

文章编号:1004-9037(2013)03-0347-05

基于综合因子的 H. 264 码率控制算法

陈 晓 刘海英

(南京信息工程大学电子与信息工程学院,南京,210044)

摘要:针对 H. 264 的 JVT-G012 算法在帧层对未编码的 P 帧采用平均分配比特、忽略了图像复杂度和 P 帧在图像组(Group of pictures, GOP)中的位置对码率控制影响的问题,提出了一种新的 H. 264 码率控制算法,先利用 P 帧的图像复杂度和 P 帧在 GOP 中位置组成的综合因子来调整 P 帧的目标比特分配,再利用已编码帧的历史信息来调整当前编码帧的量化参数。通过实验表明,与 JVT-G012 算法相比,本文算法不仅提高了视频图像的质量,尤其是运动剧烈和纹理复杂的视频序列的图像质量,而且使得输出的实际码率更接近目标码率,提高了码率控制的精准性;与已有算法相比,在保持视频图像质量的情况下,进一步提高了码率控制的精准性。

关键词:视频编码;综合因子;码率控制

中图分类号:TN919

文献标志码:A

Rate Control Algorithm for H. 264 with Comprehensive Factor

Chen Xiao, Liu Haiying

(School of Electronic and Information Engineering, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, 210044, China)

Abstract: Aiming at improving the quality of video images and the accuracy of the rate control, a new rate control algorithm for H. 264 is proposed. Firstly, the target bit allocation is modulated according to the coefficient composed by the complexity of the P frame and its position in the group of pictures (GOP). Then, The current coding frame's quantization parameters are modulated according to the coded frames. Experimental results show that the proposed algorithm, compared with the JVT-G012 algorithm, improves the quality of video images, especially when the movement becomes severe or the texture is complex in video sequences. It can also achieve an output of the actual code rate closer to the target bits. Compared with the other algorithm, the proposed algorithm retains the quality of video images and improves the accuracy of rate control.

Key words: video coding; comprehensive factor; rate control

引 言

随着国际互联网和移动通信技术的发展,3G网络的逐渐普及和应用,基于多媒体的各种海量视频数据如何在网络带宽和存储空间有限的情况下进行传输,使得视频压缩编码技术显得尤为重要,而码率控制是视频编码中最为重要的部分之一,码率控制的好坏直接影响图像的编码质量。码率控制就是调整视频编码输出的码率,使之与预设的码

率相匹配,同时获得最小的解码失真。在不影响视觉的情况下,输出码率越接近预设码率越好。

最新的视频压缩编码 H. 264,是图像通信领域的一个热点。目前针对 H. 264/AVC 的 JVT-G012 码率控制算法中的不足已经有相当多的研究。文献[1]利用图像亮度分量平均绝对误差的比率来表征图像复杂度进行帧层目标比特分配;文献[2]提出了一种基于峰值信噪比(Peak signal to noise ratio, PSNR)的帧复杂度估计码率控制算法;文献[3]提出一种基于感兴趣区域的目标比特

分配方法;文献[4]提出了一种利用帧复杂度系数来调节帧层目标比特分配;文献[5]引入了一种内容复杂度因子来分配目标比特;文献[6]提出了一种二维正交变换特性准则的方法来进行快速帧内模式的选择;文献[7]提出了一种基于全零模块预判的变换与量化选择算法来简化编解码器的运算复杂度;文献[8]提出了一种帧差法来分配帧级的目标比特;文献[9]提出了一种基于纹理方向自适应的 H. 264 去块滤波算法。

在文献[4]考虑图像复杂度的基础上,本文算法又考虑了 P 帧在图像组(Group of picture, GOP)中的位置对码率控制的影响。由于 GOP 中位置靠前的 P 帧通常做其后帧的参考帧,位置靠前 P 帧预测的精确性直接影响后面帧预测的精确性,因此,为了更准确地进行码率控制,有必要考虑参考帧在图像组中的位置对当前帧分配的目标比特的影响。

1 JVT-G012 帧层码率控制算法

JVT-G012 中的码率控制算法,即目标比特的分配和量化参数的控制,主要分为:(1)GOP 层码率控制,主要完成确定每个 GOP 的目标比特和初始量化参数。(2)帧层码率控制,包括前编码阶段和后编码阶段。前编码阶段是为所有帧计算量化参数,后编码阶段主要是更新一些模型的参数。(3)基本单元层码率控制,当一个基本单元不是一帧时,就需要加上此码率控制,其计算和帧层码率控制相类似。

1.1 当前 P 帧目标比特数的计算

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

式中: β 是一个常数,当无 B 帧时 β 的值为 0.5,否则为 0.9。 $f'(n_{i,j})$ 为考虑缓冲区反馈得到的比特数, $\hat{f}(n_{i,j})$ 是由当前 GOP 中剩余比特数 T_r ,图像相对复杂度 W_b, W_p 和 P, B 帧的数目 N_p, N_b 共同决定,公式如下

$$\hat{f}(n_{i,j}) = \frac{W_p \times T_r}{W_p \times N_p + W_b \times N_b} \quad (2)$$

当编码中无 B 帧时,式(2)就变为

$$\hat{f}(n_{i,j}) = \frac{T_r}{N_p} \quad (3)$$

由式(3)可以看出,在 JVT-G012 算法中,剩余比特是平均分配给了每一帧,并没有考虑图像的复杂度。事实上,每一帧的图像复杂度是不同的,平均分配会导致帧与帧之间内容变化不大时需要较少比特的时候,反而分配了相对多的比特,致使比

特浪费;当图像运动剧烈和纹理复杂甚至是有场景切换时需要较多比特编码的时候,反而分配了较少的比特,致使编码效果不好,导致图像失真,影响视频图像的质量。

1.2 量化参数 QP 的计算

量化参数 QP 的计算

$$f(n_{i,j}) = \text{MAD}_{cb} * \left(\frac{X_1}{Q} + \frac{X_2}{Q^2} \right) \quad (4)$$

式中: Q 为当前帧的量化参数; $f(n_{i,j})$ 为式(1)中当前帧的目标比特; MAD_{cb} 为当前帧的预测 MAD 值; X_1, X_2 分别为 2 个模型参数,通过线性回归统计计算得到。本步骤中量化参数计算为现有技术,详细内容可参考文献[10]。

由式(4)可以看出,JVT-G012 算法在计算当前帧的量化参数时,并没有考虑已编码帧的信息对当前编码帧的影响。事实上,大多数帧之间内容上是相关的,利用已编码帧的历史信息来调整当前帧的信息,可以提高码率控制的效果。

2 改进的帧层码率控制算法

由上述分析知道,图像复杂度及 P 帧在 GOP 中位置和已编码帧的历史信息对码率控制的重要影响。因此,本文从两个方面来改进帧层码率控制算法。首先利用结合 P 帧的图像复杂度和 P 帧在 GOP 中位置的综合因子来调整 P 帧的目标比特分配,然后利用已编码帧的历史信息来调整当前帧的量化参数。

2.1 基于综合因子的 P 帧目标比特分配

目前表征图像复杂度的有亮度和灰度直方图。本文算法在文献[4]利用亮度和灰度直方图共同来表征图像复杂度的基础上,考虑了 P 帧在 GOP 中的位置对码率控制的影响,提出了基于综合因子 $CF(i, j)$ 的 P 帧目标比特分配方法,按照经验公式(1),并结合实验测试对 $CF(i, j)$ 取值范围的值进行了修改,公式如下

$$f(n_{i,j}) = \begin{cases} 0.88CF(i, j) \times \beta \times \frac{T_r(n_{i,j})}{N_r} + (1 - \beta) \times f'(n_{i,j}) & 0 \leq CF(i, j) \leq 1.15 \\ [0.25 \times (CF(i, j) - 1.15) + 1.15] \times \beta \times \frac{T_r(n_{i,j})}{N_r} + (1 - \beta) \times f'(n_{i,j}) & 1.15 < CF(i, j) \leq 2.15 \\ 1.15\beta \times \frac{T_r(n_{i,j})}{N_r} + (1 - \beta) \times f'(n_{i,j}) & CF(i, j) > 2.15 \end{cases} \quad (5)$$

其中

$$CF(i, j) = \mu MAD_{\text{ratio}}(i, j) + \eta C(i, j) + \alpha L(i, j) \quad (6)$$

式中: μ , η 和 α 是加权系数, 经实验 μ 取 0.2, η 取 0.5, α 取 0.3. i 为视频序列中 GOP 层帧的序号, 取值范围为 1 到视频序列中 GOP 层数; j 为第 i 个 GOP 层中帧的序号; $L(i, j)$ 是当前 P 帧在 GOP 中的位置因子; $MAD_{\text{ratio}}(i, j)$ 表示第 i 个 GOP 中第 j 帧的图像亮度分量平均绝对误差比率^[1], 是当前帧的预测 MAD 值与所有之前已编码 P 帧的平均 MAD 的比值, 公式如下

$$MAD_{\text{ratio}}(i, j) = \frac{MAD(i, j)}{\frac{1}{j-1} \left(\sum_{n=1}^{j-1} MAD_n \right)} \quad (7)$$

$$C(i, j) = \sqrt{\frac{H(i, j)}{H(i, j-1)}} \quad (8)$$

式中: $C(i, j)$ 表示第 i 个 GOP 第 j 帧灰度直方图的平均差比值, 图像灰度直方图的平均差定义如下

$$H(i, j) = \frac{1}{256} \times \sum_{j=0}^{255} |h(i, j) - h(i, j-1)| \quad (9)$$

式中: $h(i, j)$ 是当前帧的重建帧的灰度直方图, $h(i, j-1)$ 表示前一帧重建帧的灰度直方图。

通过这样的调整, 就优化了 P 帧的比特分配, 运动剧烈的、纹理复杂的、位置靠前的帧就能获得较多的比特分配, 而内容上变化不大、位置靠后的帧就获得较少的比特分配。

2.2 量化参数的调整

针对在 JVT-G012 中, 未考虑已编码帧对当前帧的影响, 本文用已编码帧实际产生的比特数来调整当前编码帧的量化参数, 定义了量化参数调整因子 σ , 公式如下

$$\sigma = \frac{P_b(j)}{T(j)} \quad (10)$$

式中: $P_b(j)$ 是前一帧实际编码产生的比特数, $T(j)$ 是编码前的目标比特。因此当前编码帧的量化参数 $QP_i(j)$ 的计算公式如下

$$QP_i(j) = \begin{cases} C_j = 1 & j=1 \\ QP'_i(j) & j=2 \\ QP'_i(j) + \Delta QP_i(j) & j > 2 \end{cases} \quad (11)$$

式中: C 为一个预先设定的经验常数, 取值范围为 20 到 40; $QP'_i(j)$ 是在 JVT-G012 算法下得到量化参数。

$$\Delta QP_i(j) = \begin{cases} 0 & \sigma < 0.8 \\ 1 & 0.8 \leq \sigma \leq 1.0 \\ 2 & 1.0 < \sigma < 1.3 \\ 3 & \sigma \geq 1.3 \end{cases} \quad (12)$$

3 实验结果

为了验证本文算法的有效性, 所有的实验都是在 JVT 的校验模型 JM8.6 上进行, 并和 JVT-G012 算法及 Chen 算法进行了对比, 如表 1, 2。实验在不同目标码率下, 采用 QCIF4:2:0 格式的测试序列: Tennis, Stefan, Container, Mobile, Football 进行测试。图 1~3 是测试视频序列 Football, Tennis, Mobile 在 64 kb/s 的 PSNR 曲线比较; 图 4, 5 分别为测试序列 Tennis 和 Football 在 JVT-G012 算法和本文算法下的主观质量比较图。实验中所有序列按 IPPP 结构编码, GOP 长度为 25, 帧率为 15 f/s, 初始 QP 为 28, 共编码 100 帧。

为了更好地说明 3 种算法控制码率的精确能力, 定义码率偏差 E-bit-rate 为

$$E_bit_rate = \frac{|r_{\text{actual}} - r_{\text{target}}|}{r_{\text{target}}} \times 100\% \quad (13)$$

式中: r_{actual} 是实际产生的码率, r_{target} 是设定的目标码率。E-bit-rate 越小, 说明码率控制的越精确, 越接近目标码率。

从表 1, 2 可以得出, 本文算法和 JVT-G012 算法相比, 本文算法不仅能获得更好的 PSNR, 而且能够使实际输出的码率更接近目标码率, 提高了码率控制的精准性。序列的 PSNR 比 JVT-G012 算法平均提高了 0.35 dB, 码率偏差平均减小了 1.2%。在目标码率为 64 kb/s 时, 对运动剧烈和

表 1 JVT-G012, Chen 算法和本文算法的 PSNR 比较

测试序列	目标码率/ (kb · s ⁻¹)	PSNR/dB		
		JVT-G012	Chen 算法	本文算法
Tennis	32.00	26.67	27.16	27.27
	48.00	29.14	29.32	29.31
	64.00	29.88	30.39	30.50
Stefan	48.00	24.50	24.98	24.96
	64.00	26.25	26.57	26.57
Container	96.00	28.25	28.33	28.32
	48.00	38.76	38.78	38.79
Mobile	64.00	39.81	39.93	39.90
	64.00	27.35	27.95	27.99
Football	96.00	30.02	30.09	30.09
	64.00	25.78	26.55	26.58

表2 JVT-G012, Chen算法和本文算法的码率比较

测试序列	目标码率/ ($\text{kb} \cdot \text{s}^{-1}$)	实际输出码率/($\text{kb} \cdot \text{s}^{-1}$)			E-bit-rate/%		
		JVT-G012	Chen算法	本文算法	JVT-G012	Chen算法	本文算法
Tennis	32.00	33.81	32.53	32.49	5.66	1.66	1.53
	48.00	48.32	48.39	48.00	0.67	0.81	0.00
	64.00	64.51	63.87	64.00	0.80	0.20	0.00
Stefan	48.00	49.49	48.63	48.44	3.11	1.31	0.92
	64.00	64.87	64.50	64.28	1.36	0.78	0.44
	96.00	96.37	96.70	96.22	0.39	0.73	0.23
Container	48.00	48.55	48.39	48.27	1.15	0.81	0.56
	64.00	64.35	64.33	64.21	0.55	0.52	0.33
Mobile	64.00	65.01	64.58	64.35	1.58	0.91	0.55
	96.00	96.75	96.72	96.56	0.78	0.75	0.58
Football	64.00	65.57	64.18	64.15	2.45	0.28	0.23

纹理复杂的测试序列 Football 和 Mobile, 本文算法表现出了很好的码率控制效果, Football 的 PSNR 提高了 0.8 dB, 码率偏差减小了 2.22%, Mobile 的 PSNR 提高了 0.64 dB, 码率偏差减小了 1.03%。本文算法依据每一帧图像复杂度的不同和在 GOP 中的位置而分配相应的目标比特, 而 JVT-G012 算法采用平均分配目标比特的方式, 造成帧间质量较大的波动, 如图 1~3 所示。本文算法和 Chen 算法相比, 在 PSNR 基本没有下降的情况下, 能更精确地控制码率。在目标码率为 48 kb/s 时, 测试序列 Tennis 在 Chen 算法下得到的码率偏差是 0.81%, 而本文算法得到的码率偏差是 0.00%, 和目标码率相吻合, 精准地控制了输出码率。因为本文算法考虑了参考帧在 GOP 中的位置并利用了已编码帧的历史信息来调整当前的量化参数。

图 4 和图 5 分别是测试序列 Tennis 第 47 帧和 Football 第 97 帧在 JVT-G012 算法和本文算法下得到的主观质量比较图。从图中可以更直观地看到本文算法下的图像质量有着更好的表现。在 JVT-G012 算法下, Tennis 中的乒乓球、球拍、手、

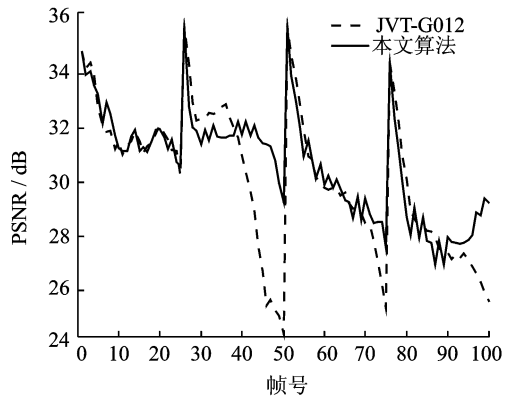


图2 Tennis 的 PSNR 比较图

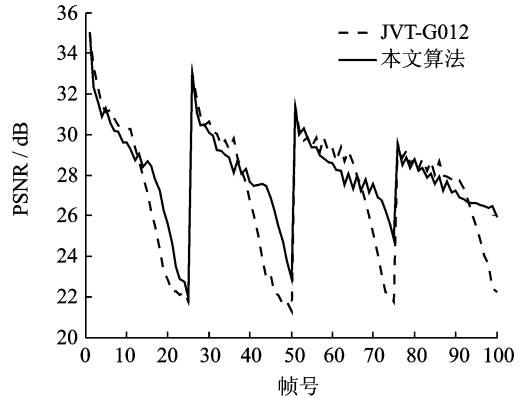


图3 mobile 的 PSNR 比较图

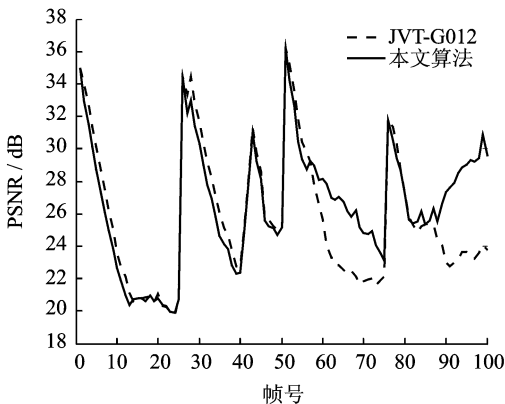


图1 Football 的 PSNR 比较图



(a) JVT-G012算法

(b) 本文算法

图4 Tennis 序列的主观质量比较图



(a) JVT-G012算法

(b) 本文算法

图5 Football序列的主观质量比较图

墙上挂历下面的字体和 Football 中的白衣运动员、黑衣运动员都严重失真,变得模糊不清,而本算法下这些内容的清晰度都得到了很大改善。

4 结束语

在分析了 JVT-G012 算法和 Chen 算法^[4]在帧层码率控制不足的基础上,本文利用综合因子对帧层目标比特分配方案进行优化,并利用已编码帧的历史信息对当前编码帧的量化参数进行调整。由实验结果得出,与 JVT-G012 算法相比,本文算法能够更精确地控制码率,控制精度平均提高了 1.3%,并且提高了视频图像的主观质量,PSNR 平均提高了 0.35 dB;与 Chen 算法相比,在不影响视频图像主观质量的前提下,本文算法得到的码率更接近目标码率,控制精度平均提高了 0.34%。在带宽一定的情况下,本文算法能够表现出更好的码率控制效果。

参考文献:

- [1] Jiang Minqiang, Yi Xiaoquan, Ling N. Improved frame-layer rate control for H.264 using MAD ratio [C]//Proceedings of the 2004 International Symposium on Circuits and Systems. [S. l.]: IEEE, 2004: 813-816.
- [2] Jiang Minqiang, Ling N. 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.
- [3] Liu Yang, Li Zhengguo, Soh Y C. Region-of-interest based resource allocation for conversational video communication of H.264/AVC [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2008, 18(1): 134-139.
- [4] Chen Xiao, Lu Feifei. A reformative frame layer rate

control algorithm for H.264 [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2010, 56(4): 2806-2811.

- [5] 韩峥,唐昆,崔慧娟.基于 H.264 的码率控制算法 [J]. 清华大学学报:自然科学版,2008,48(1): 59-61.
Han Zheng, Tang Kun, Cui Huijuan. Rate control algorithm for H.264 [J]. Journal of Tsinghua University: Science & Technology, 2008, 48(1): 59-61.
- [6] 王凤琴,黄敏,邓璐娟,等.基于 H.264/AVC 的快速帧内预测模式决策方法 [J]. 数据采集与处理,2008,23(6):696-701.
Wang Fengqin, Huang Min, Deng Lujuan, et al. Fast intra mode decision algorithm based on H.264/AVC [J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2008,23(6):696-701.
- [7] 周欣,段哲民,周巍.一种适用于 H.264/AVC 的新型整数变换与量化算法 [J]. 数据采集与处理,2011,26(6):619-625.
Zhou Xin, Duan Zhemin, Zhou Wei. Novel integer transform and quantization algorithm for H.264/AVC [J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2011, 26(6):619-625.
- [8] 郑巧燕,郁梅,彭宗举,等.一种结合人眼视觉特性的 H.264/AVC 码率控制算法 [J]. 光电子·激光,2011(3):440-445.
Zhen Qiaoyan, Yu Mei, Peng Zongju, et al. A combination of human visual characteristics of H.264/AVC rate control algorithm [J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2011(3):440-445.
- [9] 周芦明,刘春生,罗亮,等.基于纹理方向自适应的 H.264 去块滤波算法 [J]. 数据采集与处理,2010,25(4):521-524.
Zhou Luming, Liu Chunsheng, Luo Liang, et al. New deblocking filter algorithm based on texture direction adaptive technique for H.264 [J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2010, 25(4):521-524.
- [10] Li Zhengguo, Gao Wen, Pan Feng, et al. Adaptive rate control for H.264 [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2006, 17(2): 376-406.

作者简介:陈晓(1974-),男,博士,副教授,研究方向:图像处理与通信、超声信号检测与处理, E-mail: chenxiao@nuist.edu.cn; 刘海英(1987-),女,硕士研究生,研究方向:视频编码。