

# 一种改进的 H.264 码率控制算法

袁 炜, 蒋建国, 包先雨

YUAN Wei, JIANG Jian-guo, BAO Xian-yu

合肥工业大学 计算机与信息学院, 合肥 230009

School of Computer & Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China

E-mail: yuanwei\_1982@163.com

YUAN Wei, JIANG Jian-guo, BAO Xian-yu. Rate control algorithm for H.264 encoder. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(30): 85-87.

**Abstract:** Rate control is an importance constituting part of the H.264/AVC. It regulate varying bit rate characteristics of the coded bit stream in order to produce high quality decoded frame at a given target bit rate. This paper proposes an improved rate control algorithm based on the algorithm which is presented by Nejat Kamaci, and in order to reduce the demerit that costs too many operations and exists deviation of the traditional linear model, presents a new weighted mode to predict the MAD. Simulation results show that our proposed algorithm achieves a better performance on veracity and image quality.

**Keys words:** H.264/AVC; rate control; quantization parameter; MAD

**摘 要:** 码率控制是 H.264/AVC 的一个重要组成部分, 它通过调节编码比特流的码率变化从而在给定的信道带宽下获得持续较好的图像质量。在 Nejat Kamaci 提出的码率控制算法上进行了改进, 增加了宏块级码率控制, 并针对传统的平均绝对误差 (Mean Absolute difference, MAD) 线性预测模型计算量大且存在一定误差的缺点, 提出一种新的 MAD 加权预测模型, 降低了算法复杂度和预测误差。实验结果表明, 改进算法的码率控制更加准确, 并且图像的 PSNR 值也有所提高。

**关键词:** H.264/AVC; 码率控制; 量化参数; 平均绝对误差

**文章编号:** 1002-8331(2007)30-0085-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

## 1 引言

H.264/AVC 是目前最新的国际视频编码标准, 采用了多编码模式、编码参数自适应选择、上下文自适应熵编码、多参考帧的灵活选择、高精度预测、去方块滤波以及抗误码能力等技术措施, 大大提高了编码效率和网络自适应能力。对视频通信而言, 由于通信带宽有限, 必须将码率控制在一定的范围, 以达到在给定目标码率的条件下, 尽可能达到平坦的高质量解码图像。因此码率控制是编码器不可缺少的组成部分。码率控制算法的优劣也成为衡量编码器好坏的重要指标之一。

码率控制分固定码率控制 CBR (Constant Bit Rate control) 和可变码率控制 VBR (Variable Bit Rate control) 控制两种。固定码率控制认为传输速率恒定, 按图像复杂度分配码率, 如果码率过低, 通过填充无用比特来达到期望码率; 如果码率过高, 则通过提高量化参数来降低码率, 达到期望码率。这种方法实现简单, 但在场景切换时容易产生马赛克, 一般适用于传输信道恒定的情况。可变码率控制是指在保证图像质量的前提下, 根据图像复杂度码率不断变化。这种算法得到的图像质量较好, 但实现复杂, 一般适用于传输信道经常波动的情况。目前, 大部分基于 H.264 的码率控制算法都是针对于 CBR 情况。本文对文献[2]提出的基于柯西分布模型的码率控制算法作了改

进, 增加了宏块级码率控制, 并针对传统的 MAD 线性预测模型计算量大且存在一定误差的缺点, 提出一种新的 MAD 加权预测模型, 实验结果表明, 该改进算法在降低运算复杂度的同时, 码率控制更加准确, 图像平均质量也有所提高。

## 2 相关工作及分析

一般在视频标准产生后, 码率控制都会得到广泛的研究, 例如针对 MPEG-2、MPEG-4、H.263 等标准提出的码率控制算法 TM5、VM8、TMN8 等。然而, 这些算法都不能直接应用于 H.264 标准, 这是因为 H.264 标准在码率控制算法以及率失真优化 (Rate Distortion Optimization, RDO) 中都使用了量化参数, 这就导致了在进行码率控制时出现了蛋鸡悖论: 对当前帧的宏块进行率失真优化时, 需要先通过当前帧或当前宏块的平均绝对误差 (Mean Absolute Difference, MAD) 决定每个宏块的量化参数, 而当前帧或宏块的 MAD 仅在率失真优化后才能得到。针对于此, 近年来, 许多学者做了大量工作, 取得了很好的成绩<sup>[3,4,7]</sup>。

目前码率控制算法一般都采用分级控制, 可以分为帧级和宏块 (Macro Block, MB) 级。帧级和宏块级的控制又都分为两部分, 首先为每帧 (宏块) 预分配码率  $R$ , 然后根据一定的 R-Q 模型计算需要的量化参数  $QP$ , 并对每帧 (宏块) 进行 RDO 计算,

基金项目: 安徽省“十五”二期科技攻关重大计划项目 (No.040020382)。

作者简介: 袁炜 (1982-), 男, 硕士生, 研究方向为数字图像处理、视频压缩编码等; 蒋建国 (1955-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为多媒体信息处理、DSP 技术与应用等; 包先雨 (1981-), 男, 博士生, 主要研究方向为多媒体安全与版权保护等。

选择合适的编码模式。

Nejat Kamaci 在文献[2]中通过对图像 DCT 系数分布的统计分析,认为柯西分布比传统的拉普拉斯分布更逼近实际的 DCT 系数分布,并在这种思想的基础上提出一种新的码率控制算法。其算法的主要思想如下:

(1)图像组(Group Of Picture, GOP)层

图像组是指一组在时间上连续的图像帧,由 I 帧, P 帧, B 帧组成。其结构可以是 IPPBPB...I 等。I 帧是指帧内编码, P 帧是指使用前向预测参考的帧的编码方式, B 帧是指使用前向预测参考或后向预测参考的帧的编码方式。

根据给定的目标比特率,帧率和 GOP 中的帧数给每个 GOP 分配固定的比特数,公式如下:

$$C_{gop} = N \frac{R}{F} \quad (1)$$

式(1)中,  $R$  为给定的目标比特率,  $F$  为帧率,  $N$  为 GOP 中的帧数。

(2)帧层目标比特数预分配

帧层目标比特数预分配主要是根据图像特性计算 GOP 中每一帧图像应分配的目标比特数。计算公式如下:

$$\sum_{i=k}^G R_i = R_{gop}(k) \quad (2)$$

$$\sum_{i=k}^G v_i a_i \alpha_k^{-\alpha/\alpha_k} R_k^{\alpha/\alpha_k} = R_{gop}(k) \quad (3)$$

式(2),式(3)中,  $R_k$  为第  $k$  帧所分配的比特数,  $R_{gop}(k)$  为 GOP 中剩余的未编码的图像帧所拥有的比特数,  $G$  为 GOP 中的图像帧的数目,  $\alpha_i, \alpha_k$  都是每帧更新的参数。

对式(3)中的  $R_k$  的计算,运用牛顿迭代法解出。

(3)量化参数估计

Nejat Kamaci 基于 DCT 系数的柯西分布模型,提出量化参数 QP 计算公式如下:

$$Q_k = \left[ \left[ \left( \frac{R_k}{a_k} \right)^{-1/\alpha_k} \right] \right] \quad (4)$$

(4)更新模型参数

$$R_{gop}(k+1) = R_{gop}(k) - S_k \quad (5)$$

$$a_{k+1} = \delta a_k + (1-\delta) \frac{S_k}{(Q_k)^{-\alpha_k}} \quad (6)$$

式(5),式(6)中,  $S_k$  是编码第  $k$  帧输出的码长;  $\delta$  是遗忘因子,一般取值 0.5。

通过对该算法的分析,发现该算法仅在帧级进行控制,一帧内的所有宏块都用统一的量化参数量化。而实际上属于同一帧的宏块在内容复杂度上有很大的区别的,从 Foreman 序列中随机取出一帧图像,统计各个宏块的 MAD 如表 1。

表 1 Foreman\_Qcif 序列第 64 帧图像 MAD 值

2.802	4.134	2.230	3.918	3.915	0.570	1.074	2.117	2.355	2.348	2.669
2.301	3.223	3.027	2.914	2.957	3.539	3.590	6.656	1.926	2.172	2.109
2.382	1.914	2.294	4.297	3.504	2.133	3.802	3.652	2.703	1.632	2.188
2.934	1.992	1.781	3.613	3.324	5.230	4.172	4.613	1.992	2.484	2.531
2.089	1.895	1.598	2.023	4.672	4.754	7.289	3.043	2.500	2.021	2.664
1.926	1.699	1.462	2.227	6.543	7.262	5.766	2.625	1.660	2.102	1.996
1.902	1.426	1.832	1.693	5.250	4.629	1.980	3.156	1.539	1.656	2.078
2.387	2.082	2.523	3.492	3.684	3.992	4.512	8.066	9.594	3.004	3.648
3.072	2.168	2.344	2.523	3.262	2.648	7.160	2.836	4.168	6.492	6.941

从表 1 中可以看出,由于宏块内容复杂度上的区别,使用

统一的量化参数必然会使图像质量下降。为此本文在对原算法的基础上增加了宏块级的码率控制。

### 3 宏块级码率控制

#### 3.1 宏块比特预分配

为了在宏块级也进行码率控制,从而进一步提高控制的准确性和图像质量,本文引入  $MAD_{ratio}$ ,用以表征宏块的复杂度。

$$MAD_{ratio} = \frac{MADP_{MB}}{MADP_{frame}} \quad (7)$$

式(7)中表示当前宏块的 MAD 预测值,  $MADP_{frame}$  表示当前帧的 MAD 预测值。传统算法对 MAD 的预测一般采用线性预测模型<sup>[3]</sup>:

$$MADP_j = a_1 * MAD_{j-1} + a_2 \quad (8)$$

式(8)中,  $MAD_{j-1}$  为前一帧的实际 MAD 或前一帧相同位置的宏块 MAD 值,  $a_1, a_2$  为预测系数,在每个宏块编码完成后更新。

该线性预测模型的精度由一定数目的输入参考点来保证,并且需要进行两次直线拟合计算,运算复杂度大且存在一定程度的误差,对当前帧的预测尤其突出。针对于此,本文对帧以及宏块的 MAD 值之间时间和空间上的相关性进行分析,提出一种将帧和宏块的 MAD 预测运用加权预测模型分别处理的算法。

宏块比特预分配算法具体步骤如下:

**步骤 1** 对于当前帧的 MAD 预测,采用当前帧中已编码宏块的 MAD 实际值和未编码宏块位置相同的上一帧宏块的 MAD 实际值共同加权构成。当前宏块为  $j$ th 宏块时,当前帧 MAD 预测公式为

$$MADP_{frame} = \sum_{i=0}^{j-1} MAD_{c(i)} + \sum_{i=j}^s MAD_{p(i)}$$

上式中,  $s$  为一帧中的宏块个数;  $\sum_{i=0}^{j-1} MAD_{c(i)}$  为当前已编码的

( $j-1$ )个宏块的 MAD 实际值之和;  $\sum_{i=j}^s MAD_{p(i)}$  为未编码宏块位置相同的上一帧宏块的 MAD 实际值之和。

该模型随着当前帧中宏块编码的进行而越来越逼近当前帧的实际 MAD 值,降低了预测误差;同时由于加权模型只有加法运算,比起运用线性拟合技术的线性预测模型,运算复杂度大大降低。

**步骤 2** 对当前宏块的 MAD 预测则用前一帧中相同位置的宏块及其前后两个宏块的 MAD 实际值,以及当前帧中前一宏块的 MAD 实际值加权得到。预测公式如下:

$$MADP_{c(j)} = (1-3\alpha) \times MAD_{p(j)} + \alpha \times MAD_{p(j-1)} + \alpha \times MAD_{p(j+1)} + \alpha \times MAD_{c(j-1)} \quad (9)$$

如果当前宏块是当前帧的第一个宏块,则有:

$$MADP_{c(j)} = (1-\alpha) \times MAD_{p(j)} + \alpha \times MAD_{p(j+1)} \quad (10)$$

如果当前宏块是当前帧的最后一个宏块,则有:

$$MADP_{c(j)} = (1-2\alpha) \times MAD_{p(j)} + \alpha \times MAD_{p(j-1)} + \alpha \times MAD_{c(j-1)} \quad (11)$$

式(9)-式(11)中,  $\alpha$  为常量,其值根据实际经验取得,一般取 0.1;  $MADP_{c(j)}$  为当前宏块 MAD 预测值;  $MAD_{c(j-1)}$  为前一个宏块的 MAD 实际值;  $MAD_{p(j)}$  为前一帧中相同位置的 MAD 实际值;  $MAD_{p(j-1)}$ 、 $MAD_{p(j+1)}$  分别为前一帧中相同位置的前后两个宏块的 MAD 实际值。

与当前帧 MAD 的加权预测模型一样,该加权模型利用宏

块 MAD 值之间时间和空间上的相关性, 降低了运算复杂度, 并且降低了预测误差。

由于宏块级编码是依次进行的, 以至必然会出现尚未编码的宏块的平均比特数会随着编码的进行而越来越小的情况。为了避免这种情况, 引入  $Factor\_MB$  因子对后面的宏块进行补偿:

$$Factor\_MB = a_1 \times (j-1) \times (N_{MB}-1) + a_2 \quad (12)$$

式(12)中  $j$  为宏块序号;  $N_{MB}$  为宏块总数;  $a_1, a_2$  为常量系数, 用以控制补偿程度, 并且为了防止出现帧比特数溢出, 取值需要满足:  $a_1/2 + a_2 = 1$ 。

**步骤3** 当前宏块预分配的比特数  $m\_bits$  计算公式如下:

$$m\_bits = \frac{R_k}{N_{MB}} \times MAD_{ratio} \times Factor$$

### 3.2 宏块 QP 值计算

对宏块 QP 值的计算采用文献[4,5]中的二次型率失真计算模型

$$m\_bits(QP)_j = \frac{X_1 \times MADP_j}{QP} + \frac{X_2 \times MADP_j}{QP^2}$$

同时, 出于对图像质量的考虑, 对  $QP_{MB}$  值的波动情况进行了限制, 一帧内宏块的  $QP_{MB}$  值应控制在  $[QP_{frame}-2, QP_{frame}+2]$  的范围内。

## 4 实验结果及分析

在 JVT 校验模型 JM7.6 上实现本文提出的改进的码率控制算法, 使用 4:2:0 的 Qcif 序列 Foreman 和 Carphone 进行测试, 并和 JVT 提案中的码率控制算法 JVT-G012 算法以及 Nejat Kamaci 在文献[2]中提出的算法进行了对比, 测试结果如表 2。

表 2 改进算法与 JVT-G012 算法以及 Nejat Kamaci 提出的算法对比

测试序列	目标比特率 /(k/ps)	JM7.6 算法		N.Kamaci 的算法		本文算法	
		比特率 /(k/ps)	平均 PSNR /dB	比特率 /(k/ps)	平均 PSNR /dB	比特率 /(k/ps)	平均 PSNR /dB
Fore-Man	64	64.31	33.57	64.27	33.72	64.21	33.86
	48	48.26	32.32	48.21	32.54	48.30	32.63
	32	32.22	30.48	31.93	30.61	32.09	30.74
Carp-hone	64	64.44	35.46	63.88	35.63	64.18	35.86
	48	48.21	33.99	48.17	34.18	47.85	34.33
	32	32.09	32.05	31.94	32.22	31.92	32.35

从表 2 的实验结果可以看出, 本文提出的算法相比较 JVT-G012 算法和 Nejat Kamaci 在文献[2]中提出的算法, 比特率更接近目标比特率, 并且 PSNR 也有一定程度的提高。

## 5 结束语

本文在对文献[2]提出的码率控制算法进行研究, 针对图像宏块在内容复杂度存在一定区别的问题, 增加了宏块级码率控制。而从图 1 宏块级码率控制算法流程图, 可以看出在宏块层码率控制中, MAD 预测处于很关键的地位, 它既是宏块目标比特率分配依据的组成部分, 又作为宏块 QP 值计算公式的输入, 因此 MAD 预测模型的计算简捷和预测准确性就成为码率控制的关键问题。本文在宏块级码率控制中, 用  $MAD_{ratio}$  表征宏块复杂度, 并根据宏块在空间和时间上的相关性, 提出了一种新的 MAD 加权预测模型, 与传统的 MAD 线性预测模型相比

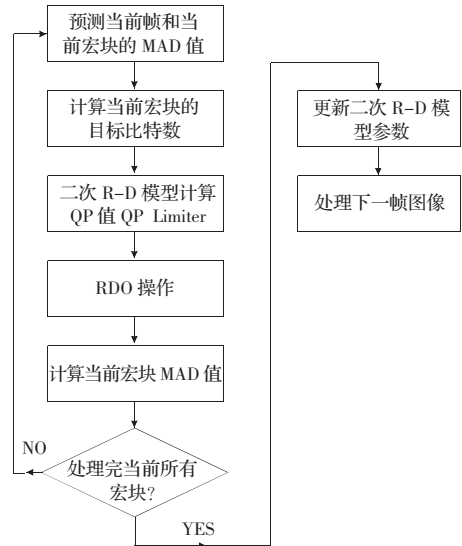


图 1 宏块级码率控制算法流程

较, 在降低运算复杂度的基础上, 减少了预测误差。实验结果表明, 改进算法可以达到更精确的比特率控制和更好的解码图像质量。(收稿日期: 2007 年 3 月)

## 参考文献:

- [1] Joint Video Team(JVT)of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG, JVT-G050. Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification (ITU-T Rec.H.264/ISO/IEC14496-10AVC)[S], 2003.
- [2] Kamaci N, Altunbasak Y, Mersereau R. 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: 994-1006.
- [3] Li Z G, Pan F, Lin K P, et al. Adaptive basic unit layer rate control for JVT[C]/JVT-G012. JVT 7th Meeting Pattaya, Thailand, March 2003.
- [4] Lee H J, Chiang T H, Zhang Y Q. Scalable rate control for MPEG-4 video[J]. IEEE Transactions on Circuits Systems for Video Technology, 2000, 10: 878-894.
- [5] Vetro A, Sun H, Wang Y. MPEG-4 rate control for multiple video objects [J]. IEEE Transactions on Circuits Systems for Video Technology, 1999, 9: 186-199.
- [6] Li Z G, Ling N, Yang X K, et al. A unified architecture for real-time video-coding systems [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13: 472-487.
- [7] Li Z G, Xiao Lin, Zhu C, et al. A novel rate control scheme for video over the Internet[C]/Proceedings ICASSP 2002, Florida, USA, May 2002: 2065-2068.
- [8] Ma Si-wei, Gao Wen, Lu Yan, et al. Proposed draft description of rate control on JVT standard[C]/JVT-F086. JVT 6th Meeting, Awa-ji, 2002.
- [9] 周明朗, 李征. 一种对 H.264 视频编码码率控制算法的改进[J]. 微机计算机信息, 2006, 6(3): 260-262.
- [10] 杨恒, 王庆. 一种面向 H.264、AVC 的新型宏块级码率控制算法[J]. 计算机应用, 2006, 6: 1374-1377.