

文章编号:1001-9081(2009)04-1008-03

# 一种 H. 264 帧层码率控制的改进算法

段厚勇, 汪同庆

(重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400044)

(dhouyong@163.com)

**摘要:** 在 H. 264 的现有帧层码率控制算法的基础上, 提出了一种新的基于场景切换的码率控制算法。用 P 帧亮度分量的 MAD 比率和 YUV 三分量的均值相对变化的加权和来表示图像的复杂程度, 并以此来分配目标码率、调整量化参数, 并且编码时利用比特调整因子对分配的目标码率进行修正。在 JM10.2 平台下的测试结果表明, 与 JVT-G012 中的算法相比, 该算法在精确控制码率的同时, 图像的视觉质量也得到了提高。

**关键词:** H. 264; 码率控制; 场景切换; 复杂程度; 目标码率

中图分类号: TN919.81; TP391 文献标志码:A

## Improved frame-layer rate control algorithm for H. 264

DUAN Hou-yong, WANG Tong-qing

(Key laboratory of Optoelectronic Technology and Systems Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** A new rate control algorithm based on scene change was proposed on the basis of H. 264 frame-layer. The complexity of image was measured by the weighted sum of the ratio of Mean Absolute Difference (MAD) of P-frame luma coefficient and the relative changes of YUV's mean value, then the target rate was allocated and the quantitative parameters were adjusted according to the complexity. Meanwhile the target rate can be adjusted by using bits compensative factor. Compared to the algorithm in JVT-G012, the experimental results under the JM10.2 show that both the accuracy of rate controlling and the quality of reconstructed images can be improved if using the algorithm.

**Key words:** H. 264; rate control; scene change; complexity; target rate

## 0 引言

多媒体通信系统中, 压缩的视频码流需要在带宽不一致且变化的网络上传输, 视频编码器的过速率输出会导致不可想象的业务拥塞, 并会导致网络阻塞; 另一方面, 视频编码器输出码率无控制地减少, 会导致不必要的质量下降及对现存网络资源的低效利用。在实际传输中, 由于网络带宽、存储空间以及延时等的限制, 必须将码率波动限制在一定范围内, 这时就需要采用合理的、有效的码率控制算法, 以获取在质量和带宽利用上的最佳平衡。

本文所提出的控制方案是应用在恒定比特率 CBR 环境中的, 即传输带宽基本是恒定的, 控制方案要根据视频序列的复杂程度来调整控制参数使得编码后比特率基本恒定, 从而满足恒定带宽的要求。

JVT-G012 提案是 H. 264 码率控制的优秀提案, 它秉承了 MPEG-2 的 TM5 算法的均等比特分配方案, 这种均等比特分配策略并没有考虑图像本身的复杂程度以及它所引起的视频质量波动。H. 264/AVC 中采用了文献[2]中提出的分层码率控制算法, 包括 GOP 层、帧层和基本单元层。本文对 H. 264 码率控制算法进行了深入详细的研究, 并在此基础上进行了相应的改进: 主要基于帧层提出了基于图像复杂程度来分配目标比特的策略, 并利用复杂程度对量化参数进行调整, 利用比特调整因子对目标比特进行修正。

## 1 H. 264 帧层码率控制

### 1.1 算法流程

帧层的控制主要用于对 P 帧的控制。帧层码率控制的三

个主要步骤为: 预测当前帧的 MAD 值, 分配目标比特数及用二次 R-D 模型计算量化参数。

首先, 在 JM 模型中, 对 MAD 值的预测一般采用线性预测模型, 即根据前一帧的 MAD 值, 预测出当前帧的 MAD 值。其在文献[2]中已有详细阐述。

其次, 帧层码率的分配主要取决于两个因素: 一个是缓冲器的占用量, 另外一个是剩余比特。根据缓冲器占用量而分配的比特数为:

$$\hat{f}(n_{i,j}) = U(n_{i,j})/F_r + \gamma(Tbl(n_{i,j}) - B_c(n_{i,j-1})) \quad (1)$$

其中,  $Tbl(n_{i,j})$  表示预定的第  $j$  帧的目标缓冲器占用量,  $B_c(n_{i,j-1})$  表示完成第  $j-1$  帧编码后缓冲器的实际占用量,  $U(n_{i,j})$  表示比特率,  $F_r$  表示帧率,  $\gamma$  为常数。

根据剩余比特而分配的比特数为:

$$\hat{f}(n_{i,j}) = T_r(n_{i,j})/N_p \quad (2)$$

其中,  $T_r(n_{i,j})$  表示当前 GOP 中编码第  $j$  帧前剩余的比特总数,  $N_p$  是当前 GOP 中尚未编码的 P 帧帧数。于是, P 帧最后的目标比特数表示为式(1)和式(2)的加权和:

$$f(n_{i,j}) = \beta \times \hat{f}(n_{i,j}) + (1 - \beta) \times \hat{f}(n_{i,j}) \quad (3)$$

最后, 利用二次 R-D 模型计算帧的 QP, 公式为:

$$\frac{T_c(i) - T_h(i)}{MAD_c(i)} = \frac{X_1}{Q_i} + \frac{X_2}{Q_i^2} \quad (4)$$

其中,  $T_h(i)$  为用于运动矢量和头信息的编码比特数,  $MAD_c(i)$  为亮度信号的平均绝对差值,  $Q_i$  为量化级, 可以转化为量化参数  $QP$ 。 $X_1$  和  $X_2$  是 R-D 模型参数, 每编码完一帧后更新。求得量化参数  $QP$  后, 即可进行率失真优化的模式判别并求出当前帧实际的 MAD 值。

收稿日期: 2008-10-16; 修回日期: 2008-11-27。 基金项目: 国家科技支撑计划项目(2007BAC06B06)。

作者简介: 段厚勇(1982-), 男, 四川蓬溪人, 硕士研究生, 主要研究方向: H. 264 视频压缩编解码、信息获取与处理; 汪同庆(1949-), 男, 重庆人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 光机电一体化技术、计算机自动识别。

## 1.2 帧层码率控制的缺点

由帧层码率控制步骤可见,帧层码率控制中目标比特的分配的合理性和准确性至关重要,它直接影响着式(4)中量化级 $Q$ 的计算值,从而影响后续的编码模式判别,最终影响编码质量和效率。帧层码率控制中,根据剩余比特平均分配而得到的目标比特数不准确,它是基于图像间的复杂度变化很小的假设,但当遇到高速运动的物体或场景切换时,这时目标比特平均分配的策略将会出现偏差。

## 2 帧层码率控制的改进

实际序列中,相邻帧或变化缓慢,或发生场景切换,帧间的图像复杂程度不同。故引入图像复杂程度的概念,并以此来分配目标比特。

### 2.1 图像复杂程度表示

首先,我们知道,即使所有的编码参数保持恒值,序列编码输出的比特并不是常量,而是彼此不同的。不同帧所产生的比特数随着MAD值不同而不同,对于MAD值大的帧需要分配更多的目标比特,反之对于MAD值小的帧则需分配较少的目标比特。因此,当前图像的MAD值大小反映了其预测残差的编码复杂程度<sup>[9]</sup>。

其次,通过对视频序列的统计分析发现,当有场景切换时,相邻图像在灰度和色彩信息上有很大的区别,而没有场景切换的时候,整个序列的灰度和色彩分量基本处于平稳或缓变的状态<sup>[10]</sup>。选择有场景切换的football序列,在场景切换处YUV均值发生突变,如图1所示。选择无场景切换的silent序列,YUV均值变化缓慢,如图2所示。由此可知,Y、U和V三个分量均值的相对变化也反映了图像的编码复杂程度。

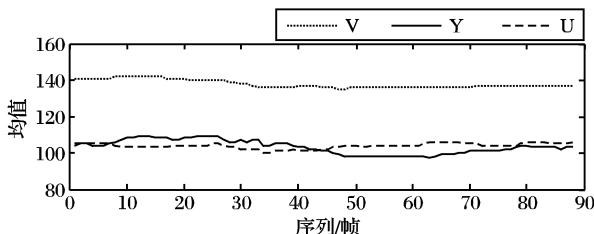


图1 有场景切换的football序列各分量的均值曲线

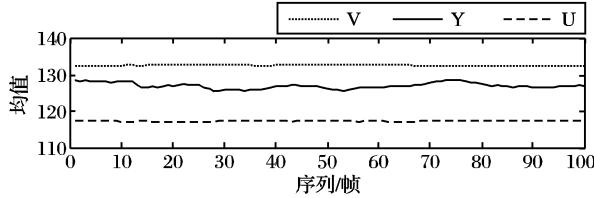


图2 无场景切换的silent序列各分量的均值曲线

### 2.2 分配目标比特

由2.1节分析可知,不仅MAD值,而且灰度和色彩均值的相对变化也能够反映图像的复杂程度。因此,参考文献[9],本文在帧层码率控制算法中使用了 $MAD_{ratio}(i,j)$ 和 $MEAN_{ratio}(i,j)$ 的加权和对图像复杂度进行检测,即:

$$FC(i,j) = \omega \times MAD_{ratio}(i,j) + (1 - \omega) \times MEAN_{ratio}(i,j) \quad (5)$$

其中, $FC(i,j)$ 为图像复杂度, $(i,j)$ 为第*i*个GOP的第*j*帧, $\omega$ 为权重系数,本文取值为0.6。 $MAD_{ratio}(i,j)$ 为第*j*帧的MAD值与第*j*帧前已编码*P*帧的MAD平均值的比率,即:

$$MAD_{ratio}(i,j) = \frac{MAD_{cp}(i,j)}{\frac{1}{j-1} \times \sum_{l=1}^{j-1} MAD_p(i,l)} \quad (6)$$

$MEAN_{ratio}(i,j)$ 为第*j*帧的YUV的均值和与第*j*帧前YUV均值和的平均值的相对变化。令 $MEAN_{YUV}(i,j)$ 为第*i*个GOP第*j*帧的YUV的均值和, $DIFF_{YUV}(i,j)$ 表示第*j*帧的YUV的均值和与第*j*帧前YUV均值和的平均值的差值, $AVG\_DIFF_{YUV}(i,j-1)$ 表示第*j*帧前的 $DIFF_{YUV}(i,j)$ 的平均值,公式如下:

$$MEAN_{YUV}(i,j) = MEAN_Y(i,j) + MEAN_U(i,j) + MEAN_V(i,j) \quad (7)$$

$$DIFF_{YUV}(i,j) = MEAN_{YUV}(i,j) - \frac{1}{j} \sum_{m=0}^{j-1} MEAN_{YUV}(i,m) \quad (8)$$

$$AVG\_DIFF_{YUV}(i,j-1) = \frac{1}{j-1} \times \sum_{l=1}^{j-1} (| DIFF_{YUV}(i,l) |) \quad (9)$$

如果 $DIFF_{YUV}(i,j)$ 大于0,即当前帧YUV均值和大于先前编码帧均值和的平均值,本文要保证 $MEAN_{ratio}(i,j)$ 大于1,且 $| DIFF_{YUV}(i,j) |$ 越大, $MEAN_{ratio}(i,j)$ 越大, $DIFF_{YUV}(i,j)$ 越小, $MEAN_{ratio}(i,j)$ 越接近1。

如果 $DIFF_{YUV}(i,j)$ 小于0,即当前帧YUV均值和小于先前编码帧均值和的平均值,本文要保证 $MEAN_{ratio}(i,j)$ 小于1,且 $| DIFF_{YUV}(i,j) |$ 越大, $MEAN_{ratio}(i,j)$ 越小, $| DIFF_{YUV}(i,j) |$ 越小, $MEAN_{ratio}(i,j)$ 越接近1。

如果 $DIFF_{YUV}(i,j)$ 等于0,即当前帧YUV均值和等于先前编码帧均值和的平均值,本文要保证 $MEAN_{ratio}(i,j)$ 等于1。于是有:

$$MEAN_{ratio}(i,j) = \begin{cases} \frac{\lambda \times DIFF_{YUV}(i,j) + AVG\_DIFF_{YUV}(i,j-1)}{DIFF_{YUV}(i,j) + AVG\_DIFF_{YUV}(i,j-1)}, & DIFF_{YUV}(i,j) > 0 \\ 1, & DIFF_{YUV}(i,j) = 0 \\ \frac{- DIFF_{YUV}(i,j) + AVG\_DIFF_{YUV}(i,j-1)}{- \lambda \times DIFF_{YUV}(i,j) + AVG\_DIFF_{YUV}(i,j-1)}, & DIFF_{YUV}(i,j) < 0 \end{cases} \quad (10)$$

$\lambda$ 为常数,本文中取值为3。将式(10)的 $MEAN_{ratio}(i,j)$ 值带入式(5),计算复杂度 $FC(i,j)$ ,并对计算出的 $FC(i,j)$ 进行调整如下:

$$FC(i,j) = \begin{cases} 1.7, & FC(i,j) \geq 1.7 \\ FC(i,j) - 0.2, & 1.1 \leq FC(i,j) < 1.7 \\ FC(i,j), & FC(i,j) < 1.1 \end{cases} \quad (11)$$

于是,根据复杂度分配的目标比特为:

$$\hat{f}(n_{i,j}) = \frac{T_r(n_{i,j})}{N_p(n_{i,j-1})} \times FC(i,j) \quad (12)$$

### 2.3 调整比特数

在一个GOP中,前面帧是后续帧的参考帧,若前面帧分配较少的比特,后续帧将获得较差的预测从而使图像质量变差。故为前面的*P*帧分配较多的比特数,有利于提高后续*P*帧的编码质量。因此引入比特数调整参数 $\mu$ ,对目标比特进行调整。 $\mu$ 的定义如下:

$$\mu = \frac{1}{j-1} \sum_{i=2}^j (T_i - T_{i-1}) \quad (13)$$

其中: $T_i$ 表示第*i*帧的实际编码比特数,*j*表示已编码的*P*帧帧数。对式(3)计算的目标比特作如下调整:

$$f(n_{i,j}) = \beta \times (\hat{f}(n_{i,j}) + \mu) + (1 - \beta) \times \hat{f}(n_{i,j}) \quad (14)$$

### 2.4 调整量化参数

本文用相邻两帧的 $FC(i,j)$ 差值来表示是否发生场景切

换,因此需要记录当前帧的复杂度  $FC1(i,j)$ ,令前后两帧的复杂度差值为  $FC2(i,j)$ ,则:

$$FC1(i,j) = FC(i,j) \quad (15)$$

$$FC2(i,j) = |FC(i,j) - FC1(i,j-1)| \quad (16)$$

如果  $FC2(i,j) > \delta$ ,则认为图像发生场景切换(本文取  $\delta$  为 0.5)。否则,没有场景切换。

如果没有场景切换,按照 JM10.2 的方法对量化参数进行调整;如果有场景切换, $QP$  通过式(17)进行调整,其中  $m_Q$  为根据式(4)计算的当前帧的量化参数, $Q_p$  为前一帧的编码量化参数, $Q_0$  为第一个帧内编码初始量化参数。

$$Q'_c = \begin{cases} Q_p + 3, & T < 0 \\ \min(Q_0, m_Q - 3), & T \geq 0 \text{ 且 } FC(i,j) > FC1(i,j-1) \\ \min(Q_0, m_Q + 3), & T \geq 0 \text{ 且 } FC(i,j) < FC1(i,j-1) \end{cases} \quad (17)$$

### 3 实验结果

本文提出的码率控制算法是在 JM10.2 上实现的,测试序列编码采取 IPPP 结构,实验结果与 JVT-G012 算法进行比较。本实验对二种序列格式进行了测试:

1)4:2:0 的 QCIF 格式标准测试序列 foreman、claire 和 silent 的各 100 帧进行测试,帧率为 30fps,目标码率为 64 Kbps,

表 1 各序列的 PSNR 与比特率的实验结果

测试序列	G012 算法		本文算法		
	PSNR Y/dB	比特率/Kbps	PSNR Y/dB	PSNR Y 增益	比特率/Kbps
foreman	30.87	63.74	31.05	0.18	64.28
claire	43.45	63.78	43.58	0.13	64.19
silent	35.70	64.20	35.77	0.07	64.24
football	34.33	480.63	34.64	0.31	480.58
football	32.62	319.61	30.78	0.16	320.29
	29.73	159.85	29.85	0.12	160.24
bus	30.88	480.57	31.08	0.20	480.64
	29.02	320.43	29.15	0.13	320.55
bus	25.89	160.42	26.04	0.15	160.51

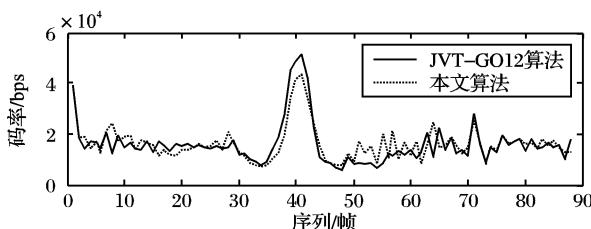


图 4 football 序列 2 种方法下的逐帧码率比较

### 4 结语

本文探索了图像复杂程度表示方法,提出了利用  $MAD_{ratio}(i,j)$  和  $MEAN_{ratio}(i,j)$  加权和来描述图像的复杂程度,以此来分配目标码率及调整量化参数,并利用比特调整参数对分配的目标比特进行调整。

通过实验结果对比分析,采用本文算法,可以有效降低场景切换对后续编码质量的影响,且更合理地分配码率,使编码后的视频图像质量更平稳,同时从整体上提升了视频序列的编码质量,平均 PSNR 最高提高了 0.31 dB。

### 参考文献:

- [1] WIEGAND T, SULLIVAN G J, BJONTE G, et al. Overview of the H.264/AVC video coding standard[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(7): 560–579.

I 帧和第 1 个 P 帧采用固定量化参数  $QP = 30$ ;

2)4:2:0 的 CIF 格式标准测试序列 football 和 bus 的各 88 帧进行测试,帧率为 30fps,目标码率为 480、320、160 Kbps,I 帧和第 1 个 P 帧采用固定量化参数  $QP = 35$ 。实验结果如表 1 所示。

由表 1 可知,本文提出的方法,对运动幅度较大、变化频率较高的 football 和 bus 序列来说,Y 分量的平均 PSNR 提高了 0.12 ~ 0.31 dB;对运动幅度较小的、变化频率比较低的 foreman、claire 和 silent 序列来说,Y 分量的平均 PSNR 提高了 0.07 ~ 0.18 dB。图 3 和图 4 给出了 football 序列在码率为 640 Kbps 下逐帧编码的 Y 分量的 PSNR 值及码率比较。

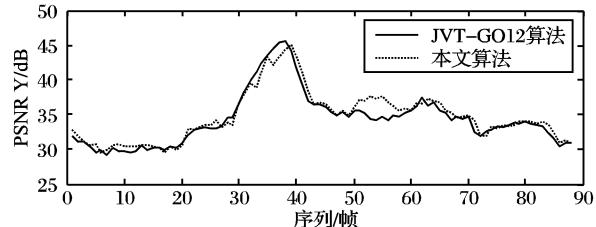


图 3 football 序列 2 种方法下的逐帧 Y 分量的 PSNR 比较

实验结果表明,本文的算法可以有效地提高 PSNR,特别是场景切换序列的编码质量得到了明显的改善,同时能够精确地控制码率。

- [2] LI Z G, PAN F, LIM K P, et al. Adaptive basic unit layer rate control for JVT[S]. Pattaya: ISO/IEC and ITUT, 2003.
- [3] CHIANG T, ZHANG Y Q. A new rate control scheme using quadratic rate-distortion modeling[J]. IEEE Transactions on Circuits Systems for Video Technology, 1997, 7(1): 246–250.
- [4] LEE H J, CHIANG T, ZHANG Y Q. Scalable rate control for MPEG-4 video[J]. IEEE Transactions on Circuits Systems for Video Technology, 2000, 10(6): 878–894.
- [5] VETRO A, SUN HUI-FANG, WANG YAO. MPEG-4 rate control for multiple video objects[J]. IEEE Transactions on Circuits Systems for Video Technology, 1999, 9(1): 186–199.
- [6] YU HONG-TAO, PAN FENG, LIN ZHI-PING. A new bit estimation scheme for H.264 rate control[J]. IEEE International Symposium on Consumer Electronics, 2004, 9(3): 396–399.
- [7] 袁炜,蒋建国,包先雨.一种改进的 H.264 码率控制算法[J].计算机工程与应用,2007,43(30):85–87.
- [8] 王友炳,蔡灿辉.一种 H.264/AVC 码率控制的改进算法[J].计算机工程与应用,2008,44(11): 199–202.
- [9] 李惠然,彭强.基于运动检测的 H.264 码率控制的算法[J].计算机应用,2008,28(2):385–388.
- [10] 余成伟,陆建华.基于场景切换的 H.264 码率控制技术[J].清华大学学报,2007,47(7): 1133–1136.