

基于模糊控制的 H. 264 宏块层码率控制算法

周芦明 刘春生 罗亮

(南京航空航天大学自动化学院, 南京 210016)

摘要 针对 H. 264 码率控制模型的不足, 提出了一种新的宏块层的码率控制算法。该算法首先利用帧的时空相关性对宏块的 MAD 值进行预测, 然后引入了智能控制中的模糊控制方法来对码率输出进行控制, 使得码率控制不再依赖于以往的各种统计模型。由于省去模型参数的更新, 算法的计算复杂度有一定程度的降低。实验结果表明: 与 JM8. 6 原算法比较, 该算法能在提高码率控制精度的同时, 提高图像的恢复质量。

关键词 H. 264 码率控制 时空相关性 模糊控制

中图法分类号: TP919. 8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2009)10-1955-06

New Macro-block Layer Rate Control Algorithm Base on Fuzzy Control for H. 264

ZHOU Lu-ming, LIU Chun-sheng, LUO Liang

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

Abstract For the lack of rate control model in H. 264, a new macro-block layer rate control algorithm for H. 264 is proposed. The algorithm uses the spatio-temporal relevancy of frames estimated mean absolute difference (MAD). Then a fuzzy controller is applied, making rate control no longer rely on the various statistical models. By leaving out the updated of the model parameter, the computational complexity of the algorithm is decreased to some extent. The experimental results show that compared to JM8. 6 original algorithm, the new algorithm can increase the accuracy of rate control and the image quality of the restoration at the same time.

Keywords H. 264, rate control, the spatio-temporal relevancy, fuzzy control

1 引言

H. 264/AVC 是由 ISO/IEC MPEG 和 ITU-T VCEG 共同建立的联合视频工作组制定的新一代视频编码标准。与以前的标准相比, 它具有压缩效率高, 网络亲和性好等优点。H. 264/AVC 采用基于宏块和运动补偿的方案, 在保持原有编码体系一系列优点的同时, 引进了许多新的技术, 包括 4×4 整数变换, 多模式的帧内预测, $1/4$ 像素精度的运动估计, 宏块的灵活分割, 环路滤波器的功能等^[1]。

码率控制的目的是调整输出码流的码率, 充分

利用信道带宽, 以便尽可能地保证视频图像的总体质量。码率控制作为视频编码的重要组成部分, 现有的视频压缩标准都对其进行了广泛的研究。目前经典的码率控制方法有 MPEG-2 的 TM5, H. 263 的 TMN8 以及 MPEG-4 的 VM8。

现有的 H. 264/AVC 参考代码采用的是由 Li 等人提出的 JVT-G012 提案^[2]中的算法。在这个算法中, 采用了二次 R-D 模型和线性模型分别对当前宏块的量化参数 QP 和 MAD 值进行预测, 由于这个模型都是建立在大量统计数据上的, 模型对每个具体宏块而言并不准确, 而且在每编码完一个宏块后, 就要对其系数进行更新, 计算复杂, 因此为了获得更好

收稿日期: 2008-04-01; 改回日期: 2008-09-05

第一作者简介: 周芦明 (1985 ~), 男, 南京航空航天大学控制理论与控制工程专业研究生。研究方向为 H. 264 视频编码与图像处理。

E-mail: zhouluming 1985@163.com

的码率控制效果,有必要对模型进行研究和改进。Xu 等人提出一种基于 ρ 模型的宏块层码率控制^[3],取得了一定的效果。文献[4]提出了一个基于柯西分布的模型,并将其应用到码率控制中。本文提出了一种新的宏块层算法,它利用图像时空间相关性对宏块的 MAD 值进行预测,并且采用智能控制中的模糊控制方法对每个宏块的量化参数 QP 进行控制。为简单起见,本文中 GOP 的结构为 IPPP。

2 H. 264 码率控制策略中的相关模型

2.1 R-Q 模型

H. 264/AVC 编码标准中的码率控制方法是在 MPEG-4 编码标准的基础上发展的,它的核心是模拟信息率失真特性的二次模型^[5],如式(1):

$$T - T_H = x_1 \times \frac{MAD}{Q_{step}} + x_2 \times \frac{MAD^2}{Q_{step}^2} \quad (1)$$

式中, T 是预先分配的比特数, T_H 是编码头信息及运动矢量所占比特数, MAD 是平均绝对误差, Q_{step} 是量化步长, x_1 和 x_2 是模型参数,其值在每编完一帧后都要进行更新。二次模型的引入使得 JVT-G012 提案对 QP 预测比以往的算法具有更好的准确性。

2.2 MAD 预测的线性模型

JVT-G012 提案中,帧层和基本层均采用线性模型来预测当前图像的 MAD 值,即通过前一图像相同位置的 MAD 值,预测当前图像的 MAD 值。线性预测模型如下式:

$$MAD_c = a_1 \times MAD_p + a_2 \quad (2)$$

式中, MAD_c 和 MAD_p 分别表示当前图像 MAD 的预测值和前一图像 MAD 的实际值, a_1 和 a_2 是模型参数,其初始值分别设为 1 和 0。每个图像或基本单元编码完成后,模型参数需要更新。

这 2 个模型的参数都是采用线性回归的方法进行更新,其基本更新步骤:首先由坐标平面上的最近编码的 20 个历史样本点拟合出一条直线,一次拟合完成后,按照最小均方的准则去除其中误差过大的点,然后进行第 2 次直线拟合,从而得到最终的模型系数。

由于这 2 个模型是建立在对大量数据统计的基础上,对单个宏块来说,预测的准确性欠佳,因此并

不适用于宏块层的码率控制。

3 新的宏块层码率控制策略

3.1 低复杂度的 MAD 值预测

JVT-G012 提案采用线形模型对当前帧或者当前基本单元的 MAD 值进行预测,其模型参数更新复杂,而且预测也并不十分准确。由于图像的内容在时间和空间里都是连续的,相邻宏块的由残差信息经过 DCT 变化后所得到的 MAD 值也必然具有较强的时空间相关性。因此可以考虑利用这种相关性来预测当前宏块的 MAD 值,以降低计算复杂度。文献[6]也提出了利用相关性来对 MAD 值进行加权预测的方法,但其计算过程相对复杂。本文提出的加权预测由式(3)表示。

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

其中 $MAD_{c(i)}$ 表示当前宏块的 MAD 预测值, $MAD_{p(i)}$ 表示前一帧中与当前块相同位置的宏块的实际 MAD 值, $MAD_{p(i)}$ 表示左边相邻宏块的实际 MAD 值, α 是加权系数, i 是当前宏块在当前帧中的序号。如果当前宏块不存在左边的相邻宏块的,该宏块的 MAD 值就用前一帧相同位置的宏块的 MAD 值代替。实验结果表明,当 α 取 0.6 时,预测精确性较好。

3.2 基于模糊控制的宏块码率控制方法

文献[7]~[8]提出采用 PID 控制方法对码率进行控制,其控制效果得到明显地改善,这验证了将控制理论应用到码率控制中的可行性。模糊控制不需要建立控制对象的精确数学模型,只要把人工操作的经验与数据归纳成较完善的语言控制规则。因此它能绕过对象的不确定性、干扰及非线性、时变性、时滞性等影响,并且能够处理不确定信息,可利用专家经验离线查询、实时性高的优点,构成一个自适应控制系统,以此达到控制的要求与目的。模糊控制系统的鲁棒性强,效果好^[9]。基于对 H. 264 宏块层码率控制的研究,本文采用模糊控制的方法来对宏块层的码率输出进行控制。

在这里定义两个变量:

$$MAD_{ratio} = \log_{1.3} \left(\frac{MAD'_{c(i-1)}}{MAD_{c(i)}} \right) \quad (4)$$

$$T_{ratio} = -\log_{1.4} \left(\frac{T'_{c(i-1)}}{T_{c(i)}} \right) \quad (5)$$

式中, $MAD'_{c(i-1)}$, $T'_{c(i-1)}$ 分别为当前块左边宏块实际的 MAD 值和实际产生的比特数, $MAD_{c(i)}$ 为当前宏块的 MAD 预测值, $T_{c(i)}$ 分配给当前宏块的比特数。由于宏块头信息量难以估计以及宏块内容的不确定

性, 将头信息预测省去可以在保持码率控制效果基本不变的情况下, 降低编码计算复杂度。

以 MAD_{ratio} , T_{ratio} 为输入, 相邻宏块量化参数的变化值 ΔQP 为输出, 构建了一个 2 维模糊控制系统, 其原理框图如图 1 所示。

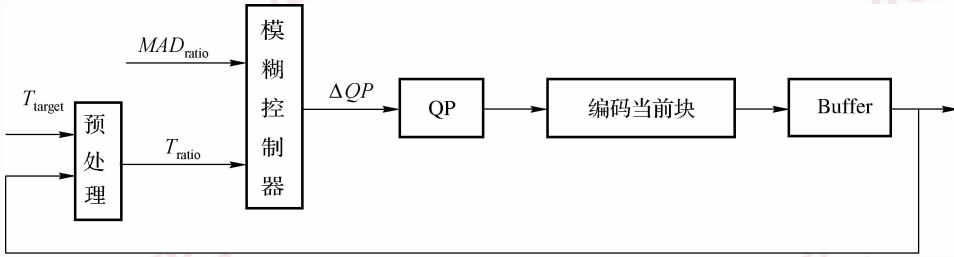


图 1 模糊控制系统框图
Fig. 1 Fuzzy control system

为了不影响视频质量, 同一帧相邻宏块量化参数的变化应当平缓, ΔQP 的取值范围 $[-2, 2]$ 。

为 1。模糊子集的隶属函数选为三角形, 其分布如图 3 所示。

模糊控制器设计过程如下:

(1) 模糊化

取输入变量 MAD_{ratio} , T_{ratio} 的基本论域为 $[-1, 1]$, 模糊子集为 {负大, 负中, 负小, 0, 正小, 正中, 正大}。设定其相应的语言变量, 并记作:

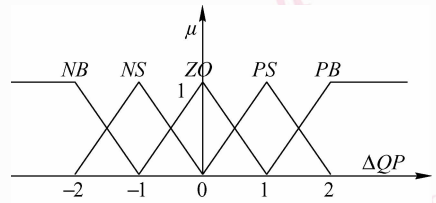


图 3 输出变量的隶属函数

Fig. 3 The membership function of output variable

$NB =$ 负大, $NM =$ 负中, $NS =$ 负小, $ZO = 0$, $PS =$ 正小, $PM =$ 正中, $PB =$ 正大

(2) 模糊规则

将 2 个输入变量的论域量化为 7 个等级, 量化因子为 3。模糊子集的隶属函数选为三角形, 其分布如图 2 所示。

基于对宏块层码率控制的研究, 模糊控制规则可归纳为表 1。

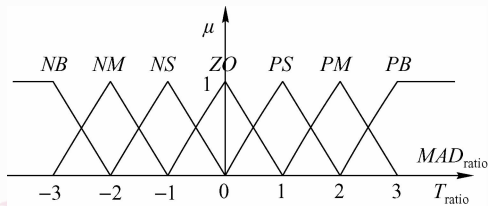


图 2 输入变量的隶属函数

Fig. 2 The membership function of input variable

表 1 模糊控制规则表

Tab. 1 Fuzzy control rule table

T_{ratio}	MAD_{ratio}						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	ZO	ZO	PS	PS	PS	PB	PB
NM	ZO	ZO	ZO	PS	PS	PS	PB
NS	NS	ZO	ZO	ZO	PS	PS	PS
ZO	NS	NS	ZO	ZO	ZO	PS	PS
PS	NS	NS	NS	ZO	ZO	ZO	PS
PM	NB	NS	NS	NS	ZO	ZO	ZO
PB	NB	NB	NS	NS	NS	ZO	ZO

输出变量 ΔQP 的基本论域为 $[-2, 2]$, 模糊子集为 {负大, 负小, 0, 正小, 正大}。设定其相应的语言变量, 并记作:

采用选择隶属度最大规则进行模糊推理, 得到相应的模糊控制表(如表 2 所示)。

$NB =$ 负大, $NS =$ 负小, $ZO = 0$, $PS =$ 正小, $PB =$ 正大

将输出变量的论域量化为 5 个等级, 量化因子

表 2 模糊控制表
Tab. 2 Fuzzy control list

T_{ratio}	MAD_{ratio}						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
-3	0	0	1	1	1	2	2
-2	0	0	0	1	1	1	2
-1	-1	0	0	0	1	1	1
0	-1	-1	0	0	0	1	1
1	-1	-1	-1	0	0	0	1
2	-2	-1	-1	-1	0	0	0
3	-2	-2	-1	-1	-1	0	0

为了满足实时性的要求,可将模糊控制表存储到计算机里,以便在控制时直接进行查找,加快编码速度。

(3) 解模糊化

经过模糊推理后,模糊控制器的输出变量 ΔQP 乘以量化因子可直接转化为精确的控制量。例如:当输出变量 ΔQP 为等级 2 时,则精确控制量为 +2。

4 宏块层码率控制算法

新的码率控制算法只是对帧间预测的图像宏块进行处理,为了能更好地比较新算法与以往算法的优劣性,对于帧层的比特分配、每个 GOP 的第 1 个 P 帧的处理和 P 帧第 1 个编码宏块的处理,仍沿用 JVT-G012 中的方案。综上所述,新的宏块层码率控制算法具体步骤如下:

第 1 步 编码完当前 P 帧的第 1 个宏块后,利用式(3)对后续宏块进行 MAD 值预测;

第 2 步 计算当前宏块的目标比特数,其计算过程为

$$\text{total}_{c(i)} = \sum_{j=i}^n \text{MAD}_{p(j)} \quad (6)$$

$$T_{\text{target}} = T \frac{\text{MAD}_{c(i)}}{\text{total}_{c(i)}} \quad (7)$$

式中, T 为当前帧剩余的比特数, $\text{MAD}_{p(j)}$ 为前一帧中第 j 个宏块的实际 MAD 值, $\text{MAD}_{c(i)}$ 为当前宏块的预测值, n 为一帧的宏块总数。

第 3 步 根据式(4)和式(5)计算出 $\text{MAD}_{\text{ratio}}$, T_{ratio} , 如果左边的宏块或几个宏块是全零块,则取在编码顺序上距当前块最近的不是全零的已编码宏块代替左边的宏块,然后再计算出 $\text{MAD}_{\text{ratio}}$ 和 T_{ratio} , 并

按照式(8)设置修正值;

$$Dq = \begin{cases} 0 & N_z < 3 \\ 1 & 3 \leq N_z < 5 \\ 2 & 5 \leq N_z \end{cases} \quad (8)$$

式中, N_z 为当前宏块左边连续的全零块的个数。

第 4 步 如果 $|\text{MAD}_{\text{ratio}}| < 1$ 并且 $|T_{\text{ratio}}| < 1$, 将这 2 个变量输入到模糊控制器中,得出 ΔQP 的模糊推理结果,并将其解模糊化,进入第 6 步,否则,进入第 5 步;

第 5 步 将 $\text{MAD}_{\text{ratio}}$ 和 T_{ratio} 依次代入式(9)和式(10),可计算出 ΔQP ,

$$\Delta QP = \text{floor}(\text{MAD}_{\text{ratio}} - T_{\text{ratio}} + 0.5) \quad (9)$$

$$\Delta QP = \max(-2, \min(\Delta QP, 2)) \quad (10)$$

第 6 步 当前宏块的量化参数为

$$Q'_{c(i)} = Q_{c(i-1)} + \Delta QP - Dq \quad (11)$$

式中, $Q_{c(i-1)}$ 为当前块左边已编码的宏块的量化参数值。为了保证图像质量平缓变化,当前宏块的最终量化参数为

$$Q_{c(i)} = \max(1, Q_{pf} - 6, \min(51, Q_{pf} + 6, Q'_{c(i)})) \quad (12)$$

第 7 步 对当前宏块进行编码,检查当前帧的宏块是否已编码完毕,已编完,进入第 1 步,否则,进入第 2 步。

5 实验结果

实验使用校验模型 JM8.6 作为测试视频编码软件。共取了 4 个 QCIF 格式的 clair, grandma, mother-daughter, saleman 和 3 个 CIF 格式的 tempete, bus, news 序列做测试,各视频序列都取 100 帧进行测试,测试条件:帧率为 30 fps,量化参数为 24,搜索范围为 32,参考帧为 10 帧,编码方式为 CAVLC。

为了比较码率输出的准确性,这里将文献[10]中定义的码率偏移 bit_rate_deviation 作为测试内容。观察新算法的实验结果,并与 JM8.6 原算法进行比较,其结果如表 3 所示。由于在编码条件相同的情况下,编码所使用的时间可以作为算法复杂度的一个反映。经多次实验发现各种序列使用新算法的编码时间与 JM8.6 原算法的都有一定程度的减少,减少幅度为 5% 左右。这说明新算法的复杂度确有下降。

表 3 两种算法的实验结果

Tab. 3 Results of new rate control scheme and JM8.6 scheme

序列	目标码率 (kbps)	PSNR		实际码率 (kbps)		平均比特误差 (%)	
		JM8.6	NewRC	JM8.6	NewRC	JM8.6	NewRC
clair	64	42.40	42.92	64.31	64.05	26.94	10.63
	48	41.20	41.66	48.28	47.99	31.80	14.17
grandma	64	38.52	39.07	64.24	64.00	23.55	13.30
	48	37.42	38.02	48.27	48.04	25.62	10.85
mother-daughter	64	38.87	39.05	64.38	64.04	46.06	5.63
	48	37.64	37.78	48.26	48.02	47.43	6.08
saleman	64	35.70	36.03	64.21	63.88	28.91	20.67
	48	34.50	34.90	48.22	47.88	32.08	21.15
tempete	256	28.96	29.23	257.03	256.24	30.05	4.70
	192	27.58	27.58	193.07	192.14	29.76	13.89
bus	256	26.88	27.16	258.91	256.17	26.98	8.91
	192	25.01	25.33	193.83	191.93	31.83	18.57
news	256	39.06	39.39	257.29	255.49	13.76	17.82
	192	37.81	38.13	193.00	191.78	16.59	21.74

从表 3 中可以看出,新算法相对于 JM8.6 原算法来说,码率控制更加准确,图像 PSNR 平均提高 0.35 dB。图 4 和图 5 给出了分别采用两种算法的

clair 和 saleman 序列在恒定码率为 64 kbps 时的输出码率曲线。不难看出,新算法在输出码率平稳性方面明显比 JM8.6 原算法优秀。

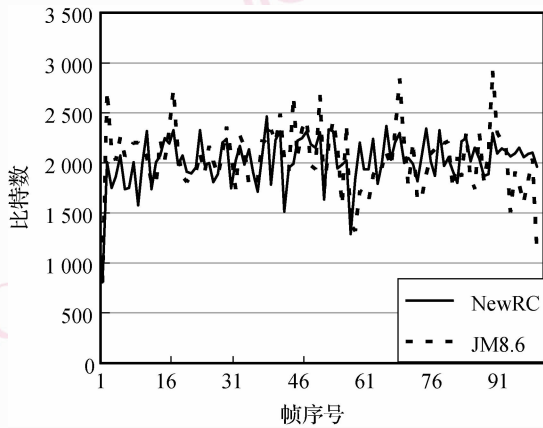


图 4 clair 序列码率输出曲线图

Fig. 4 Output stream curve of clair sequence

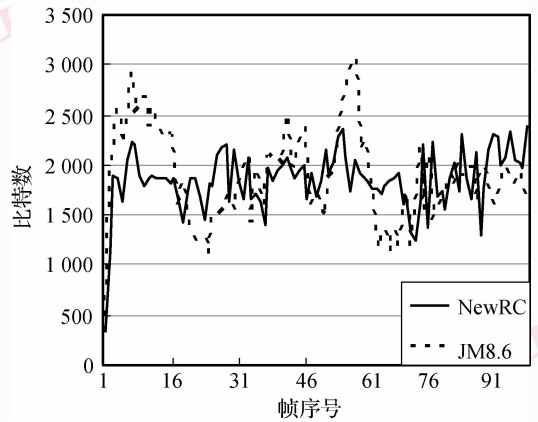


图 5 saleman 序列码率输出曲线图

Fig. 5 Output stream curve of saleman sequence

6 结 论

提出了利用相邻宏块的相关性加权预测 MAD 值的方法,尝试了采用模糊控制方法对码率进行控制,并以此提出了一种基于 H.264 的宏块层码率控制算法。经实验证明,与 JM8.6 原算法相比较,新算法在图像恢复质量,码率控制精度,码率输出的平稳性等方面都有所提高,并且算法的复杂度也有一

定程度的降低。

参考文献 (References)

- 1 ISO/IEC 14496-10 AVC. Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification[S].
- 2 Li Zheng-guo, Pan Feng, Lim Keng-pang, et al. Adaptive base unit layer rate control for JVT, JVT-G012[A]. In: Proceedings of the 7th JVT Meeting, Pattay II [C], Thailand, 2003, 17(3).
- 3 Xu Ping, Fu Pei-hua, Xu Wei-dong, et al. A new rate control algorithm for H.264[A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on

- Integration Technology, 2007, ICIT' 07 [C], Shenzhen, China, 2007:574-578.
- 4 Kamaci N, Altunbasak 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.
- 5 Chiang Ti-hao, Zhang Ya-qin. A new rate control scheme using quadratic rate distortion model[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1997, 7(1):440-446.
- 6 Cheng Bo, Chen Zhen-yong, Xiong Zhang. Improvement of rate control algorithm in H.264 Standard [J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(24):94-96. [程波, 陈真勇, 熊璋. H.264 视频标准中码率控制算法的改进[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(24):94-96.]
- 7 Xu Ping, Zou Shao-fang, Li Yi, et al. A New linear rate control algorithm for H.264 based on PID control [A]. In: Proceedings of the 2nd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications. 2007. ICIEA [C], Harbin, 2007:2058-2061.
- 8 Wong C W, Au C O, Lam H K. PID-based real-time rate control [A]. In: Proceedings of IEEE Conference on Multimedia and Expo, 2004. ICME'04 [C], Taipei, China, 2004, 1:221-224.
- 9 Zhou De-jian, Wu Bin. Intelligent Control [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2005. [周德俭, 吴斌. 智能控制 [M]. 重庆: 重庆大学出版社 2005.]
- 10 Zhu Guang-xi, Li Xiao, Lu Dong-xin, et al. Research about rate control on low bit rate [J]. Computer & Digital Engineering, 2006, 33(6):1-5. [朱光喜, 李霄, 芦东昕等. 低码率下码率控制策略的研究 [J]. 计算机与数字工程, 2006, 33(6):1-5.]