

# 低复杂度的可伸缩视频流媒体 MGS 编码方案优化

陈旭<sup>1</sup> 张基宏<sup>2</sup> 柳伟<sup>2</sup> 梁永生<sup>2</sup> 冯纪强<sup>1</sup>

(1. 深圳大学信息工程学院, 广东深圳 518060;  
2. 深圳信息职业技术学院可视媒体处理与传输深圳市重点实验室, 广东深圳 518029)

**摘要:** 针对不同带宽环境及用户分布选取可伸缩视频流媒体编码方案的不确定问题是影响视频流编码质量的关键因素, 为了实现在指定网络带宽区域条件下多用户实时性访问的编码质量优化, 提出了一种低复杂度适应网络带宽区域和质量可伸缩的视频流媒体编码方案优化方法。该方法的基本思想是在视频内容分析和理解的基础上, 首先根据 MGS 片层数据统计特性设计出对应率失真(R-D)模型, 结合 I, P, B 帧类型率失真特性进行视频流码率估计; 然后根据优化算法推导出合理编码方式; 最后分析该方法的计算时间复杂度。在 ITU-T 标准文档 Q.6/SG16 所定义的信道通用测试平台上进行实验研究, 实验结果表明所提优化方法能在与传统编码方案复杂度近似情况下带来 0.3-1dB 视频序列质量增益, 且适用于通用的传输信道模型。

**关键词:** 视频流媒体; 质量增强层; 率失真; 通用测试平台

**中图分类号:** TN911.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0530(2011)04-0514-08

## MGS Encoding Scheme Optimization of Scalable Video Streaming Media with Low Complexity

CHEN Xu<sup>1</sup> ZHANG Ji-hong<sup>2</sup> LIU Wei<sup>2</sup> LIANG Yong-sheng<sup>2</sup> FENG Ji-qiang<sup>1</sup>

(1. School of Information Engineering, Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong 518060;  
2. Shenzhen Key Lab of Visual Media Processing and Transmission, Shenzhen Institute of Information Technology, Shenzhen, Guangdong 518029, China)

**Abstract:** Aiming at different bandwidth and user distribution, the choice of scalable video streaming media encoding scheme is a uncertain problem in encoding quality. In order to realize encoding quality under certain network bandwidth range and multi-user real-time access, a new approach to encoding scheme optimization of VSM adapted to network bandwidth and quality scalability with low complexity is proposed. On the basis of video content analysis and comprehension, according to statistical characteristics of MGS quality increments, corresponded R-D model is designed. Combined with I,P,B frames rate-distortion characteristics, video bit rate can be estimated firstly. Secondly combined with optimization algorithm, more reasonable SVC encoding scheme can be deduced. Finally, computational time complexity of the method is analyzed. Experimental study is performed on channel common testing platform defined by ITU-T Q.6/SG16 document, experimental results show that the approach to encoding optimization of VSM proposed in this paper can bring 0.3-1dB more gain than usual method and suitable for common transmission channel when it has similar time complexity as usual method.

**Key words:** video streaming media(VSM); quality increment; rate-distortion; common testing platform

## 1 引言

H.264/SVC 作为最新 SVC 编码标准是以联合视频编解码组(Joint Video Team, JVT)和国际电信标准化部门(international Telecommunication Standardization Sector, ITU-T)提出的 H.264/AVC 为基础发展而成, 主要包括了空间、时间和质量可伸缩编解码<sup>[1]</sup>。质量可伸缩包

括了粗粒度可伸缩(CGS), 中粒度可伸缩(MGS)以及细粒度可伸缩(FGS)。由于 CGS 只能提供有限的几个离散点码率进行切换, 而 MGS 编码能够在显著降低计算复杂度的情况下, 提供与 FGS 相似的率失真结果<sup>[2]</sup>。在 2007 年 7 月的 SVC 标准的修订版中对 FGS 编码技术部分进行了删除, 因此 MGS 成为目前主要使用的视频质量可伸缩编码技术。

视频编码优化问题常与码率控制紧密相关,目的在于在特定的带宽码率条件下寻找合适的量化参数和编码方式使得编码性能得到优化,而码率控制有效与否很大程度上取决于率失真模型 (*R-D Model*) 的准确性及码率控制算法的适应力。目前主要应用的包括 *MPEG-4* 中 *VM8* 算法, *H. 264/AVC* 中的 *JVT-G012* 和 *JVT-H017* 算法等<sup>[3-5]</sup>,近年也有学者提出在特定带宽条件下根据视频内容来决定帧内/帧间编码模式以及通过率失真分析建立码率分配方案等方法来改善 *SVC* 编码质量<sup>[6,7]</sup>。然而针对可伸缩编码的编码优化,传统针对特定码率的编码优化无法解决实际区域网络带宽的浮动变化和多用户访问所具有不同带宽条件情况下的编码优化问题,尤其是当流媒体资源数量达到海量级,而处理速度要求最大限度利用网络的时候,这就需要合理的可分级编码方式进行指导编码,以利于后续的编解码和传输处理。

本文提出一种低复杂度的可伸缩视频流媒体编码方案优化方法,其目的在于在有限带宽和低复杂度要求的条件下,根据统计得到的网络带宽区域范围及用户带宽分布信息,通过编码结构及算法的优化来得到合理的可分级视频编码方案,使得编码输出质量得到提高。在信道通用测试平台上进行实验研究,通过实验验证本文提出的低复杂度的可伸缩视频流媒体编码方案优化方法的有效性。

## 2 编码方案优化结构分析

### 2.1 编码方案优化结构

编码优化结构如图 1 所示,提出的优化过程主要

包括了率失真模型确定、视频流码率估计及优化算法 3 大部分。率失真模型确定为视频流码率估计的前提基础,在计算得到了视频流的码率大小后结合针对区域带宽和用户分布统计信息的优化算法来得到合理的编码方案,具体下文将详细进行分析讨论。

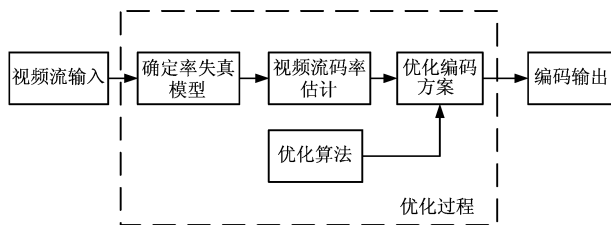


图 1 编码方案优化过程

Fig. 1 Process of encoding scheme optimization

### 2.2 MGS 片层率失真特性

*MGS* 以  $4 \times 4$  块为单位 *DCT* 整数变换量化后的系数分配可构建多个增强层<sup>[8]</sup>。数据传输时以包为单位舍弃会形成 *MGS* 的码流截取结果,从而实现 *MGS* 质量可伸缩。实现对视频码流中 *MGS* 片层码率估计,包括了计算 *MGS* 片层质量百分比以及构建 *MGS* 片层率失真模型两个步骤。

#### 2.2.1 MGS 片层质量百分比

在 *MGS* 编码中,每个子块数据单元中的 16 个系数是  $4 \times 4$  子块数据通过整数变换后得到,因此各系数的重要性不相同<sup>[9]</sup>。根据片层所包括的系数个数,定义片层质量百分比矢量  $K = [k_1, k_2, \dots, k_i]$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, 16$ 。各片层所占质量增强层的质量百分比  $k_1, k_2, \dots, k_i$  计算过程如图 2 所示。

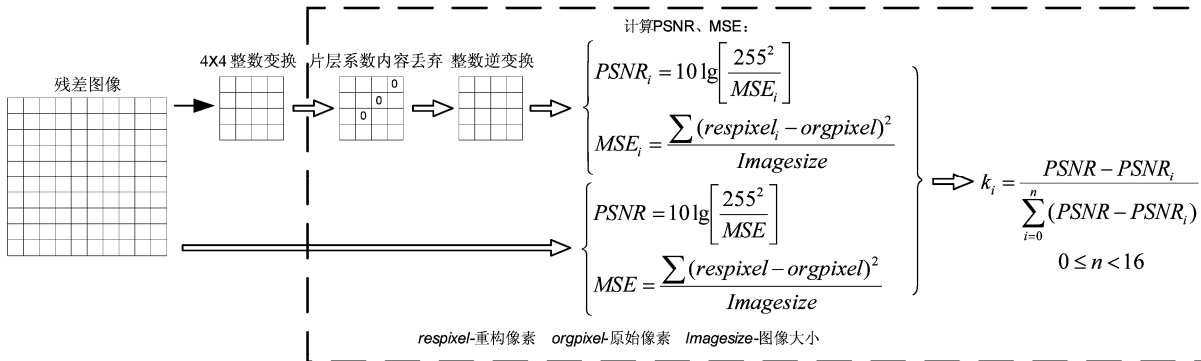


图 2 各片层质量百分比计算过程

Fig. 2 Process of slice quality percentage calculation

通过图 2 可计算出片层质量百分比矢量  $K$  中各片层所占质量百分比大小。其中  $PSNR$  为片层数据未丢失的重构图像质量表征,  $PSNR_i$  为丢弃了片层  $i$  数据后重构图像质量表征。

#### 2.2.2 构建 MGS 片层率失真模型

中粒度质量可伸缩 (*MGS*) 的 16 个变换系数可形成 1 到 16 个 *MGS* 片层,而不同系数分配方式及 *MGS* 片层数会导致编码比特数的不同。通过计算得到片层

所占质量增强层的质量百分比与其编码实际所需要的比特数,建立码率-质量百分比( $R$ - $RT$ )关系曲线(质量百分比为  $MGS$  片层带来的质量增益与所在的  $MGS$  堆栈带来的质量增益之比),构造  $MGS$  片层率失真模型,如图3所示:

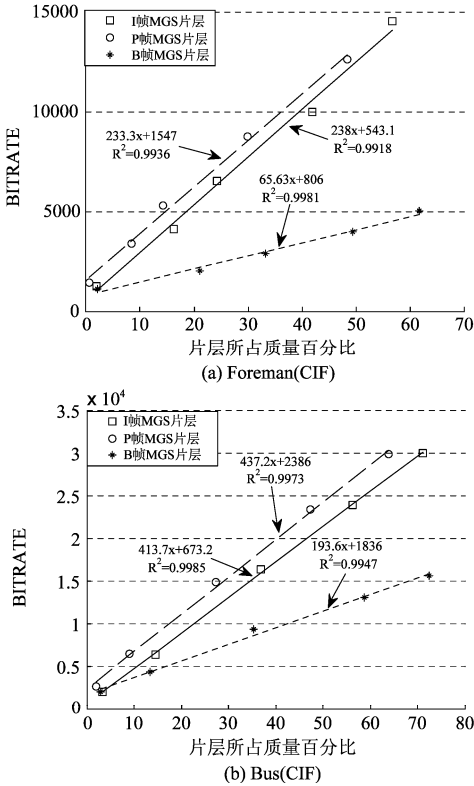


图3  $R$ - $RT$  率失真曲线

Fig. 3 Curve of  $R$ - $RT$  rate distortion

通过测试结果统计, $I, P, B$  帧类型中质量增强层  $MGS$  片层所占质量百分比与编码所需要的码率符合线性方程,三者相关性都很高,与实际产生的码率十分匹配,可以用简单的线性曲线拟合。因此对  $I, P, B$  帧分别建立对应的线性模型进行码率估计:

$$R_{MGS} = RT \times R + b \quad (1)$$

其中, $R$ 为质量增强层为  $CGS$  编码模式下的码率, $RT$

为  $MGS$  片层率失真系数, $b$ 为常数。

### 2.3 视频流码率估计

对于可伸缩编码的码率控制算法鲜有文献在这方面进行研究,由于  $QP$  能够很好的反映纹理和非纹理编码数据量信息<sup>[10]</sup>,通过构造  $R$ - $Q$  率失真模型来反映码率和量化参数之间的关系。根据统计测试分析, $I, P$  帧类型采用二次率失真模型, $B$  帧采用线性率失真模型进行码率估计<sup>[11]</sup>。

$$\begin{cases} R_{IP} = \left( \frac{c_1}{QP} + \frac{c_2}{QP^2} \right) \times MAD \\ R_B = \frac{c}{QP} \times MAD \end{cases} \quad (2)$$

本文提出对视频流码率估计分基本层编码,预编码以及后编码三大部分,具体如图4所示。

在上文所掌握的率失真模型特性前提下,视频流码估计实现包括以下3个步骤。

步骤1:对视频帧的基本层进行编码,获取基本层的码率  $R_B$  及各  $I, P$  帧基本层的  $MAD$ 。通过线性回归对各  $I, P$  帧基本层区域单元初始化二次率失真模型参数  $c_1$  和  $c_2$  以及  $B$  帧中各区域单元的基本层和增强层率失真模型参数  $c_b, c_e$ 。

步骤2:进行  $I, P$  帧的预编码,过程主要包括:

1. 质量增强层采取  $CGS$  编码方式,初始化各区域单元基本层和增强层中率失真模型参数  $c_1$  和  $c_2, c_3$  和  $c_4$  并确定比例参数  $k, p$  使得  $k = c_3/c_1, p = c_4/c_2$ 。对  $I, P$  帧构造  $MAD$  空间域预测模型关系<sup>[12]</sup>,由当前帧基本层的  $MAD_b$  来预测增强层  $MAD_e$ ,各帧基本层的  $MAD_b$  在基本层编码过程获得,增强层  $MAD_e$  在预编码过程中获得,然后通过线性回归方法初始化参数  $m, n$  和  $g, h$ 。

$$MAD_{ei} = m \times MAD_{bi} + n \quad (3)$$

$$MAD_{ep} = g \times MAD_{bp} + h$$

其中  $MAD_{bi}$  和  $MAD_{bp}$  为  $I, P$  帧基本层  $MAD, MAD_{ei}$  和  $MAD_{ep}$  为  $I, P$  帧增强层  $MAD$ 。

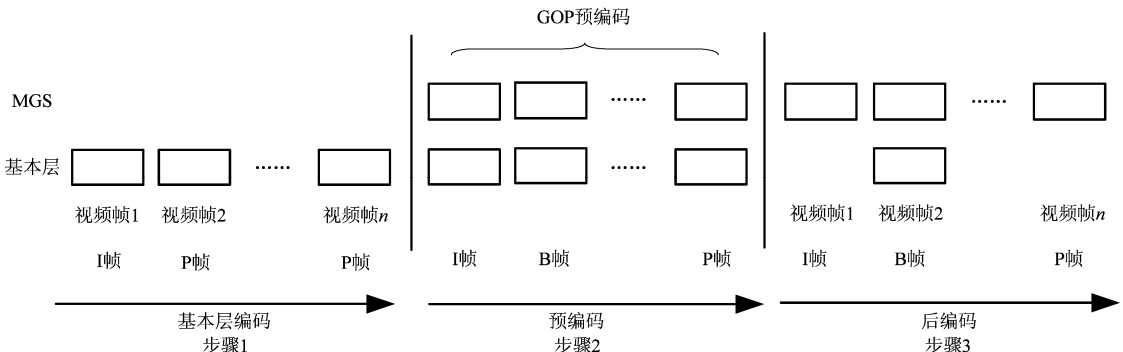


图4 视频流码率估计步骤示意图

Fig. 4 Scheme of video rate estimation

对于  $B$  帧,构造  $MAD$  时间域预测模型<sup>[12]</sup>:

$$MAD_b \approx (1/2^n) \times MAD_{bp-last} \quad (4)$$

$$MAD_e \approx (1/2^n) \times MAD_{ep-last}$$

其中  $n$  为时间等级,  $MAD_{bp-last}$  为对应  $GOP$  中相邻  $P$  帧基本层  $MAD$ ,  $MAD_{ep-last}$  为对应  $GOP$  中相邻  $P$  帧增强层  $MAD$ ,  $MAD_b$  和  $MAD_e$  分别为  $B$  帧基本层和增强层  $MAD$ 。

2. 初始化  $I, P, B$  帧的  $MGS$  片层率失真模型, 确定模型参数。

3. 根据编码参数获取  $I, P$  帧增强层编码数分别为  $u$  和  $v$ , 设存在时间等级为 1 的  $B$  帧质量等级为 0 编码数  $y$ , 存在质量增强层的帧编码数为  $h$ 。  $y, u, v, h$  值可以在编码配置文件中根据编码需求对编码帧数、 $GOP$  大小、 $I$  帧周期、编码模式及基本增强层帧率进行设置, 视频流码率  $R_{IPB}$  估计表达式如下:

$$R_{IPB} = R_{IP} + R_{Bbase} + R_{Benh} = R_{IP} + \sum_y \left[ \sum_s \frac{c_s^b}{QP_b} \times MAD_b \right] + \sum_h \left[ RT_b \times \sum_s \frac{c_s^e}{QP_e} \times MAD_e \right] + b \quad (5)$$

$$R_{IP} = R_B + R_E = R_B + \sum_u \left[ RT_i \times \sum_d \left( \frac{k_d^i c_{1d}^i}{QP_e} + \frac{p_d^i c_{2d}^i}{QP_e^2} \right) \times MAD_{eid} \right] + \sum_v \left[ RT_p \times \sum_q \left( \frac{k_q^p c_{1q}^p}{QP_e} + \frac{p_q^p c_{2q}^p}{QP_e^2} \right) \times MAD_{epq} \right] + b \quad (6)$$

其中  $R_{IP}$  为视频流  $I, P$  帧码率大小, 为  $I, P$  帧的基本层码率  $R_B$  和  $I, P$  帧的增强层码率  $R_E$  的叠加。  $c_{1d}^i, c_{2d}^i, c_{1q}^p$  及  $c_{2q}^p$  分别为各  $I$  帧区域单元  $d$  和  $P$  帧区域单元  $q$  的基本层二次率失真模型系数,  $k_d^i, p_d^i, k_q^p$  和  $p_q^p$  为  $I$  帧区域单元  $d$  和  $P$  帧区域单元  $q$  的比例参数, 用于预测当前帧增强层各区域单元的二次率失真模型参数。  $QP_b$  和  $QP_e$  分别为基本层和增强层的量化参数,  $RT_i$  和  $RT_p$  分别为  $I, P$  帧的  $MGS$  率失真模型系数,  $b$  为常数,  $d, q, s$  分别为  $I, P, B$  帧所分的区域单元个数。

步骤 3: 结合优化算法得到编码方案在后编码过程中对  $I, P$  帧质量增强层及  $B$  帧进行编码。

### 3 编码方案优化算法实现

#### 3.1 优化算法实现过程

编码优化算法在优化过程中需满足 3 个准则: 1 视频流编码目标码率为带宽码率上限; 2 带宽条件范围内具有细致灵活码率可伸缩特性; 3 片层分类方式符合用户在带宽条件范围内的分布情况;

由准则 1, 2 可得以下表达式:

$$\begin{cases} R_{MGS} = R_{top} \\ MAX[R_{bit}] \quad sb. R_{bottom} \leq R_{bit} = bitextrat(R_{MGS}) \leq R_{top} \end{cases} \quad (7)$$

其中  $R_{MGS}$  为  $MGS$  编码码率,  $R_{bottom}$  和  $R_{top}$  为目标带宽码率下限和上限,  $MAX[R_{bit}]$  为对  $R_{MGS}$  进行码流提取使得  $R_{bit}$  处于目标带宽码率区域, 并使得存在提取码率个数最大化。

1. 根据文章 2.3 节中预编码过程估计得到  $CGS$  编码方式的视频流码率, 若小于下限码率  $R_{bottom}$ , 采用  $CGS$  方式进行编码。

2. 若高于目标带宽码率下限, 在步骤 2 预编码估计过程中分别计算得到  $I, P$  帧的  $RT_i$  及  $RT_p$  使得  $R(Q=0) + R(I, P, Q \neq 0 \text{ 重要 } MGS \text{ 片层}) = R_{bottom}$ , 得到重要  $MGS$  片层数据编码方式。

3. 对剩余  $MGS$  片层进行合并, 估计当前  $MGS$  编码方式的码率, 若估计码率高于码率上限  $R_{top}$ , 采用当前  $MGS$  片层编码方式。若低于码率上限  $R_{top}$ , 根据已知的网络带宽统计特性得到用户分布统计, 计算区间内用户的分布函数  $F(x)$ , 并根据分布函数的大小作为片层质量百分比比例对剩余合并的  $MGS$  片层进行重要性分解,  $F(x)$  表达式如式 (8) 所示。

$$F(x) = P(R_{db} \leq X < R_{dt}) = \frac{\sum_{R_{db}}^{R_{dt}} X}{M} \quad (8)$$

其中  $\sum_{R_{db}}^{R_{dt}} X$  为带宽  $R_{db}$  至  $R_{dt}$  之间的用户数,  $M$  为带宽条件范围内总用户数。以网络带宽浮动范围条件为  $100Kbps-300Kbps$  ( $R_{bottom} = 100Kbps, R_{top} = 300Kbps$ ) 为例, 若区间  $100Kbps-200Kbps$  与  $200Kbps-300Kbps$  间用户数比为 2:1, 则对剩余合并的  $MGS$  片层  $B$  分解为  $C, D$  片层使得  $C, D$  所占质量百分比为 1:2, 使得带宽用户密集区域得到更细致灵活的码率可伸缩特性。

4. 剩余合并的  $MGS$  片层完全分解若仍未达到码率上限  $R_{top}$ , 根据区间分布函数的大小作为片层质量百分比比例对重要  $MGS$  片层进行分解, 达到码率上限  $R_{top}$  为止, 优化过程如图 5 所示。

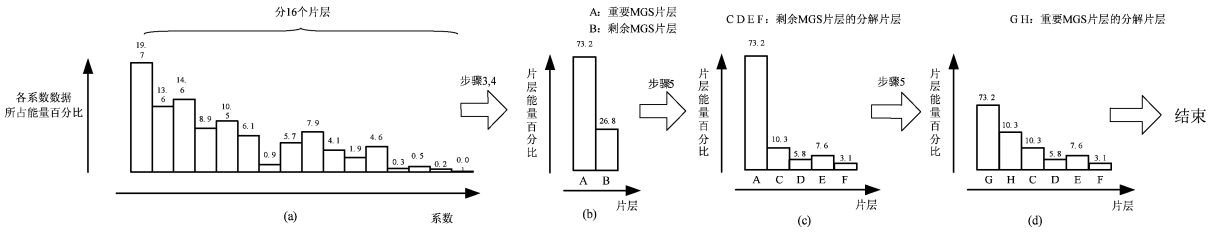


图5 编码方案优化过程示意图

Fig. 5 Scheme of encoding scheme optimization process

图5中,由2.2.1内容确定各系数片层数据质量百分比情况(a),根据步骤2,3将初始16片层划分为片层A与B,如(b)。在未达到目标码率上限情况下对片层B按分布函数的大小作为片层质量百分比比率分解(c),若片层B完全分解后仍未达到目标带宽上限,对片层A进行分解(d),直到满足达到目标带宽上限要求。

### 3.2 算法开销及计算复杂度分析

设视频流编码I,P,B帧数分别为N,M,P,编码I,P,B帧编码时间单元分别为n,m,p,则初始编码时间可计为 $O(N \times n + M \times m + P \times p)$ 。编码方案优化方法较初始编码方式增加了预编码过程,预编码过程中主要包括了码率估计和优化算法应用两个步骤。预编码过程中只对一个GOP的图像帧进行统计及编解码,而对GOP图像帧需进行两次编码。首次为各系数单独作为片层数据的16片层MGS编码,以计算各片层所占质量百分比,初始化率失真模型参数为目的,同时仍需进行一次CGS的编码。设预编码中GOP帧图像所包含的P,B帧数为D,T(若IPPP模式则 $T=0$ ,IBBP/IBPB模

式则 $D=I$ ),由于不必对质量基本层数据重复性的进行编码,因而质量增强层中CGS编码远较16片层MGS编码要小,因此编码时间可认为约 $O(I \times n + D \times m + T \times p)$ ,设解码每帧图像时间为u,则初始化MGS片层率失真模型参数需时间约为 $O((I+D+T) \times 16u)$ ,总的所需时间约为 $O((N+I) \times n + (M+D) \times m + (P+T) \times p + (I+D+T) \times 16u)$ 。由于统计数据及解码时间远较编码时间要小,因此编码方案优化方法较初始编码方式所需编码时间为同一数量级,约增加一个GOP的编码时间,在多编码帧的情况下,优化编码中预编码过程所需时间与整体编码所需时间之比很小。

## 4 实验研究与结果分析

为检验本文优化方法的正确性和有效性,采用ITU的视频质量专家组(VQEG)提供的标准测试序列作为数据源,在ITU-T标准提案ITU-T VCEG P206d0中定义了通用的SVC测试环境<sup>[13]</sup>,在编码环境平台JSVM9.18,及通用模拟信道测试平台上进行实验研究。

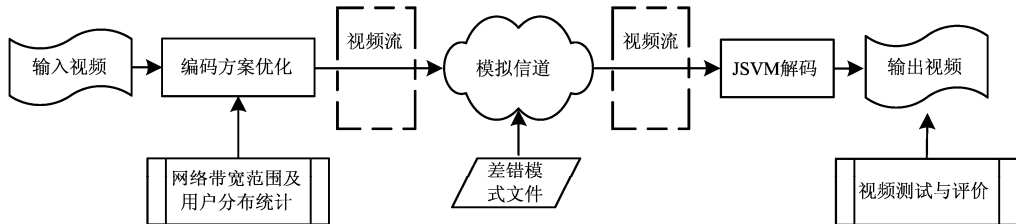


图6 实验研究平台

Fig. 6 Platform of experimental research

### 实验1 编码质量及可分级性能评估

实验条件:采用Foreman及Bus序列,序列采用CIF视频格式,帧率为30f/s,GOPSize为8,基本层量化参数为42,增强层量化参数为32,Foreman序列目标码率范围分别为500Kbps-600Kbps及1100Kbps-1350Kbps,码率范围内用户分布均服从均匀分布,Foreman序列MGS片层的初始设置为[2 3 2 1 2 6],优化后MGS的片层分配方案更新为[7 2 2 5]。Bus序列MGS片层的初始设置为[2 4 3 7],优化后MGS的片层分配方案更新为[8 1 3 4]。采用基本(Extract Basic)及率失真优化码流提取方式<sup>[14]</sup>(Extract QL)进行目标码率提取比较。

针对两组序列分别进行了两组实验,分析图7数据表明根据目标带宽范围所进行的编码方案优化,能够较初始编码方案提高编码序列质量。根据不同的测试序列以及码流提取方式,由图所示可达0.3-1dB不等的增益提高。

实验数据均表明优化后编码方案能够针对目标带宽范围内有着密集的质量可分级特性(如(a,b)测试中500Kbps-600Kbps及(c,d)测试中1100Kbps-1350Kbps区间范围),利于多客户不同带宽的具体要求。对于非客户所要求的带宽范围优化后编码方案则表现出较低的质量可分级特性,这有利于提高编码效率。

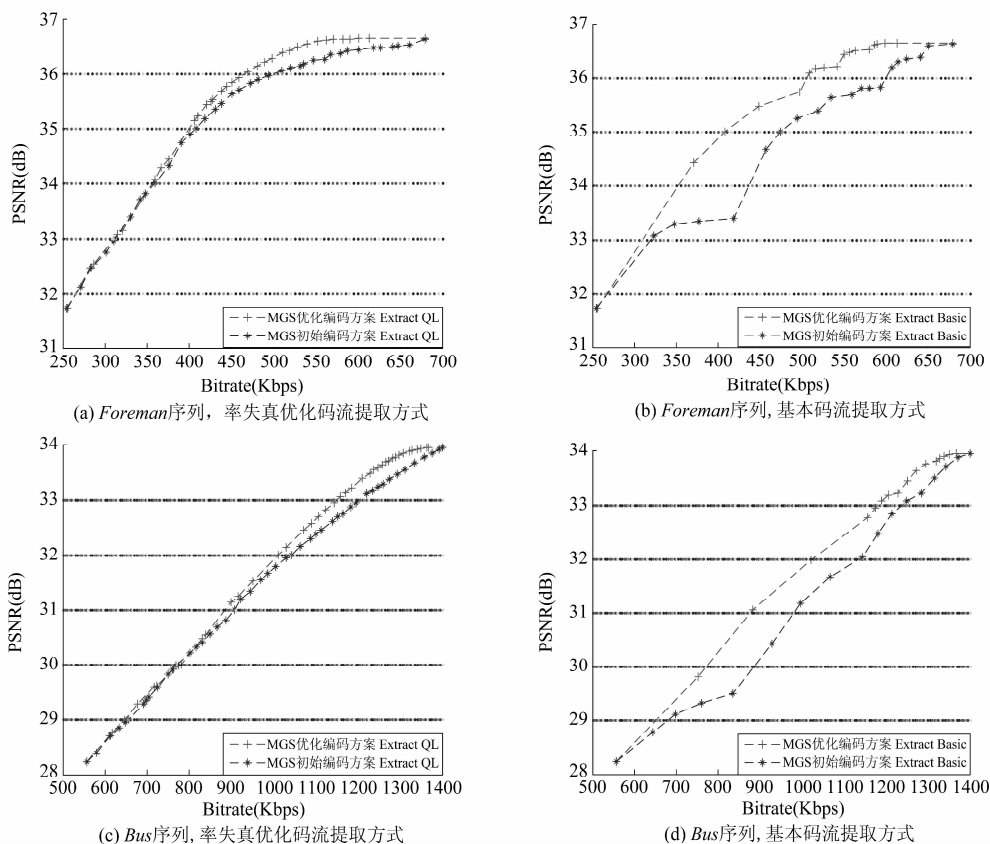


图 7 优化编码方案前后视频码流质量比较

Fig. 7 Video quality comparison between pre- and post-encoding scheme optimization

实验 2 编码时间复杂度测试

实验条件:采用 Bus 序列,序列采用 CIF 视频格式,帧率为 15f/s,GOPSize 为 8, Intra Period 为 16。目标码率范围为 1650Kbps-1900Kbps。基本层量化参数为 35,增强层量化参数为 25。MGS 片层的初始设置为 [2 6 3 5],优化后 MGS 的片层分配方案更新为 [8 1 3 4],编码帧数分别为 64 和 128 帧。电脑配置 Intel Core2 Duo CPU E7200 2.53GHz,1.6GHz,2G 内存。

间较优化前所需编码时间增长不多,特别是在编码帧数多的情况下,两者编码时间差距较整体编码时间比例更小。

实验 3 通过模拟信道效果测试

在测试过程中,进行了基本层数据和增强层数据分离,分别通过低差错率和高差错率信道进行模拟。由于基本层数据包的丢失或误码会对视频解码带来严重影响,在不讨论差错隐藏、控制的前提下,对质量增强层进行信道误码丢包测试。

实验条件:以实验 1 中 Foreman 及 Bus 序列编码方案优化前后数据进行测试,带宽限制分别为 550Kbps 和 1200Kbps。信道通用实验测试平台采用 Wcdma 模拟信道测试环境。

本测试验证了本文编码优化方法能够在应用于信道传输后仍能够带来质量增益的提高。图 9 及表 1 给出了在用户带宽条件下通过码流提取,模拟信道传输后接收端视频流解码质量比较。数据测试显示编码方案优化后视频流数据在经过信道的误码丢包,整体性能依然能够得到提高,而只有少数帧的解码质量由于码流提取及数据包的丢失较优化前低。

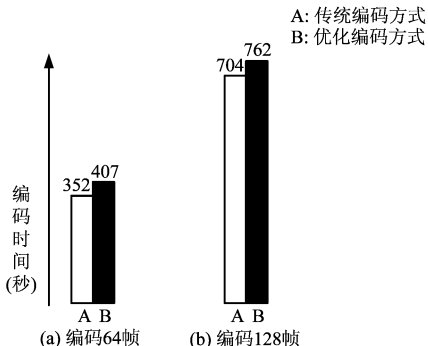


图 8 编码时间比较

Fig. 8 Comparison of encoding time-consuming

由编码时间测试结果可见,方案优化后的编码时

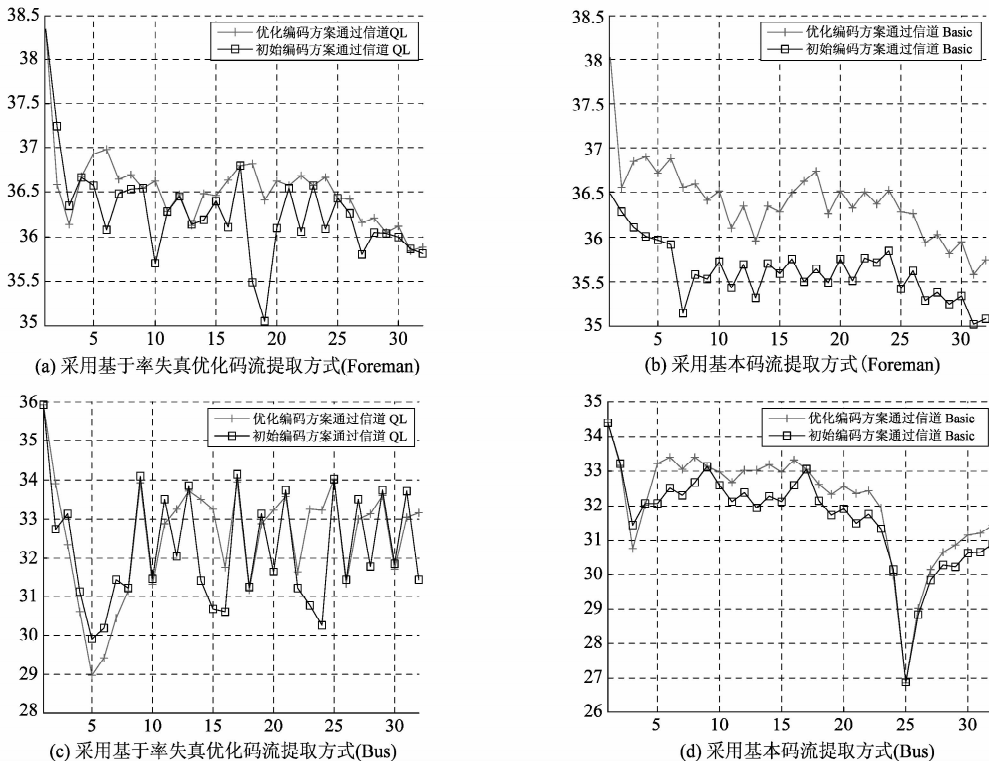


图9 接收端视频码流质量比较

Fig. 9 Video quality comparison in receiver

表格1 接收端视频码流质量统计

Tab. 1 Statistic of video quality in receiver

测试序列	序列 PSNR 均值 (dB)	优化前	优化后
Foreman	率失真优化码流提取方式	36.2817	36.5265
	基本码流提取方式	35.618	36.402
Bus	率失真优化码流提取方式	32.215	32.5711
	基本码流提取方式	31.6082	32.0623

## 5 总结

本文以视频流媒体为研究对象,为了解决网络带宽在一定范围变化且多用户访问情况下的视频编码优化问题,提出了一种低复杂度的可伸缩视频流媒体编码方案优化方法。首先分析 MGS 片层率失真模型,建立码率与其所占质量百分比间的率失真关系,结合  $I, P, B$  帧的率失真特性估计出视频流码率;然后结合优化算法推导出合理编码方式;最后对计算时间复杂度进行了分析说明。分析结果及实验测试均表明本文提出的优化方法能够在较低的计算时间复杂度条件下获得更好的带宽区域视频编解码性能,具有着极强的应用价值。

## 参考文献

- [1] Heiko Schwarz, Detlev Marpe, Thomas Wiegand. Overview of the Scalable Extension of the H. 264/MPEG-4 AVC Video Coding Standard [J]. IEEE Trans. Circuits and Syst. Video Technol, 2007, 17(9): 1174-1185.
- [2] WIEN M, SCHWARZ H, OELBAUM T. Performance analysis of SVC[J]. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol, 2007, 17(9): 1194-1203.
- [3] ISO-IEC/JTCL/SC29/WG11/N3908. MPEG-4 Video Verification Model[S], Jan 2001.
- [4] Z Li, F Pan, K P Lim. Adaptive Basic Unit Layer Rate Control for WT, JVT-G012-rl, Joint Video Team of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG 8th Meeting; Geneva, May 20-26, 2003.
- [5] Proposed draft of adaptive rate control, Joint Video Team of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG 8th Meeting; Geneva, May 20-26, 2003 Document; JVT-H017. doc.
- [6] Hung-Chih Lin, Wen-Hsiao Peng, and Hsueh-Ming Hang. Fast Context-Adaptive Mode Decision Algorithm for Scalable Video Coding With Combined Coarse-Grain Quality Scalability (CGS) and Temporal Scalability [J]. IEEE

- Trans. Circuits and Syst. Video Technol, 2010, 20(5): 732-748.
- [7] JY Liu, YG Cho, ZM Guo, C.-C. Jay Kuo. Bit Allocation for Spatial Scalability Coding of H.264/SVC with Dependent Rate-Distortion Analysis. IEEE Trans. Circuits and Syst. Video Technol, 2010, 20(7): 967-981.
- [8] 汪大勇, 孙世新. 可伸缩视频编码研究现状综述[J]. 电子测量与仪器学报, 2009, (8): 78-84.  
DY Wang, SX Sun. Summary of Research on Scalable Video Coding[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2009, (8): 78-84. (in Chinese)
- [9] Edmund Y. Lam, Joseph W. Goodman. A Mathematical Analysis of the DCT Coefficient Distributions for Images[J]. IEEE Trans. Image Processing, 2000, 9(10): 1661-1666.
- [10] Y Liu, G. G Zheng, Yeng Chai Soh. A Novel Rate Control Scheme for Low Delay Video Communication of H.264/AVC Standard. IEEE Trans. Circuits and Syst. Video Technol, 2007, 17(1): 68-78.
- [11] 徐龙, 高文, 季向阳. 一种面向 SVC 的码率控制算法. 计算机学报, 2008, 31(7): 1175-1184.  
L Xu, W Gao, XY Ji. A Rate Control Algorithm for Scalable Video Coding. Chinese Journal of Computers, 2008, 31(7): 1175-1184. (in Chinese)
- [12] Liu Y, G. G Zheng, Yeng Chai Soh. Rate Control of H.264/AVC Scalable Extension[J]. IEEE Trans. Circuits and Syst. Video Technol, 2008, 18(1): 116-121.
- [13] S. Wenger, Y. K. Wang, T. Schierl, A. Eleftheriadis. RTP Payload Format for SVC Video[S]. IETF Internet Draft draft-ietf-avt-rtp-svc-06, 2010: 47-95.
- [14] Isabelle Amonou, Nathalie Cammas, Sylvain Kervadec. Optimized Rate-Distortion Extraction With Quality Layers in the Scalable Extension of H.264/AVC[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2007. 17(9): 116-121.

### 作者简介

陈旭(1984-),男,深圳大学信息工程学院博士生,研究方向:自适应视频编码 可伸缩视频编码。

E-mail: chenxu\_email@163.com

张基宏(1964-),男,1992年于东南大学获工学博士学位,现为深圳信息职业技术学院院长,教授,深圳大学博士生导师,研究方向:智能信息处理。

柳伟(1973-),男,2005年于国防科学技术大学获工学博士学位,深圳信息职业技术学院高级工程师,研究方向:图像处理,视频编解码,多媒体数据库系统。

梁永生(1971-),男,1999年于哈尔滨工业大学获工学博士学位,深圳信息职业技术学院教授,研究方向:计算机网络与数据通信,信号处理与模式识别。

冯纪强(1979-),男,深圳大学信息工程学院博士生,研究方向:智能信息处理。