

# 一种基本单元层码率控制的改进算法

夏定元<sup>1),2)</sup> 卢 姗<sup>1)</sup> 吴 通<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(武汉理工大学信息工程学院, 武汉 430070) <sup>2)</sup>(桂林电子科技大学信息与通信学院, 桂林 541004)

**摘 要** 由于 JVT-G012 在基本单元层采用线性预测 MAD 的方法,且使用相同的 QP 量化,带来运算量大且不够精确的问题。为此,提出一种基于基本单元层码率控制的改进算法。首先,用时空加权模型来预测 MAD;然后,采用宏块层码率控制策略来分配目标比特;最后,依然采用 JVT-G012 中的二次 R-Q 模型计算 QP。仿真结果显示,采用改进算法的 H. 264 编码器,在取得更低比特率的同时,有效地提高了 PSNR。

**关键词** H. 264 码率控制 平均绝对差值

中图法分类号:TN919.81 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)10-2011-04

## An Improved Rate Control Algorithm for the Basic-unit Layer Encoder

XIA Ding-yuan<sup>1),2)</sup>, LU Shan<sup>1)</sup>, WU Tong<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(School of Information Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070)

<sup>2)</sup>(School of Information & Communication, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004)

**Abstract** Because a linear model is usually used to predict the MAD and the QP quantization is the same in the JVT-G012, which costs too much in operation and can't avoid deviation, an improved rate control algorithm for the basic-unit layer encoder is presented. Firstly, the MAD is predicted by a new weighted time and space model. Secondly, macroblock layer rate control strategy is used to distribute target bits. Finally, the quadratic R-Q model in the JVT-G012 is still adopted to calculate QP. Simulation results show that the PSNR is effectively elevated and lower bit rate is achieved in the H. 264 encoder by using the new algorithm.

**Keywords** H. 264, rate control, MAD

## 1 引 言

H. 264 是联合视频小组(JVT)近年来致力研究的编码方案,是目前图像通信研究领域的一个热点。H. 264 综合考虑了编码效率和网络传输,并吸收了以往各种编码方案的优点,在语法结构、编码预测算法、数据变换输出方式等方面进行了很大改进,使其在低码率压缩、清晰度显示、抗误码性以及网络接入等性能上有了巨大的提高。然而,对视频通信而言,由于通信信道带宽有限,需对视频编码码率进行有

效控制,以保证编码码流的顺利传输和信道带宽的充分利用<sup>[1]</sup>。

目前,针对码率控制已经有相当多的研究。He 等人<sup>[2]</sup>提出线性率失真函数,通过变换量化后零值在变换系数中的比例来选取量化参数,可避免蛋鸡悖论;Chen 等人<sup>[3]</sup>提出联合编码模式选择、信源的码率控制算法;Xue 等人<sup>[4]</sup>提出基于块活动性和缓冲状态的算法;Ma 等人<sup>[5]</sup>提出结合 HRD 的控制算法,并被 H. 264 采用。有些算法采用多个量化参数进行量化,然后选取最优的结果。此外,也有些算法采用各种模型来计算量化参数,如模糊逻辑、动态规

基金项目:广西科学研究与技术开发计划项目(05112001-7A2)

收稿日期:2008-07-11;改回日期:2008-08-02

第一作者简介:夏定元(1963 ~ ),男,教授。2004 年于华中科技大学获信息与通信工程专业博士学位。主要研究方向为多媒体通信、多媒体信息处理、图像处理与机器视觉。E-mail: labxiady@263.net

划、二次模型和指数模型等。

针对 JVT-G012 提案中的码率控制技术进行了探讨,对该提案所采用的算法运行效率不高的原因进行了分析,并做出了有效的改进。

## 2 经典的码率控制算法

目前, JM 模型中的码率控制算法主要采用 JVT-G012 提案中的 3 层码率控制: GOP 层、帧层和基本单元层<sup>[6]</sup>。

基本单元一般是指一帧或者一个宏块。若基本单元层是一帧,那么该层码率控制的主要任务就是根据当前帧的目标比特数对该帧的量化参数进行调整。若基本单元层是宏块,那么该层码率控制的主要任务就是在该帧目标比特数确定的前提下,根据每个宏块的图像复杂度,进一步调整该宏块的量化参数。

在 JVT-G012 中,基本单元层码率控制的 3 个主要步骤:预测平均绝对差值 MAD、分配目标比特、用二次 R-Q 模型计算量化参数。

### 第 1 步 预测 MAD

JM8.6 中采用线性模型预测出基本单元的 MAD。通过前一帧相同位置基本单元的 MAD 预测出当前帧中同一位置基本单元的 MAD。假设  $MAD_{cb}$  和  $MAD_{pb}$  分别表示当前帧中基本单元 MAD 的预测值和前一帧相同位置基本单元的 MAD 的实际值,线性预测模型为

$$MAD_{cb} = a_1 * MAD_{pb} + a_2 \quad (1)$$

式中,  $a_1$  和  $a_2$  是预测参数,其初始值分别设为 1 和 0,编码一个基本单元后需要更新  $a_1$  和  $a_2$ 。

### 第 2 步 分配目标比特

根据 MAD 预测值分配当前基本单元的目标比特。若  $T_i$  为当前基本单元的目标比特,  $T_r$  为当前帧中剩余的比特,  $N$  为当前帧中基本单元数目,则计算公式如下:

$$T_i = T_r * \frac{MAD_i^2}{\sum_{j=1}^{N-1} MAD_j^2} \quad (2)$$

### 第 3 步 用二次 R-Q 模型计算量化参数

基本单元层的量化参数 QP 通过以下二次 R-Q 模型计算:

$$T_i = MAD \left( C_1 * \frac{1}{Q} + C_2 * \frac{1}{Q^2} \right) \quad (3)$$

式中,  $C_1$ 、 $C_2$  分别是二次率失真模型的一阶、二阶模型参数,  $Q$  为量化步长。

## 3 改进的码率控制算法

### 3.1 MAD 的加权预测

JVT-G012 提案中的线性预测模型在每次编码完一个基本单元后,要对模型中的参数  $a_1$  和  $a_2$  进行刷新。提案中对 MAD 的预测是通过线性拟合得到的,预测的精度由线性拟合的输入点数决定,一般要输入坐标平面上 20 个以上的点进行一次拟合,一次拟合完成后,去掉与拟合直线误差较大的点进行第二次拟合。可以看出,这种处理过程的运算开销非常大。

文献[7]提出了一种基于 MPEG-4 码率控制的加权模型算法,公式如下:

$$MAD_{cb,i} = (1 - \beta) * MAD_{pb,i} + \beta * MAD_{cb,i-1} \quad (4)$$

式中,  $MAD_{cb,i}$  为当前宏块的 MAD 值,  $MAD_{pb,i}$  为前帧相同位置宏块的 MAD,  $MAD_{cb,i-1}$  为前一宏块的 MAD。其中,  $\beta$  根据实验经验取值为 0.2。

通过观察实际 MAD 值之间在时间和空间上的相关性,在文献[7]和[8]基础上,经过大量实验分析,设计出一种更为合理的时空加权模型来预测 MAD,避免了线性拟合。

基本思路:当前基本单元的  $MAD_{cb,i}$  由其相同帧的前一个基本单元  $MAD_{cb,i-1}$  和前一帧相同位置的基本单元  $MAD_{pb,i}$  及其前一个基本单元  $MAD_{pb,i-1}$ 、后一个基本单元  $MAD_{pb,i+1}$  通过加权得到,即

$$MAD_{cb,i} = (1 - a_1 - a_2 - a_3) MAD_{pb,i} + a_1 * MAD_{pb,i-1} + a_2 * MAD_{pb,i+1} + a_3 * MAD_{cb,i-1} \quad (5)$$

当  $i = 1$  时,

$$MAD_{cb,i} = (1 - a_2) MAD_{pb,1} + a_2 * MAD_{pb,2} \quad (6)$$

当  $i = N_{unit}$  时,

$$MAD_{cb,i} = (1 - a_1 - a_3) MAD_{pb,N_{unit}} + a_1 * MAD_{pb,N_{unit}-1} + a_3 * MAD_{cb,N_{unit}-1} \quad (7)$$

通过对不同序列的大量试验,可以将上式中参数  $a_1$ 、 $a_2$  和  $a_3$  取为经验值 0.05、0.04 和 0.06。 $N_{unit}$  为一帧的基本单元数。

在上面的预测模型公式中,参数都为常量,大大简化了 MAD 值预测的算法复杂度。同时,相对于文献[8]中的加权算法,更好地利用了 MAD 之间的时间和空间相关性,减少了预测误差。

### 3.2 宏块层码率控制策略

由上述分析可知, JM 的宏块层没有任何码率控制机制, 宏块层仅仅完成率失真优化 RDO 以及统计相应的 MAD 等操作, 属于同一个基本单元的宏块用统一的 QP 进行量化。但是, 实际上处于同一个基本单元的宏块在内容复杂度上存在很大差异。

为了更加合理地分配比特, 根据文献[9], 本文引入  $MB_{ratio}$ , 作为当前宏块在当前帧中的复杂度因子, 其模型如下:

$$MB_{ratio} = \frac{MAD_{cp}}{AVG(MAD_{pp})^2} \quad (8)$$

式中,  $MAD_{cp}$  表示当前宏块的 MAD,  $AVG(MAD_{pp})$  表示当前帧中已经编码宏块实际 MAD 的平均值, 它能有效地反映当前帧内已编码宏块平均的活性。当前宏块的目标比特由下式计算:

$$T_r = \delta_{ratio} \frac{T_f}{N_r} \quad (9)$$

式中,  $T_f$  表示当前帧中剩余的比特数,  $N_r$  表示当前帧中未编码的宏块数。实验中,  $\delta_{ratio}$  根据  $MB_{ratio}$  的大小按下式进行调整:

$$\delta_{ratio} = \begin{cases} 0.3 MB_{ratio} & MB_{ratio} \leq 0.6 \\ 0.8 MB_{ratio} & 0.6 < MB_{ratio} \leq 1 \\ 1.0 & MB_{ratio} > 1 \end{cases} \quad (10)$$

由式(9)计算出当前宏块的目标比特后, 依然利用式(3)的二次 R-D 模型求出当前宏块的相应量化值 QP。同时, 为了保持视频质量的平滑, 减少块效应, 相邻帧间对应宏块的量化级一般不超过 2。因此, 还需对 QP 进一步调整。调整方法如下:

$$QP = \begin{cases} QP + 2 & \theta < 0.3 \\ QP + 1 & 0.3 \leq \theta < 0.6 \\ QP & 0.6 \leq \theta < 1.5 \\ QP - 1 & 1.5 \leq \theta < 2 \\ QP - 2 & \text{其他} \end{cases} \quad (11)$$

式中,  $\theta$  表示当前宏块预测的 MAD 与前一帧同一位置宏块实际 MAD 的比值。在上述量化参数调节中,  $\theta$  的取值范围是实验过程中得到的经验值。

## 4 实验结果及分析

在 H.264 编码器参考软件 JM8.6 上, 我们对改进算法的性能进行了测试。实验中, 采用标准的 QCIF 序列 carphone, foreman 和 news, 每行宏块为一基本单元, 目标码率 128 kbps, 帧率 30 fps, 序列结构

IPPP..., 共编码 90 帧。对所有测试序列均采用 CABAC 编码, 运用率失真优化模式判别方法, 运动估计搜索范围为 16, 1/4 像素精度, 参考帧数为 5, 并采用哈达玛变换, I 帧的量化参数由目标码率及图像大小等确定为 28。

为了比较线性模型和新的时空加权模型的预测精确度, 我们分别采用本文提出的码率控制策略和 JM8.6 的码率控制算法以及文献[8]的算法对 3 组测试序列进行编码, 对各基本单元的 MAD 预测值和实际值的误差平方和进行统计, 实验结果如表 1 所示。

表 1 3 种模型的预测误差及复杂度比较

Tab.1 Comparisons of predicted error and complexity for three models

实验序列	误差平方和			编码时间(s)		
	线性模型	文献[8]中的模型	时空加权模型	线性模型	文献[8]中的模型	时空加权模型
carphone	22.57	22.49	22.36	428.435	420.234	412.251
foreman	26.31	25.97	25.25	435.217	431.907	427.036
news	61.63	60.23	59.73	435.830	429.628	423.426

从表 1 可以看出, 相对于线性模型及文献[8]提出的模型, 在应用时空加权模型的情况下, 3 个序列的预测精度都有不同程度的提高, 而且编码时间明显缩短。结果表明, 该加权模型较之前两种方法更好地利用了 MAD 之间的时间和空间相关性, 减少了预测误差, 同时还降低了计算复杂度。

此外, 我们对改进算法的码率控制性能进行了测试, 实验结果如表 2 所示。

表 2 两种码率控制方法的比较

Tab.2 Comparisons of two rate control methods

实验序列	JVT-G012		改进算法	
	PSNR(dB)	比特率(kbps)	PSNR(dB)	比特率(kbps)
carphone	38.94	128.51	39.15	128.23
foreman	36.92	128.26	37.11	128.21
news	40.98	128.31	41.32	128.16

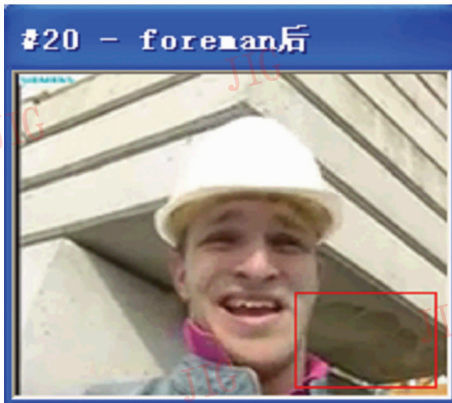
表 2 给出了 JVT-G012 经典算法与改进算法在码率控制方面的性能差异。可以看出, 对于不同的测试序列, 改进算法的 PSNR 均高于经典算法, 平均达到约 0.25dB。其中, 序列 news 的 PSNR 提高了 0.34dB, 且相应的比特率更接近目标比特, 表明改进算法可以达到更精确的比特。

进一步地,为了从视觉上判定改进算法相对于经典算法在视频编码质量上的提高,我们随机截取 foreman 序列某一帧(如第 20 帧),在算法改进前后两种情况下,对图像恢复效果进行对比实验,结果如图 1 所示。

由图 1 不难看出,采用改进算法编码 foreman 序列,图像恢复时的色彩显得更加柔和,效果明显好于经典算法。同时,对红色线框中的水渍部分进行比较,可以清楚地发现,改进算法的输出图像要明显清晰于经典算法的输出图像,表明改进算法在背景空间色彩细节方面也有较显著的改善。



(a) 经典算法



(b) 改进算法

图 1 经典算法与改进算法编码性能比较(foreman 序列)

Fig. 1 Comparisons of coding performance for the classic and improved algorithm (foreman coding sequence)

## 5 结 论

通过对 H. 264 码率控制性能分析,针对线性预测模型计算复杂度高的缺点,设计了一种基本单元 MAD 的时空加权预测模型,充分利用图像序列的时间和空间相关性,避免了参数更新,在提高预测精度的同时,减少了计算量,特别适用于实时应用环境。同时,考虑到算法中基本单元层控制策略的不足,提出了宏块级的码率控制算法。该算法充分考虑到图像中不同宏块间的差异性,根据宏块复杂度的不同,对其进行比特分配。实验结果表明,改进算法在有效控制码率、减少计算量的同时,明显改善了视频编码质量。

## 参考文献 (References)

- 1 Lee H J, Chiang T H, Zhang Y Q. Scalable rate control for MPEG-4 video [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2000, 10(6): 878 ~ 894.
- 2 He Zhi-hai. A Unified Approach to Rate-distortion Analysis and Rate Control for Visual Coding and Communication [D]. Washington DC, US: George Washington University, 2001.
- 3 Chen Chuan, Yu Song-yu. Joint coding mode selection and rate control algorithm [J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(5): 763 ~ 768. [陈川,余松煜. 联合编码模式选择的码率控制算法 [J]. 电子学报, 2004, 32(5): 763 ~ 768.]
- 4 Xue Jin-zhu, Shen Lan-sun. Rate control algorithm for H. 264 video encoding [J]. Journal of Electronics (China), 2003, 20(6): 80 ~ 87.
- 5 Ma Si-wei, Gao Wen, Wu Feng, et al. Rate control for JVT video coding scheme with HRD considerations [A]. In: Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Image Processing [C], Barcelona, Spain, 2003, 3: 793 ~ 796.
- 6 JVT-G050, Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification [S].
- 7 Hoang D T, Vitter J S. Efficient Algorithms for MPEG Video Compression [M]. New York, US: John Wiley & Sons, Inc, 2002: 13 ~ 21.
- 8 Jiang Min-qiang, Ling Nam. On enhancing H. 264/AVC video rate control by PSNR-based frame complexity estimation [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2005, 51(1): 281 ~ 286.
- 9 JVT-G012, Adaptive Basic Unit Layer Rate Control for JVT [S].