

## H.264 中一种基于 R-Q 模型的自适应码率控制算法研究

郑新资, 骆冰清, 孙知信

(南京邮电大学 宽带无线通信与传感网技术教育部重点实验室, 江苏 南京 210003)

**摘要:** 提出一种新的基于帧复杂度的二级码率控制算法 (TSRCA, two-stage rate control algorithm)。总结码率控制算法的最新研究成果, 分析码率控制基本原理, 继而提出一种二级码率控制算法, 以解决“蛋鸡悖论”。其次, 用 RDO 模式选择中的比特数信息代替平均绝对残差 (MAD, mean absolute difference) 来预测帧的复杂度, 提高了预测的准确度。所提出的码率控制算法能够显著提高码率控制精度和编码性能。

**关键词:** H.264; 码率控制; 帧复杂度

中图分类号: TP339

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2012)12-0035-08

## Research on adaptive rate control algorithm for H.264 based on R-Q model

ZHENG Xin-zi, LUO Bing-qing, SUN Zhi-xin

(College of Internet of Things, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** The foundation theory of rate control theory in H.264 video coding standard was analyzed. The latest research work about rate control algorithm were summarized. On the basis of analysis. A novel frame-level rate control algorithm was proposed. Firstly, in order to reduce the inter-dependency between RDO (rate-distortion optimization) and rate control, a kind of two-stage rate control algorithm was presented. Secondly, to provide more accurate prediction of the frame complexity, instead of the MAD (mean absolute difference), bits information in the RDO-based mode decision process was employed to predict the frame complexity. Thirdly, a self-adaptive exponential R-Q model was proposed. The proposed rate control algorithm overcomes the disadvantages in the rate control precision and encoding performance of former algorithms.

**Key words:** H.264; rate control; frame complexity

### 1 引言

码率控制能够实现输出码流处于传输信道实际带宽的限制内, 同时最大限度地优化解码图像质量, 已经成为视频编码中的一项重要技术<sup>[1]</sup>。通常情况下, 视频编码前后的信息量是会发生变化的, 这就需要在信道和编码器之间增加一个缓冲区, 来提高编码后的码流速率与通信信道速率的匹配度。

在尽可能保证视频传输过程不失真的前提下, 再通过码率控制来克服码流速度和缓冲区大小之间的矛盾, 防止缓冲区发生上溢或者下溢, 并满足时延要求<sup>[2]</sup>。因此码率控制算法的优劣对视频编码性能的影响是不言而喻的。

目前, 码率控制方面的研究已经成为视频压缩和传输领域的重点和热点。其中, 具有代表性的有 MPEG-2 的 TM5<sup>[3]</sup> 码率控制算法、H.263 的 TMN8<sup>[4]</sup>

收稿日期: 2011-04-18; 修回日期: 2012-02-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60973140, 61170276); 江苏省高校自然科学研究重大项目基金资助项目 (12KJA520003)

**Foundation Items:** The National Natural Science Foundation of China (60973140, 61170276); The Major Program of the Colleges and Universities Natural Science Foundation of Jiangsu (12KJA520003)

的码率控制算法、MPEG-4 的 VM8 和 VM18<sup>[5]</sup>的码率控制算法、基于  $r$ -domain 模型<sup>[6]</sup>的码率控制算法, 以及最新国际标准 H.264 参考软件中的码率控制算法和其他改进的码率控制算法。

H.264 引入了 RDO (rate-distortion optimization, 率失真优化) 技术, 以增加的计算复杂度来换取更高的编码效率, 是目前最新一代的视频编码标准。但以往经典的码率控制算法却不能直接应用其中, 这是由于量化参数  $QP$  在同时用于码率控制算法和 RDO 时会产生经典的蛋鸡悖论问题。H.264/AVC 码率控制算法 JVT-G012<sup>[7]</sup>中采用的 MPEG-4 Q2 码率模型, 其参数能够实时更新, 预测误差较小, 并能够利用线性 MAD 模型解决蛋鸡悖论问题。

许多码率控制算法都对 H.264/AVC 蛋鸡悖论问题束手无策, 如 TM5、TMN8、VM18 以及基于  $r$ -域 RDO 模型的码率控制算法。目前主流的算法有以下 2 种: 1) 中国科学院计算所的马思伟等提出的类似 TM5, 基于 Buffer 控制的比特分配和量化参数控制算法<sup>[8]</sup>; 2) 以 MPEG-4 的 VM18 码率控制经验为指导, 采用了基于 Buffer 控制和二项式 RQ (rate quantization) 模型的控制算法<sup>[7]</sup>。除此以外, 中国科学院计算所的 Yuan W 等在 JVT-G012 算法的基础上提出了一种 JVT-VM18 的改进算法 JVT-O016, 最新提案的 JVT-O016 着眼于视频序列的时间和空间相关性, 在目标比特分配和二次 R-D 模型方面取得了一定的突破<sup>[9]</sup>。文献[10]在文献[7]的基础上提出了改进的二次码率控制模型, 其主观评价试验结果明显优于 JVT-O016 和经典 JVT-G012。

文献[11]提出一种自适应帧与量化参数的选择策略。即在一定失真范围许可的条件下, 对一个充分暴露的视频帧, 利用标准的 H.264 工具, 适时选择恰当的量化参数对帧进行实时编码。实验结果显示, 在同比特率下采用该策略的视频输出比未使用该策略的输出提高了 1.3dB。由于提出该策略的初衷是要解决部分光线不足场景中所拍摄视频的压缩编码问题, 并且实验的前提条件——一定的失真范围缺乏定量方法, 因此该策略有一定的局限性。

文献[12]提出的做法为根据当前编码帧和已编码帧的绝对平均传输方差参数来对帧层剩余比特分配进行调整。具体为: 利用该参数计算帧与宏块的剩余复杂度, 再根据剩余帧的比特复杂度分析来分配剩余帧比特。在场景切换等情形导致数据处理效率下降时, 可通过引入低复杂度的 MB 平均绝对

残差来提高 MAD 的预测效率<sup>[13]</sup>; 也可以通过估计帧复杂度来改进 MAD 的复杂度计算<sup>[14]</sup>。

文献[15~21]中提出的码率控制算法关注的是如何计算基于目标纹理比特数的量化参数, 其中宏块模式、参考帧数及运动矢量等头部数据几乎是一个常数, 占总比特数的一小部分。文献[22]提出一种改进的码率控制机制, 其具有更高的缓冲水平和目标纹理检测精度, 在改进模型参数的估计精度的同时也存在一些不足: 在分配帧层的目标比特数时忽略了对图像复杂度的影响; 初始  $QP$  值选择方法稍显粗略, 只简单的平均分配了 GOP 层剩余可分配的比特数; 通过大量的预测信息对所有未编码的基本单元的 MAD 值进行线性预测, 继而来分配每个基本单元的目标比特数, 这样的做法不仅计算量大, 而且准确度低。

现有算法仍存在一些缺点, 如: 未对场景切换进行检测与处理; 不同帧之间的图像复杂度存在差异; 将剩余比特数平均分配给 GOP 中未编码的 P 帧等<sup>[23]</sup>。

文献[7]和文献[24]均提出了码率控制中的“蛋鸡悖论”: 要计算当前帧中宏块的 RDO, 需利用当前帧或宏块的 MAD (mean average difference, 平均差值) 来预测每个宏块的  $QP$ ; 但是只有在 RDO 后才能计算出每个当前帧或宏块的 MAD。为了解决二者之间的相互依赖问题, 笔者提出一种基于帧复杂度的二级码率控制算法 (TSRCA, two-stage rate control algorithm): 在第一级, 预定义的  $QP$  值为  $QP_1$ , 该值可以应用到 RDO 过程中每一帧的所有宏块。在第二级, 另一个  $QP$  值定义为  $QP_2$ , 用于计算量化产生的目标比特数。与此同时, 笔者提出了计算帧复杂度的新方法, 即不用 MAD, 而采用基于 RDO 模式选择中的比特数信息代之, 预测帧的复杂度。最后, 提出一种自适应指数 R-Q 模型。实验结果表明, 与原有算法相比, 本文提出的码率控制算法能够显著提高码率控制精度和编码性能。

## 2 基于帧复杂度的二级码率控制算法 TSRCA

本节笔者将会详细介绍此种基于帧复杂度的二级码率控制算法 TSRCA。该算法主要 5 个方面进行改进, 即码率控制方案的选择、帧复杂度计算、R-Q 模型、模型参数更新以及算法描述。

### 2.1 二级码率控制方案的选择

一般而言，解决“蛋鸡悖论”的思维方向就是设计一个改进的算法模型。正如文献[25]中提出了一种具有 2 个  $QP$  的码率控制算法，分别用于模式选择和量化过程。从理论上讲，只有这 2 个  $QP$  相等，才能达到 RDO。但分析发现，这 2 个  $QP$  值之间较小的差值并不会显著降低编码效率。

笔者正是在此启发下提出了一种二级码率控制方案：在第一级，预定义的  $QP$  值为  $QP_1$ ，该值可以应用到 RDO 过程中每一帧的所有宏块。在第二级，另一个  $QP$  值定义为  $QP_2$ ，用于计算量化产生的目标比特数。在编码一个序列中的第  $i$  帧之前，由  $QP_2$  确定  $QP_1(i)$ 。具体值如式(1)所示

$$QP_1(i) = j_q QP_2(i-1) + (1-j_q)QP_1(i-1) \quad (1)$$

其中， $j_q$  为参数加权值，经过分析大量实验数据的结果，取值 0.7。第二级的  $QP_2$  由本文提出的新的 R-Q 模型求得，该模型将在 2.3 节给出。

### 2.2 帧复杂度计算

由于不同帧具有不同的内容，因此即使采用相同的  $QP$  值来对所有帧进行编码，产生的输出比特数也会不同。在非规范性视频编码标准的码率控制算法中，为了建立更加准确的 R-Q 模型，帧的复杂度通常用残差信号的 MAD 值来表示。经典的 R-Q 模型如下

$$R(Q_i) = MAD_i \times \left( \frac{a_i}{Q_i} + \frac{b_i}{Q_i^2} \right)$$

其中， $a_i$ ， $b_i$  为当前帧的模型参数， $Q_i$  为当前帧的量化步长。在已编码帧信息中，平均量化步长和总编码码率是已知的。由此，可使用线性回归方法，计算出  $a_i$ ， $b_i$ 。

此经典模型中，MAD 被用于构建帧复杂度和输出比特数的线性关系模型。而 MAD 的预测精确度欠缺将会导致实际码率与目标码率之间存在较大的出入，因此降低了 R-Q 模型的准确性。

为了克服这一经典模型的缺点，笔者提出了计算帧复杂度的新方法，即不用 MAD，而采用基于 RDO 模式选择中的比特数信息取而代之。因为在模式选择阶段，将会估计出每个宏块的输出比特数的近似值，这些值都是可用的。用  $m_{hdr}(i)$  和  $m_{tte}(i)$  分别表示在模式选择过程中编码第  $i$  个宏块的头比特数与纹理比特数，则相应的帧复杂度

定义如下

$$FC = FC_{hdr} + FC_{tte}$$

其中，头复杂度  $FC_{hdr}$  和纹理复杂度  $FC_{tte}$  定义如下

$$FC_{hdr} = \sum_{i=1}^N m_{hdr}(i), \quad FC_{tte} = \sum_{i=1}^N m_{tte}(i)$$

其中， $N$  为当前帧内宏块的个数。

其次，根据帧复杂度  $FC$ ，可计算出量化参数  $QP_2$ ，以进一步计算随后量化过程的实际输出比特数。为了验证提出的帧复杂度  $FC$  的有效性，对  $FC$  与实际输出比特数的关系进行测试，实验结果如图 1、图 2 所示。从图中可知，帧复杂度与实际输出码率存在准线性关系，因此得出结论，在预测帧复杂度的准确性方面，帧复杂度优于 MAD。

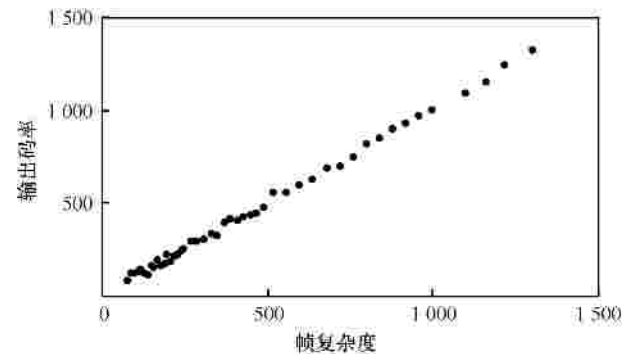


图 1 帧复杂度与输出码率关系 (“Football” 序列，QCIF 格式， $QP_1 = QP_2 = 28$ )

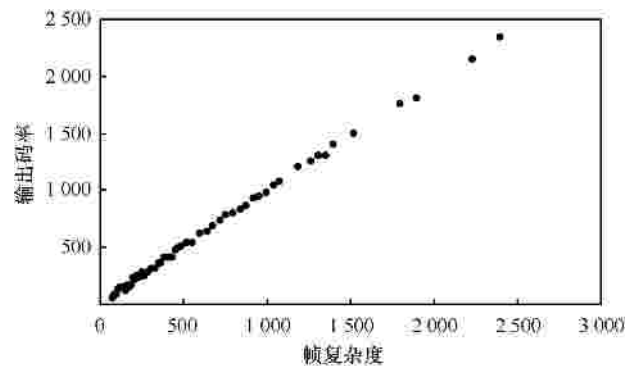


图 2 帧复杂度与输出码率关系 (“Foreman” 序列，QCIF 格式， $QP_1 = QP_2 = 28$ )

### 2.3 新的 R-Q 模型

由于采用二维 DCT 变换能够减少空间冗余。因此，DCT 系数的概率分布直接影响到能否成功构建一个合理 R-Q 模型。许多分布模型被提出用以构建 DCT 系数的实际分布模型，其中，文献[26]提出的柯西分布模型比其他模型更精确。基于 R-Q

模型的柯西分布模型表示如下

$$R_{tte} = a Q_{step}^{-b}$$

其中,  $a$  为复杂度的相关参数, 在编码过程中不断更新;  $b$  为与 DCT 系数分布特点相关的模型参数, 其根据不同的帧类型而局限于某个常数集, 如 I 帧可取 {0.6,0.7,0.8}, P 帧可取{1.1,1.3,1.5}, B 帧可取{1.5,1.7,1.9}。

在执行本文提出的 TSRCA 算法的第一级之后, 可根据纹理复杂度得出参数  $a$  的值

$$a = FC_{tte} Q_{step1}^b$$

其中,  $Q_{step1}$  是对应第一级中量化参数  $QP_1$  的量化步长。

因此, 与  $Q_{step2}$  (对应第二级中量化参数  $QP_2$  的量化步长) 相关的纹理比特模型可表示为

$$R_{tte}(Q_{step2}) = FC_{tte} Q_{step1}^b Q_{step2}^{-b} \quad (2)$$

头比特在第一级中由  $QP_1$  决定, 其数量主要来自于运动矢量、模式类型等。因而它几乎不会受到  $QP_2$  的影响, 如图 3 所示。

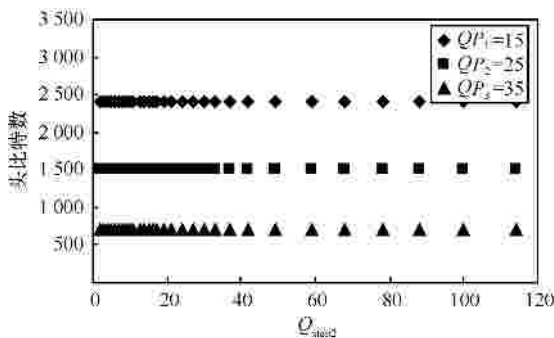


图 3 头比特数与  $Q_{step2}$  的关系  
(当  $QP_1$  取 15, 25, 35,  $QP_2$  取值范围为 (15, 45))

因此, 帧所有的比特数可用式 (3) 所示

$$R(Q_{step2}) = FC_{tte} Q_{step1}^b Q_{step2}^{-b} + FC_{hdr} \quad (3)$$

其中,  $R$  为当前帧的目标比特数。

不同于 MAD, 该模型用  $C_{tte}$  来表示 R-Q 模型的帧复杂度。图 4 显示了当  $b$  取不同值时, 经由该模型预测的比特数和实际输出的比特数之间的关系。由图 4 可知,  $b$  的取值显著影响着该模型的精确性。在  $Q_{step}$  的一个范围之内, 当选取了一个恰当的  $b$  时, 预测的比特数与实际的比特数非常接近。

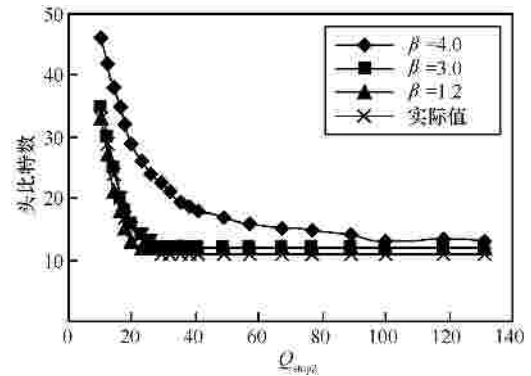


图 4 R-Q 模型实际值与预测值比较  
( $b$  分别取值 1.2 3.0 4.0,  $QP_2$  取值范围为: (25, 46))

### 2.4 模型参数的更新

在 R-D 模型式(2)中,  $b$  通常为一个预定义的常数。但是, 无论所处的序列相同与否, 不同帧的实际 DCT 系数的分布是截然不同的。由于  $b$  值的至关重要性, 在编码过程中必须根据帧的特点来更新值。在编完第  $i$  帧之后, 当前帧的实际  $b$  值可由式(2)求得, 结果如式(4)所示

$$\hat{b}(i) = \frac{\ln(R_{tte}(i) / FC_{tte}(i))}{\ln(Q_{step1}(i) / Q_{step2}(i))} \quad (4)$$

其中,  $R_{tte}(i)$  表示第  $i$  帧的实际纹理比特输出数。

由于相邻帧之间相关性较高, 可以假定相邻帧的  $b$  值是近似的。因此, 在编完第  $i$  帧之后更新  $b$ , 预测第  $(i+1)$  帧的  $b$  值, 如式(5)所示

$$b(i+1) = j_b b(i) + (1-j_b) \hat{b}(i) \quad (5)$$

其中,  $b(i)$  为第  $i$  帧的预测值;  $j_b$  为加权系数, 本文取标准值 0.7。

### 2.5 TSRCA 算法描述

基于以上分析, 基于帧复杂度的二级码率控制算法 TSRCA 的步骤如下。

第一级:

Step1 根据式(1)计算  $QP_1$ ;

Step2 将 Step1 计算的  $QP_1$  应用于当前帧所有宏块的模式选择过程中;

Step3 记录  $FC_{tte}$  和  $FC_{hdr}$ ;

Step4 根据式(4)预测模型参数  $b$ ;

第二级:

Step5 根据 2.3 节提出的基于目标比特数的 R-Q 模型, 计算  $QP_2$  的值;

Step6 将  $QP_2$  的值裁剪在以下范围内。

$$QP_2 = \max\{QP_1 - 3, \min\{QP_1 + 3, QP_2\}\};$$

Step7 将  $QP_2$  应用于当前帧所有宏块的量化

过程中。记录实际纹理比特输出数  $R_{tte}$ ，并根据式(5)更新  $b$  的值；

**Step8** 结束当前帧的编码，接着编下一帧。

### 3 实验仿真

#### 3.1 实验环境

目前，H.264/AVC 较为常见的开源编解码器有以下 3 种：JM(joint model)、X264、T264。JM 也称为校验模型，它作为 H.264/AVC 国际标准的官方测试软件，于 2002 年 2 月开始由德国 Heinrich-Hertz- Institute(HHI)研究所开发研究<sup>[27]</sup>。如文献[27]和文献[28]，目前学术研究的新算法都是在 JM 上实现，并与 JM 标准算法进行比较的。目前 JM 最新版本为 JM17.2，本文采用的版本是 JM14.2<sup>[29]</sup>。JM 开发初衷是为了实现 H.264/AVC 的所有技术，它实现了 H.264/AVC 的 3 个档次(基本、主要和扩展档次)的各个功能，编码性能提高了，结果使得整个校验模型结构复杂、程序冗长，从而导致编码复杂度高、实用性差。

实验采用 JM14.2 对标准测试序列进行编码，并用改进的码率控制算法代替原码率控制算法，其他编码条件相同。测试序列为：Foreman、Silent、Bus、Football、Bridge、Suize，格式为 1PBPB...。输入的帧率是 30frame/s，编码后帧率是 15frame/s，第一个 I 帧的 QP 为 30。表 1 给出了其他的主要实验参数设置。

表 1 实验参数设置

参数	参数设置
测试平台	JM14.2
GOP 结构	IPPP
Hadamard 变换	on
率失真优化	on
编码帧数	100
搜索范围	16
熵编码模式	CAVLC
参考帧数目	4
运动估计搜索范围	-16~+16
运动估计精度	1/4 pixel
帧率	30frame/s

在信道带宽的限制下控制输出码流的大小是码率控制算法首先要解决的问题，其控制性能评价方法主要是从编码图像的质量和输出码率的精确度 2 个方面进行<sup>[23]</sup>。前者可以根据亮度分量的峰值信噪比 (PSNR, peak signal-to-noise ratio) 来评估；后者可以利用码率预测误差方法进行评估，即

$$\text{码率预测误差} = \frac{(|\text{实际输出码率} - \text{目标码率}|)}{\text{目标码率}} \times 100\%$$

本文以下章节将分别从码率估计算法的主、客观质量评价这 2 个方面进行详细的测试分析。

#### 3.2 仿真结果及分析

##### 1) 主观质量评价

图 5 显示的是在相同条件下，JM14.2 算法与本文算法编码 stefan\_cif 序列的重构图像主观质量对比图，其中，图 5(a)、图 5(b)分别为采用 JM14.2 中的码率控制算法编码重构 stefan\_cif 序列的第 22、77 帧的图像，图 5(c)、图 5(d)为使用本文算法编码重构的图像。

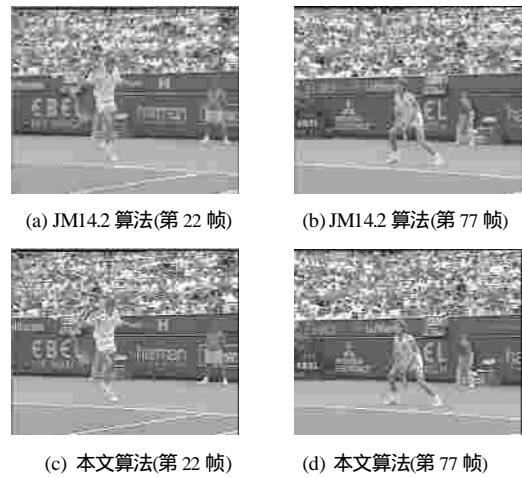


图 5 stefan\_cif 序列第 22、77 帧主观质量对比

图 6 显示的是在相同条件下，采用 JM14.2 算法与本文算法编码 flower\_cif 序列的重构图像的主观质量对比图，其中图 6(a)、图 6(b)分别为采用 JM14.2 中的码率控制算法对 flower\_cif 序列的第 45、216 帧进行编码重构后的图像，图 6(c)、图 6(d)为使用本文算法编码重构的图像。

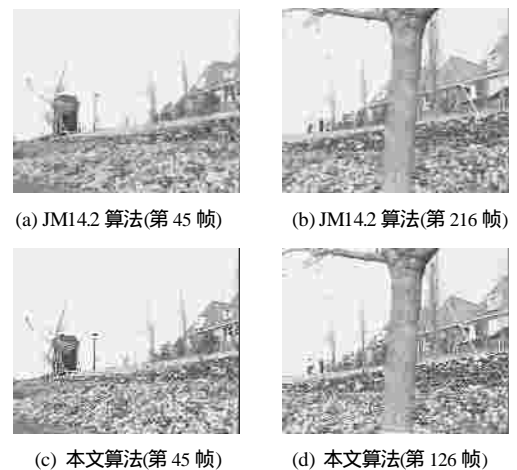


图 6 flower\_cif 序列第 45、216 帧主观质量对比

从图 5、图 6 不难看出，使用本文算法编码重构的图像更清晰，视觉效果更好。

2) 客观质量评价

图 7 显示了在目标比特率为 45kbit/s 的情况下，Monitor 的 JM14.2 码率控制算法与本文算法 TSRCA 的图像编码质量对比；图 8 显示了码率误差对比。实验结果显示，JM14.2 算法获得的实际比特率为 46.55，平均亮度分量 PSNR 为 37.89；改进算法获得的实际比特率为 46.32，平均亮度分量 PSNR 为 38.03。

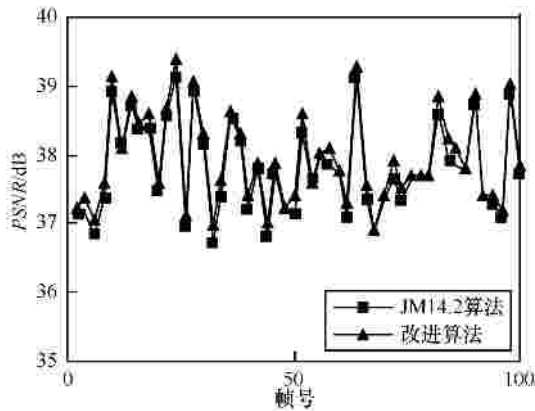


图 7 Monitor 序列 PSNR 比较 (目标比特率为 45kbit/s)

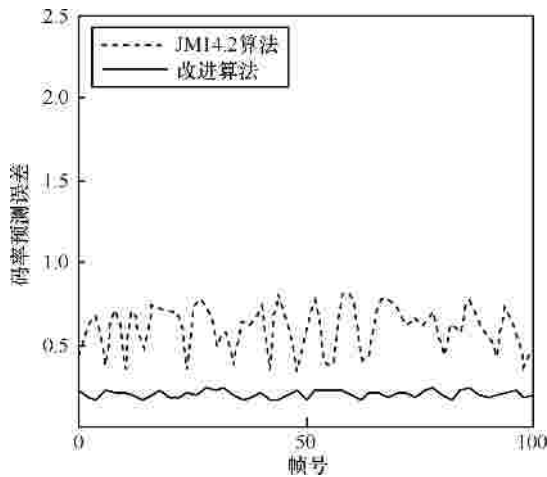


图 8 Monitor 序列码率误差比较 (目标比特率为 45kbit/s)

将实验条件更改为目标比特率 35kbit/s，进行相同的实验，可获得图 9 和图 10。实验结果为：JM14.2 算法获得的实际比特率为 36.67，平均亮度分量 PSNR 为 39.49；改进算法获得的实际比特率为 35.81，平均亮度分量 PSNR 为 40.23。

从图 7~图 10 可以看出，与 JM14.2 算法相比，笔者提出的码率控制算法能够显著改善图像质量和码率控制精确度。

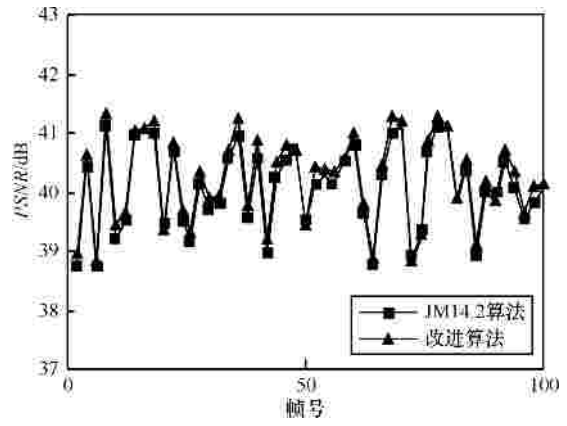


图 9 Monitor 序列 PSNR 比较 (目标比特率为 35kbit/s)

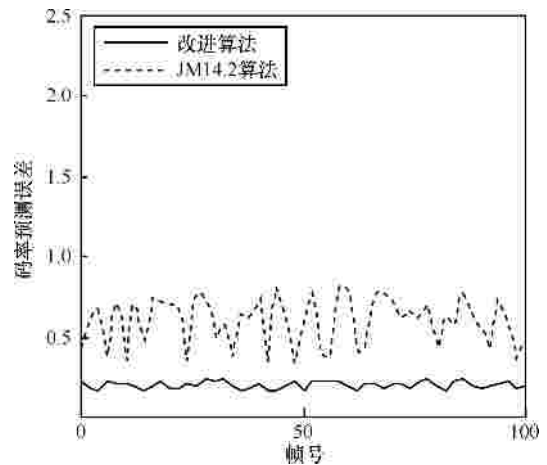


图 10 Monitor 序列码率误差比较 (目标比特率为 35kbit/s)

接着比较 Foreman、Carphone 和 News 3 个 QCIF 序列的编码时间和误差平方和，实验结果如表 2 所示。

表 2 预测误差及复杂度比较

测试序列	编码算法	编码时间/s	误差平方和
Foreman	JM14.2 算法	435.124	26.27
	本文算法	424.326	25.21
Carphone	JM14.2 算法	428.391	22.43
	本文算法	309.592	22.29
News	JM14.2 算法	435.791	61.53
	本文算法	421.347	59.68

从表 2 可以得出结论，相对于 JM14.2 中的码率控制算法，应用本文提出的码率控制算法，3 个序列的预测精度都有不同程度的提高，计算复杂度降低，编码时间明显缩短。

接着进一步比较 Foreman、Silent、Bus、Football、Bridge、Suzie 的峰值信噪比，表 3 给出了测试序列的实验结果。

表 3 实验结果统计

测试序列	编码算法	PSNR/dB	码率 (kbit·s <sup>-1</sup> )	目标码率 (kbit·s <sup>-1</sup> )
Foreman	JM14.2 算法	28.89	128.27	128
	本文算法	29.12	128.10	
Silent	JM14.2 算法	40.69	128.56	128
	本文算法	40.89	128.32	
Bus	JM14.2 算法	28.67	256.97	256
	本文算法	28.69	256.27	
Football	JM14.2 算法	33.21	256.79	256
	本文算法	33.54	256.26	
bridge	JM14.2 算法	36.42	33.41	32
	本文算法	36.79	32.21	
Suzie	JM14.2 算法	35.25	33.61	32
	本文算法	35.36	32.34	

表 3 显示, 相对于 JM14.2 的码率控制算法, 改进后的码率控制算法其输出码率精确度, 以及图像的 PSNR 明显提高: 码率偏差一般不超过 0.4kbit/s, 平均 PSNR 值提高了 0.22dB。

#### 4 结束语

一直以来, 码率控制机制都是视频编码标准的研究重点和热点, 笔者针对目前国内外最新研究趋势, 提出了一种改进的码率控制算法。仿真实验结果表明, 相对于 JM14.2 算法, 本文的码率控制算法在比特数的精确性与编码效率上均有显著的提高。

#### 参考文献:

- [1] Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification, Document JVT-G050.doc, ITU-T Rec. H.264 | ISO/IEC 14496-10 AVC[S]. Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG, 2003.
- [2] TSAI A C, PAUL A, WANG J C, *et al.* Intensity gradient technique for efficient intra-prediction in H.264/AVC[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2008, 18(5):694-698.
- [3] Test Model Editing Committee. ISO/IEC JTC1/SC29 WG11/93-225b-1993 MPEG-2, Test Model 5[S]. 1993.
- [4] ITU Study Group. ITU-T/SG15-1997 Video Codec Test Model, TMN8[S]. 1997.
- [5] Video Group. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11-1997 Coding of Moving Pictures and Associated Audio MPEG 97/W1796[S]. 1997.
- [6] ZHANG F, STEINBACH E. Improved  $\lambda$ -domain rate control with accurate header size estimation[A]. Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2011 IEEE International Conference[C]. Prague, Czech, 2011.813-816.
- [7] LI Z G, PAN F, PANG K, *et al.* Adaptive basic unit layer control for JVT: JVT-G012.doc[EB/OL]. [http://ftp3.itu.ch/av-arch/jvt-site/2003\\_03\\_Pattaya/JVT-G012.zip](http://ftp3.itu.ch/av-arch/jvt-site/2003_03_Pattaya/JVT-G012.zip), 2006.
- [8] MA S, GAO W, LU Y. Rate-distortion analysis for H.264/AVC video coding and its application to rate control[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2005, 15(12): 1533-1544.
- [9] WU Y, LIN S X, ZHANG Y D, *et al.* Optimum bit allocation and rate control for H.264/AVC[A]. 15th meeting Busan[C]. Korea, 2005.16-22.
- [10] CUI Z G, GAN Z L, ZHU X C. Structural similarity optimal MB layer rate control for H.264[A]. Wireless 2011 International Conference, Communications and Signal Processing (WCSP)[C]. Nanjing, China, 2011.1-5.
- [11] SHIMANO M, CHEUNG G, SATO I. Adaptive frame and QP selection for temporally super-resolved full-exposure-time video[A]. 2011 18th IEEE International Conference Image Processing (ICIP)[C]. Belgium, 2011.2253-2256.
- [12] WU S J, LIU P L, HUANG Y Q, *et al.* On bit allocation and Lagrange multiplier adjustment for rate-distortion optimized H.264 rate control[A]. IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing[C]. Rio de Janeiro, Brazil, 2009. 1-6.
- [13] WANG J, YIN H B, ZHOU B Q, *et al.* A low-cost MAD prediction algorithm for H.264 rate control facilitating hardware implementation[A]. 2011 4th International Congress on Image and Signal Processing (CISP)[C]. Shanghai, China, 2011.18-21.
- [14] KIM M J, HONG M C. Adaptive rate control based on statistical modeling in frame-layer for H.264/AVC[A]. 13th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)[C]. Phoenix Park, Korea, 2011.680-683.
- [15] HRARTI M, SAADANE H, LARABI M, *et al.* A macroblock-based perceptually adaptive bit allocation for H264 rate control[A]. 2010 5th International Symposium I/V Communications and Mobile Network (ISVC)[C]. Las Vegas, Nevada, USA, 2010.1-4.
- [16] XIE Z, BAO Z, XU C, *et al.* Optimal bit allocation and efficient rate control for H64/AVCsed on general rate-distortion model and enhanced coding complexity measure[J]. Image Processing, IET, 2010,4(3): 172-183.
- [17] LEE P J, KUO K T, HUANG S H, *et al.* Coding mode determination using fuzzy reasoning in H.264 motion estimation[J]. Signal Processing, IET, 2011,5(2): 242-250.
- [18] CHANG C Y, CHOU C F, CHAN D Y, *et al.* A  $q$ -domain characteristic-based bit-rate model for video transmission[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2008, 18(2): 1307-1311.
- [19] MALEWAR A, SINGH R K, GADRE V. Novel target bit rate estimation for improved frame level H.264 rate control[A]. 2010 International

- al Conference on Signal Processing and Communications (SPCOM)[C]. Bangalore, India, 2010.1-5.
- [20] DONG J, LING N. A context-adaptive prediction scheme for parameter estimation in H.264/avc macro block layer rate control[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2009, 19(5): 1108-1117.
- [21] GRAJEK T, DOMAŃSKI M. New model of MPEG-4 AVC/H.264 video encoders[A]. 17th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)[C]. Hongkong, China, 2010.961-964.
- [22] MALEWAR A, SINGH R K, GADRE V. Novel target bit rate estimation for improved frame level H.264 rate control[A]. 2010 International Conference on Signal Processing and Communications (SP OM)[C]. 2010.1-5.
- [23] 史久根, 许林, 张超. 一种场景自适应的 H.264 帧层码率控制算法[J]. 计算机应用研究, 2010.  
SHI J G, XU L, ZHANG C. Scene adaptive frame-layer rate control algorithm for H.264[J]. Application Research of Computers, 2010.
- [24] LI Z G, PAN F, LIM K P, *et al.* Adaptive rate control for H.264[A]. Proc IEEE Int Conf Image Process[C]. Singapore, 2004. 449-452.
- [25] KWON D, SHEN M, KUO C C J. Rate control for H.264 video with enhanced rate and distortion models[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2007, 17(5): 517-529.
- [26] KAMACI N, ALTINBASAK Y, MERSEREAU R M. Frame bit allocation for the 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.
- [27] Q042 of JVT, Revised H.264/MPEG-4 AVC Reference Software Manual[S].
- [28] O079 of JVT, Text Description of Joint Model Reference Encoding Methods and Decoding Concealment Methods[S].
- [29] Joint Video Team, JVT reference software encoder, version 14.2[EB/OL]. Available: <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download>, 2009.

#### 作者简介：



郑新资 (1986-), 男, 广东广州人, 南京邮电大学硕士生, 主要研究方向为多媒体通信、网络安全。



骆冰清 (1987-), 女, 江苏句容人, 南京邮电大学博士生, 主要研究方向为信息网络、多媒体通信。



孙知信 (1964-), 男, 安徽宣城人, 博士, 南京邮电大学教授、博士生导师, 主要研究方向为计算机网络与安全、多媒体通信、移动互联网等。