 5 算法性能比较

针对序列不同 GOP 的仿真结果，在不同带宽条件下，本文方法得到的每个 GOP 序列的重建图像质量都好于其它几种方法，表 1 列出了 4 种方法在不同传输带宽下得到的重建图像序列的平均 PSNR 值，其中 GOP1, GOP3, GOP5 和 GOP7 分别表示图像序列的第 1 个，第 3 个，第 5 个和第 7 个 GOP。

6 结束语

本文提出了一种基于 GOP 的 SVC 复合可分级码流的排序方法，该方法实现简单，可以用于可分级视频流的传输系统的设计。理论分析和仿真实验表明，本文方法能提高视频序列的重建质量，性能优于其它几种算法。在存在丢包的网络中，本文提出的状态模型及可分级码流的失真分析方法还可以

表 1 4 种算法重建图像序列的平均 PSNR 值比较

序列	算法	GOP1	GOP3	GOP5	GOP7
Mother	JSVM	38.19	38.26	37.26	39.73
	Greedy	38.49	38.34	37.35	39.86
	Quality	38.81	38.75	37.82	40.17
	Proposed	39.40	39.16	38.21	40.65
Foreman	JSVM	24.34	26.58	26.28	28.05
	Greedy	27.87	29.45	29.44	30.65
	Quality	28.08	29.84	29.64	30.91
	Proposed	28.29	30.07	29.78	31.11
Mobile	JSVM	25.62	27.75	27.50	29.08
	Greedy	28.60	30.25	30.27	31.36
	Quality	28.89	30.60	30.44	31.59
	Proposed	29.05	30.81	30.56	31.76

用于优化可分级码流数据包的传输策略和不等错误保护算法中。

### 参 考 文 献

- [1] Joint Draft ITU-T Rec. H.264—ISO/IEC 14496-10/Amd.3. Scalable Video Coding, Standard, 2007.
- [2] Jânio M M, Calafate C T, and Mário S N. Evaluation of the H.264 scalable video coding in error prone IP networks. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2008, 54(3): 652–659.
- [3] Casasempere J, Sanchez P, and Villameriel T, *et al.* Performance evaluation of H.264/MPEG-4 scalable video coding over IEEE 802.16e networks. Proc. of IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, Bilbao, Spain, May 13–15, 2009: 1–6.
- [4] Wiegand T, Nohlet L, and Rovati F. Scalable video coding for IPTV services. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2009, 55(2): 527–538.
- [5] Liu Yun-peng, Zhang San-yuan, and Xu Shu-chang, *et al.* Research on H.264/SVC compressed video communication in 3G. Proc. of 4th International Conference on Computer Science & Education Computer Science & Education, Nanning, China, July 25–28, 2009: 327–332.
- [6] Xu Jun, Hormis R, and Wang Xiao-dong. Scalable video multicast on broadcast channels. Proc. of IEEE GLOBECOM 2009, Hawaii, USA, Nov.30–Dec.4, 2009: 1–8.
- [7] Manni E and Katsaggelos A K. Optimized bit extraction using distortion modeling in the scalable extension of h.264/avc [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2009, 18(9): 2022–2029.
- [8] Amonou I, Cammas N, and Kervadec S, *et al.* Optimized rate-distortion extraction with quality layers in the scalable extension of H.264/AVC. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2007, 17(9): 1186–1193.
- [9] Sun Jun, Gao Wen, and Zhao De-bin, *et al.* On rate-distortion modeling and extraction of H.264/SVC fine-granular scalable video. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2009, 19(3): 323–336.
- [10] Xiao Song, Wu Cheng-ke, and Li Yun-Song, *et al.* Priority ordering algorithm for scalable video coding transmission over heterogeneous. Proc. of the 22th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, Ginowan, Japan, Mar. 25–28, 2008: 896–903.
- [11] Li Chun-hua, Yuan Chun, and Zhong Yu-zhuo. A novel substream extraction for scalable video coding over P2P networks. Proc. of the 11th International Conference on Advanced Communication Technology, Gangwon-Do, South Korea, Feb.15–18, 2009, 3: 1611–1615.
- [12] Schwarz H, Marpe D, and Wiegand T. Overview of the scalable video coding extension of the H.264/AVC standard. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2007, 17(9): 1103–1120.
- [13] Julien R, Schwarz H, and Wien M, *et al.* Joint Scalable video model 9 of ISO/IEC 14496-10:2005/AMD3. scalable video coding. Joint Video Team (JVT) of ISO-IEC MPEG & ITU-T VCEG, JVTX202.Geneva, 2007.
- [14] Wang Yu, Chau Lap-pui, and Yap Kim-hui. Joint rate allocation for multiprogram video coding using FGS. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2010, 20(6): 829–837.
- 卢 冀: 男, 1981年生, 博士生, 研究方向为视频压缩编码、网络编码、网络多媒体系统。
- 肖 嵩: 女, 1977年生, 博士, 副教授, 研究方向为网络编码、视频/图像联合信源信道编码。
- 吴成柯: 男, 1938年生, 教授, 博士生导师, 研究领域为图像通信、计算机视觉及计算机图形学。