

文章编号:2095-3041(2014)00-0070-05 DOI:10.13265/j.cnki.jxlgdxxb.2014.01.012

一种改进的 H.264 帧层码率控制算法

吴 军, 胡建总, 谢 斌, 王怡爽

(江西理工大学信息工程学院,江西 赣州 341000)

摘 要:针对 H.264 码率控制算法在缓冲区控制上的不足,提出一种改进的帧层码率控制算法.对缓冲区进行监视,根据已编码帧实际缓冲与目标缓冲占用率的情况进行量化参数的调整.当实际缓冲偏离目标缓冲较大时,适当增大或者减小量化参数,使编码后实际缓冲更接近目标缓冲,防止缓冲发生上溢或下溢.仿真结果表明,对于纹理简单的序列,改进的算法在 PSNR 几乎不变的情况下,得到了更精确的码率控制,实际缓冲更接近目标缓冲,缓冲区占有率更稳定.

关键词:H.264;码率控制;目标缓冲;量化参数

中图分类号:TN919.81 **文献标志码:**A

An improved rate control algorithm of frame layer for H.264

WU Jun, HU Jian-zong, XIE Bin, WANG Yi-shuang

(School of Information Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China)

Abstract: For the shortage of the buffer control for H. 264 rate control algorithm, an improved frame layer rate control algorithm is proposed. First monitoring the buffer occupancy, then adjust quantization parameter based on the situation of actual buffer and the target buffer occupancy of encoded frame. When the actual buffer deviating from the target buffer large, appropriate increase or reduce the quantization parameter, make the actual buffer closer to the target buffer, therefore prevent buffer overflow or underflow. Simulation results show the PSNR of new algorithm is almost constant, the actual buffer is closer to the target buffer, and more steady.

Key words:H.264;rate control;target buffer;quantization parameter

0 引 言

码率控制是视频编码中很重要的一部分. 在各种视频压缩编码标准中,提出了相应的码率控制模型, 如 MPEG-2 的 TM5,H.263 的 TMN8 以及 MPEG-4 的 VM5. 由于量化参数同时用在码率控制和率失真优化(RDO),在编码模式选择之前要有一个量化参数,量化参数的计算需在码率控制部分由平均绝对误差 (Mean Absolute Difference, MAD) 计算得出,而 MAD 要在编码后才能得出,这样就

导致一个鸡蛋悖论. 码率控制就是解决在一定的编码资源下,如何按图像复杂度的不同分配适当的编码资源,使编码后在图像质量和缓冲区之间保持一个平衡,既要有合理的编码图像质量,又要合理控制缓冲区占用率(Buffer Occupancy),使缓冲区既不上溢也不下溢,减少编码延时.

H.264 并没有规定码率控制的标准,不同的应用场合需要不同的码率控制方法,如针对快速运动场景和慢运动场景、场景切换、人眼视觉特性、前景区域和背景区域、B 帧的存在情况等等. 目前,针对 H.264 视频压缩编码标准,众多学者提出了相应的

收稿日期:2013-08-29

基金项目: 江西省教育厅青年科学基金项目(GJJ11132)

作者简介:吴 军(1963-),男,副教授,主要从事嵌入式系统与视频编码等方面的研究, E-mail:hujianzong1987@163.com.

码率控制方案. 其中经典的有马思伟博士提出的基于二次编码的码率控制提案 JVT-F086^[1],Li Z G 等人提出的基于线性预测模型的分层码率控制提案 JVT-G012^[2],都取得了比较好的码率控制效果. 除此之外,还有 JVT-H016,JVT-W042 等相应的码率控制提案.

大多针对码率控制算法的改进都是基于对图像复杂度的预测方法上,如文献[3]提出采用 APIBP 和 PSNR 的加权来预测图像复杂度;文献[4]采用 BH(Block Histogram Difference)计算图像复杂度,取得了一定的效果;杨晓琴等人利用衡量图像复杂度^[5-10]的方式作改进,并得到了一定的码率控制效果;Jiang M 等人利用图像相对复杂度^[11-12]对其进行比特分配,从而得到更精确的帧层和基本单元层码率控制.

本文针对缓冲区控制的不足,对其进行改进. 首先实时监控缓冲区占用率,然后根据缓冲区情况进行量化参数的调整,最后通过实验验证该算法在保持图像质量几乎不变的情况下可以获得更好的缓冲区控制.

1 G012 中的码率控制策略

1.1 码率控制算法中的漏桶模型

由于带宽的限制,编码器需要合理控制缓冲区占用度,使编码后输入到缓冲区的数据、缓冲区本身占有率、缓冲区数据输出能力三者之间要有一个平衡度,即编码每帧后缓冲区既不上溢也不下溢. 如果上溢,则丢失数据,将影响编码后的图像质量;如果下溢,则影响在实时视频通信中的解码端工作. 码率控制模块和缓冲区之间的关系如图 1 所示. 由图 1 可知,缓冲区连接在编码端和信道之间,相当于一个数据缓冲区,编码端不断的往缓冲区输入编码数据,而缓冲区也按一定的数据量向信道传输编码比特.

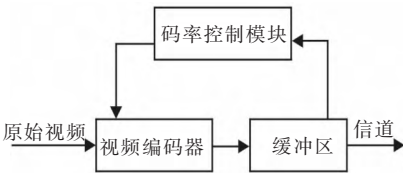


图 1 码率控制基本原理

H.264 视频编码标准的码率控制策略 JVT-G012 把缓冲区看做为一个漏桶模型,数学模型如下:

$$B_c(n_{j+1})=B_c(n_j)+A(n_j)-\frac{u(u_j)}{F_r}$$

(1)

$$B_c(n_0)=0$$

其中, $B_c(n_{j+1})$ 为编码一帧后实际缓冲的大小, $B_c(n_0)$ 为初始缓冲值, $A(n_j)$ 为编码每帧后产生的实际比特数, $u(u_j)$ 为帧率, F_r 为带宽. 其原理为:缓冲区尺寸固定,设定初始缓冲,编码每帧后产生的实际比特输入到缓冲区,同时缓冲区向信道按一定的速度传输数据,这样,保证编码过程中输入到缓冲和由缓冲输出的数据保持一个平衡,使缓冲既不满也不为空,整个序列编码完后缓冲为初始缓冲大小.

1.2 码率控制中的比特分配

JVT-G012^[2]与 JVT-H017^[13]采用由缓冲状况和剩余比特加权的方法对每一帧分配目标比特,分别由缓冲占用率和剩余比特计算其应分配的比特,再利用两者加权的方式确定应该分配给该帧的目标比特. 由于第一个 P 帧采用初始 QP 编码,编码完第一个 P 帧后缓冲定义为:

$$B_{\text{target}}(n_1)=B_c(n_1)$$

(2)

之后编码各 P 帧后的目标缓冲如下:

$$B_{\text{target}}(n_{j+1})=B_{\text{target}}(n_j)-\frac{B_{\text{target}}(n_1)}{N_p-1}$$

(3)

$B_{\text{target}}(n_j)$ 为编码当前帧时前一帧的目标缓冲, N_p 为 P 帧数目. 最后,由缓冲区占用率和剩余比特两者的加权确定分配给该帧的比特为:

$$f(n_j)=(1-\varepsilon)*\frac{T_r}{N_r}+\varepsilon*\{\frac{u(n_j)}{F_r}+\mu(B_{\text{target}}(n_j)-B_c(n_j))\}$$

(4)

其中, T_r 为剩余比特, N_r 为剩余未编码的帧, $u(n_j)$ 为带宽, F_r 为帧率. $(B_{\text{target}}(n_j)-B_c(n_j))$ 为实际缓冲和目标缓冲之差, μ 和 ε 为常数,其值由 B 帧存在的情况确定. 由于比特分配是采用加权的预测方式,因此是一种近似的计算,实际编码过程中目标比特和实际比特不一致. 最后对得到的目标比特进行限制:

$$L(n_j)=L(n_{j-1})+\frac{u(n_{j-1})}{F_r}-b(n_{j-1})$$

(5)

$$U(n_j)=U(n_{j-1})+(\frac{u(n_{j-1})}{F_r}-b(n_{j-1}))\times\kappa$$

$$\tilde{f}(n_{i,j})=\max\{L(n_{i,j}),f(n_{i,j})\}$$

(6)

$$\tilde{f}(n_{i,j})=\min\{U(n_{i,j}),f(n_{i,j})\}$$

其中, $L(n_j)$ 和 $U(n_j)$ 分别为分配比特的下界和上界, κ 为常数, $\tilde{f}(n_j)$ 为最后确定分配的比特.

1.3 G012 码率控制算法的不足

G012 码率控制算法没有设计如何监视缓冲状况,如果在编码当前帧之前缓冲占用率已经比较高,而当前帧又是复杂度比较高的帧,则在编码后

缓冲区可能会很大程度地偏离目标缓冲甚至发生溢出的危险,将丢失已编码的数据. 因此,当发现实际缓冲偏离目标缓冲较大时,应适当调整量化参数.

图 2 所示为 QCIF 4:2:0 格式的“carphone”序列在帧率为 10 帧/s,序列结构为 IPPP……,目标比特率为 64 kbps 下编码后的缓冲区状况. 由图可知,在第 8 帧左右,编码后实际缓冲远远偏离了目标缓冲,而且已经发生上溢,缓冲区最大尺寸为 25000 bit,这时可能会导致数据丢失,从而影响编码图像质量. 因此,控制缓冲占用率是码率控制很重要的一个目标. 码率控制要保证编码后缓冲区既不上溢也不下溢,合理控制在目标缓冲附近. 因此,应实时监视缓冲区状况,根据缓冲区占用率合理调整量化参数,使编码后实际缓冲更接近目标缓冲.

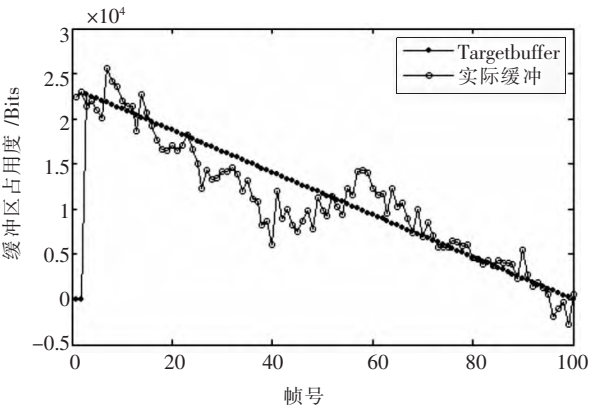


图 2 “carphone”序列编码后缓冲区状况

2 改进的码率控制算法

针对以上提出的 H.264 码率控制算法 JVT-G012 的不足之处,本文对缓冲区的控制作如下的改进. 采用 $B_T_{ratio}(n_j)$ 作为实际缓冲大小和目标缓冲大小之间的差值比例,定义如下:

$$B_T=|B_c(n_{j-1})-Tb_l(n_{j-1})| \tag{7}$$

$$B_T_{ratio}(n_j)=\frac{B_T}{\sum_{i=2}^{j-1}|B_c(n_i)-Tb_l(n_i)|/(j-2)} \tag{8}$$

其中, B_T 为在编码第 j 个 P 帧时第 $j-1$ 帧实际缓冲和目标缓冲差值的绝对值,反映了前一帧编码后实际缓冲和目标缓冲的偏离程度, $\sum_{i=2}^{j-1}|B_c(n_i)-Tb_l(n_i)|/(j-2)$ 为在编码该帧之前已编码的 P 帧的实际缓冲和目标缓冲差值的平均值,即平均偏离程度,因此, $B_T_{ratio}(n_j)$ 能很好的反映在编码当前帧之前缓冲区的状况,因此可以利用 $B_T_{ratio}(n_j)$ 的值大小调整量

化参数,使编码后实际缓冲更接近目标缓冲. 为了统计 $B_T_{ratio}(n_j)$ 的值分布情况,采用“foreman”序列, IPPPPP……,即除第一帧为 I 帧外其他为 P 帧,目标比特率设为 24 kbps,共编码 100 帧,帧率为 10 帧/s 进行测试,测试结果如图 3.

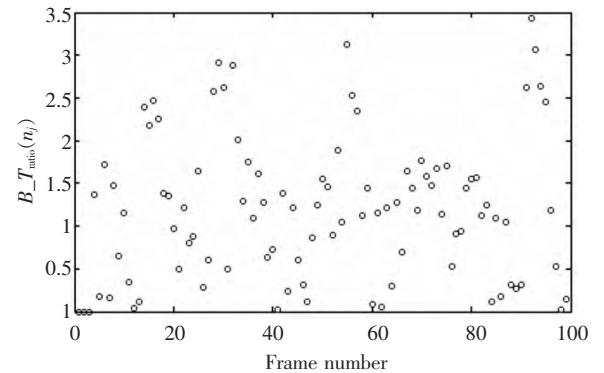


图 3 $B_T_{ratio}(n_j)$ 的分布情况

因此,可在编码第 j 个 P 帧前通过 $B_T_{ratio}(n_j)$ 来调整第 j 个 P 帧 QP 的大小,调整方法如下:

$$QP=\begin{cases} \hat{Q}P+1, 1<B_T_{ratio}(n_j)<2, (B_c(n_{j-1})-Tb_l(n_{j-1}))>0 \\ \hat{Q}P-1, 1<B_T_{ratio}(n_j)<2, (B_c(n_{j-1})-Tb_l(n_{j-1}))<0 \\ \hat{Q}P+2, B_T_{ratio}(n_j)\geq 2, (B_c(n_{j-1})-Tb_l(n_{j-1}))>0 \\ \hat{Q}P-2, B_T_{ratio}(n_j)\geq 2, (B_c(n_{j-1})-Tb_l(n_{j-1}))<0 \end{cases} \tag{9}$$

$\hat{Q}P$ 为由 H.264 原码率控制算法 JVT-G012 计算得出的量化参数,式(9)中各常数为经验值. 式(9)是由经验而设定的 QP 调整方法,具有普遍实用性,为了保持前后帧图像质量的连续性和稳定性,再对得到的 QP 进行限制, $QP_{previous}$ 为前一帧的量化参数.

$$QP'=\max\{1, QP_{previous}-1, \min\{QP, QP_{previous}+1, 51\}\} \tag{10}$$

以上算法的改进原理为: 在编码当前帧之前,由前一帧实际缓冲和目标缓冲差值的绝对值,和已编码 P 帧的实际缓冲和目标缓冲偏离程度的平均值,计算出前一帧编码后缓冲占用度相对偏离程度,来自适应调整 QP,即调整编码后实际产生的比特数,合理控制缓冲区. 当 $1<B_T_{ratio}(n_j)<2$,且实际缓冲大于目标缓冲时,要增加量化参数,减少编码后实际产生的比特;同理,当实际缓冲小于目标缓冲,则相应减小量化参数,从而增加编码后实际产生的比特数,使编码后实际缓冲更接近目标缓冲,维持缓冲稳定.

3 实验结果与分析

为了测试本文改进的算法对缓冲区控制的效

果,采用 JM10.2 官方标准测试模型.分两组实验,第一组测试序列为“Foreman”和“Carphone”,即运动较缓慢和纹理较平滑的序列,第二组测试序列为“Mobile”和“Football”,即快速运动和纹理较复杂的序列,序列格式为 QCIF 4:2:0,图像尺寸为 176×144(像素),共编码 100 帧,帧率为 10 帧/s,I 帧周期为 0,即 IPPPPP……,初始 QP 由码率控制计算初始 QP 部分得出,采用 CABAC 熵编码,Hardamard 变换开启,开启 RDO,搜索范围为 16,参考帧数为 2,基本单元为一帧.实验设置的目标比特率为 24 kbps 和 64 kbps.采用 CPU 为双核 AMD,主频为 2.21G,内存为 2G 的 PC 机作为实验平台.实验结果分别如表 1、表 2 和图 4、图 5、图 6、图 7 所示.

表 1 两种算法性能比较(慢运动序列)

序列	目标码率 /kbps	PSNR /db		实际码率 /kbps	
		JM10.2	本文	JM10.2	本文
Foreman	24	33.29	33.24	23.88	23.91
	64	38.60	38.55	63.79	63.87
Carphone	24	35.67	35.61	24.05	24.03
	64	40.51	40.50	64.07	63.99

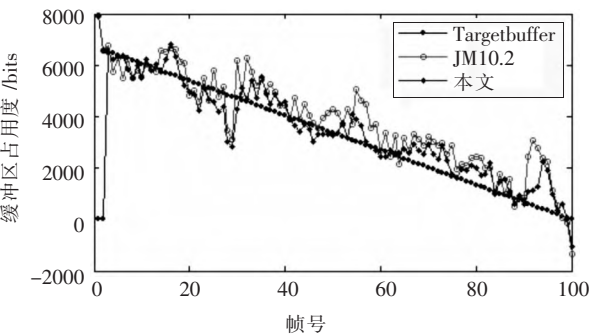


图 4 “Foreman”缓冲区情况 Bitrate=24 kbps

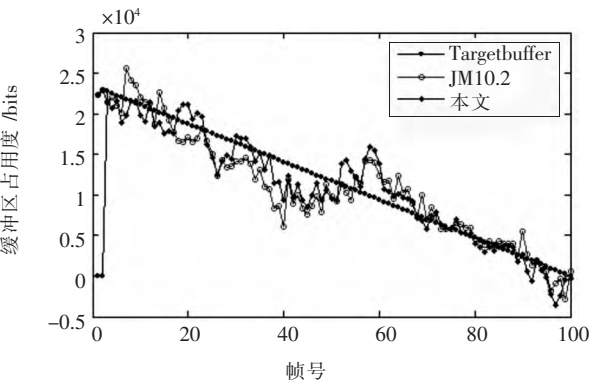


图 5 “Carphone”缓冲区情况 Bitrate=64 kbps

表 2 两种算法性能比较(快速运动序列)

序列	目标码率 /kbps	PSNR /db		实际码率 /kbps	
		JM10.2	本文	JM10.2	本文
Mobile	24	25.54	25.58	24.12	24.13
	64	29.61	29.50	64.25	64.03
Football	24	24.96	24.56	24.05	24.02
	64	28.34	27.79	64.05	63.97

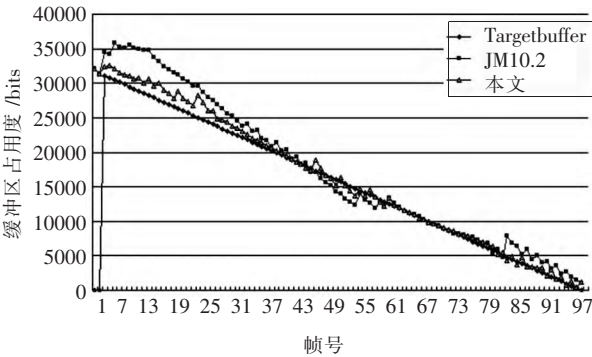


图 6 “Mobile”缓冲区情况 Bitrate=24 kbps

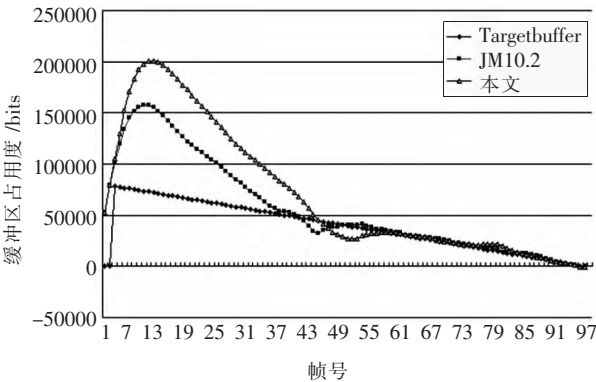


图 7 “Football”缓冲区情况 Bitrate=64 kbps

对于慢运动序列,即纹理简单的视频序列,从表 1 可以看出,改进的算法对 PSNR 并没有很大影响,PSNR 几乎保持不变,即图像质量几乎未受到影响,码率控制效果比 JM10.2 更好,实际码率更接近目标码率,即码率控制误差更小.从图 4 和图 5 可以看出,本文方法得到的实际缓冲更接近目标缓冲,缓冲区占有率更加稳定平滑,没有出现上溢和下溢的现象.特别是图 5 中所示的“Carphone”序列在比特率为 64 kbps 下的编码结果, JM10.2 算法下得到的缓冲在第 8 帧出现溢出的现象,而本文方法很好地控制了缓冲大小,没有出现上溢的现象.

对于快速运动序列,即纹理相对复杂的序列,

从表 2 可知,对于改进的算法,PSNR 有所下降,但码率控制相对更好,更贴近目标码率,码率控制误差更小,但这是在牺牲 PSNR 情况下得到的更精确的码率控制. 从图 6 可知,对于复杂的视频序列,本文算法下能得到更好的缓冲区状况,实际缓冲更逼近目标缓冲. 对于图 7,本文算法下得到的缓冲区控制相对较差. 因此综上所述,本文方法适用于纹理较简单的序列,对于纹理较复杂的序列,缓冲区控制效果并非很好,因此应寻找其他的方法来应对复杂序列缓冲区控制问题.

4 小 结

在 H.264 码率控制算法 JVT-G012 的基础上,对缓冲占用率的控制情况进行分析并对其不足之处作改进. 实时跟踪缓冲区占用率,并根据缓冲区状况调整量化参数,使编码后实际缓冲尽量接近目标缓冲. 仿真实验表明,对于纹理简单的视频序列,在 PSNR 几乎不变的情况下,即不影响编码后图像主观质量,实际缓冲更接近目标缓冲,缓冲曲线更平滑,合理控制了缓冲区的稳定,在图像质量和缓冲区之间取得了较好的平衡. 对于运动剧烈的视频序列,PSNR 有所下降,实际码率更逼近目标码率,但缓冲区控制却无规律可言,新方法下有的序列缓冲区控制更好,但有的序列缓冲区控制效果不佳,因此,对于快速运动序列,如何控制缓冲区溢出,得到更精确的缓冲区控制效果,将是以后的研究工作.

参考文献:

[1] 马思伟. 基于率失真优化的视频编码研究[D]. 北京:中国科学院计算技术研究所,2005.

[2] Li Z G, Pan F, Lim K P, et al. Adaptive basic unit layer rate control for JVT [C]//JVT -G012 -r1, 7th Meeting, Pattaya II, Thailand. 2003, 14.

[3] 魏显超,张翠芳,闫小涛. 低码率下的 H.264 宏块级码率控制方法[J]. 计算机应用研究,2009,26(7):2796-2800.

[4] 兰 天,顾学迈. 基于 BH 帧层码率控制算法[J]. 遥测遥控,2008,29(4):45-51.

[5] 杨晓琴,季晓勇,盛任农,等. 基于 H.264 的码率控制[J]. 计算机工程与应用,2011,47(13):186-187.

[6] 罗圣敏. 一种视频编码技术码率控制算法的改进[J]. 计算机仿真,2010,27(5):359-362.

[7] 吕振斌,王惠南. 一种 H.264 基本单元层的码率控制算法[J]. 电视技术,2009,33(1):45-47.

[8] 刘 启,石志强. 一种 H.264 帧级码率控制改进算法[J]. 计算机仿真,2008,25(5):105-108.

[9] 丁 文,张浩平,胡鹏莎. 一种改进的 JVT-H017 码率控制算法[J]. 计算机工程,2012,38(6):238-240.

[10] 王昭顺, 张 平. 基于 H.264/AVC 的一种新的帧-层码率控制算法[J]. 计算机应用,2005,25(12):2800-2802.

[11] Jiang M, Yi X, Ling N. Improved frame-layer rate control for H. 264 using MAD ratio[C]//Circuits and Systems, 2004. ISCAS'04. Proceedings of the 2004 International Symposium on. IEEE, 2004, 3: III-813-16.

[12] Jiang M, Ling N. An improved frame and macroblock layer bit allocation scheme for H. 264 rate control [C]//Circuits and Systems, 2005. ISCAS 2005. IEEE International Symposium on. IEEE, 2005: 1501-1504.

[13] Ma S, Li Z, Wu F. Proposed draft of adaptive rate control[C]// Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG, Doc. JVT-H017r3, 8th Meeting, Geneva. 2003: 20-26.