

## 针对 H.264 码率控制的初始量化参数选择算法

杨楷芳\*, 公衍超

(西北工业大学 电子信息学院, 西安 710129)

(\* 通信作者电子邮箱 yangkaifang5@gmail.com)

**摘要:**针对 JVT-H017 提案码率控制算法初始量化参数选择与视频内容无关的问题,在总结现有改进算法基础上,提出一种快速有效的初始量化参数选择算法。该算法只需第一个 P 帧的平均绝对误差(MAD)值及每像素平均比特率信息即可快速给出初始量化参数。实验结果表明,在恒定比特率下,所提算法与 JVT-H017 算法相比,预测的初始量化参数更加准确,  $\Delta PSNR$  最大能提高 1.1 dB,并且算法对含 B 帧编码结构同样有效。

**关键词:**视频编码;码率控制;目标比特;初始量化参数;JVT-H017

**中图分类号:**TP919.8 **文献标志码:**A

### Initial quantization parameter selection algorithm of rate control for H.264

YANG Kaifang\*, GONG Yanchao

(School of Electronics and Information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an Shaanxi 710129, China)

**Abstract:** As for the problem that initial Quantization Parameter (QP) selection of rate control in JVT-H017 has nothing to do with the video content, this paper analyzed the existing improved algorithms and puts forward a fast and effective initial quantization parameter selection algorithm. After obtaining the Mean Absolute Difference (MAD) of the first P frame and average bits per pixel, the proposed algorithm can calculate an appropriate initial quantization parameter. The experimental results show that compared with JVT-H017 under constant bit rate, the predicted initial quantization parameter is more accurate, and greatly improves the performance of rate control. The maximum performance gain in  $\Delta PSNR$  is up to 1.1 dB and works well when it contains the B frames.

**Key words:** video coding; rate control; target bit; initial quantization parameter; JVT-H017

## 0 引言

H.264/AVC 是目前最通用的高性能视频编解码标准之一<sup>[1]</sup>。码率控制作为视频编码中的一项重要技术,其目的是在满足带宽限制的前提下尽量提高解码端视频的质量<sup>[2]</sup>。现有 H.264 码率控制提案包括 JVT-F086<sup>[3]</sup>、JVT-G012<sup>[4]</sup>、JVT-H017<sup>[5]</sup>。目前 H.264 采用 JVT-H017 提案所提算法<sup>[6-7]</sup>,该算法中初始量化参数的选择与视频内容无关,影响码率控制性能。针对这一问题,很多研究者提出了改进方案,文献[8-12]提出通过提取原始像素信息或预测信息表征视频内容特性来计算初始量化参数(Quantization Parameter, QP)的方法,文献[13]提出用神经网络来拟合初始 QP 的算法。但这些算法的复杂度都很高,且不适用于 IBBP 编码结构。本文详细分析了现有算法存在的问题,并通过实验发现像素平均比特率(bits per pixel, bpp)与最优初始 QP 之间存在良好的幂指数关系,在此基础上提出一种有效预测初始 QP 算法,算法模型参数的计算被精心设计,算法复杂度很低。

## 1 JVT-H017 初始量化参数选择算法

JVT-H017 中采用查表的方法确定序列初始 QP,如式(1)所示:

$$QP_{\text{initial}} = \begin{cases} 35, & \text{bpp} \leq l1 \\ 25, & l1 < \text{bpp} \leq l2 \\ 20, & l2 < \text{bpp} \leq l3 \\ 10, & \text{bpp} > l3 \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{bpp} = R/f \times N_{\text{pixel}} \quad (2)$$

其中:  $QP_{\text{initial}}$  表示初始量化参数;  $R$  表示带宽;  $f$  表示帧率;  $N_{\text{pixel}}$  表示一帧总像素数;  $l1$ 、 $l2$ 、 $l3$  为常数,其取值与视频空间分辨率有关。

由式(1)、(2)易看出,此算法在确定初始 QP 时仅考虑视频空间分辨率、帧率、带宽信息,对于内容相差很大的视频只要视频格式一致,应用此算法得出的初始 QP 就相同,这在实际应用中是很不合理的。图 1 给出在不同比特率下使用 H017 算法计算出的初始 QP。可见对于大部分序列 H017 计算出的初始 QP 与最优初始 QP 差别较大。例如对于 Akiyo 序列,在带宽为 640 Kb/s ( $\text{bpp} = 0.2104$ ) 时, H017 算法估计的初始 QP 与最优值相差超过 10。这使得码率控制要通过较长一段时间的调整,才能达到稳定状态,表现为编码前几帧 QP 不断增大或减小。这较大影响了码率控制算法的性能。

## 2 现有初始 QP 改进方法

针对 H017 初始 QP 算法未考虑视频内容特性问题,许多研究者提出了改进算法,这些算法的基本思想是找到能够描述视频内容特性的参数,以此构建模型来估计初始 QP。

收稿日期:2012-12-14;修回日期:2013-02-05。

基金项目:教育部博士点基金资助项目(20096102120032);西北工业大学研究生创业种子基金资助项目(z2012093)。

作者简介:杨楷芳(1987-),女,山西阳泉人,博士研究生,主要研究方向:视频编码、码率控制; 公衍超(1986-),男,山东临沂人,博士研究生,主要研究方向:视频编码、视觉感知。

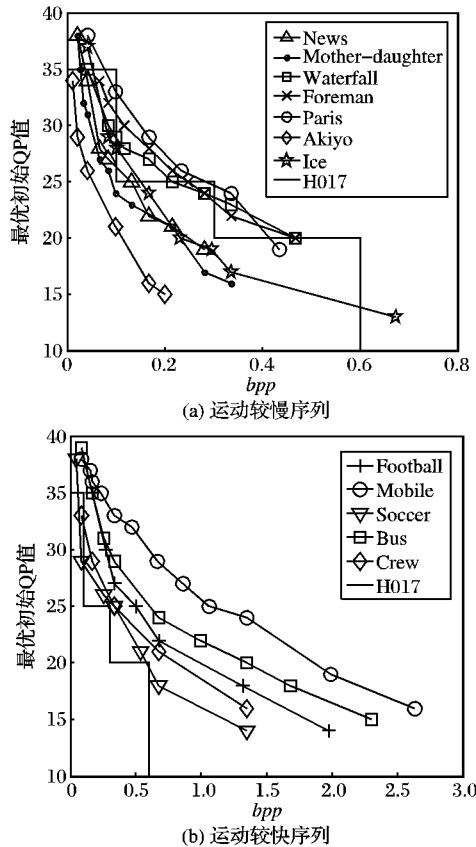


图1 H017 算法初始QP值与最优初始QP值

## 2.1 EI-IM 算法

Wang 等<sup>[8]</sup>提出用灰度直方图信息熵及预测误差来表征视频内容特性,其定义如式(3)所示:

$$EI = - \sum_{x=0}^{L-1} p(x) \lg [p(x)] \quad (3)$$

其中:  $EI$  表示灰度直方图信息熵,  $L$  表示总灰度级数,  $p(x)$  为灰度级  $x$  出现的概率。

预测误差用  $IM$  表示,定义如式(4)所示:

$$IM = \frac{\sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{15} \sum_{j=1}^{15} |I^k(i, j) - I_{dc}^k|}{1000 \times N} \quad (4)$$

其中:  $N$  表示宏块总数,  $I^k(i, j)$  为原始像素值,  $I_{dc}^k$  为使用 INTRA16×16 模式预测后的补偿值。

最终表征视频内容复杂度模型如式(5)所示:

$$\partial(EI, IM) = \max \{ d_1 EI^2 + d_2 EI + d_3, e_1 IM^2 + e_2 IM + e_3 \} \quad (5)$$

通过实验发现  $IM$  可以较好地反映视频的内容特性,但对于不同内容特性序列,  $EI$  值变化很小,不能够有效反映视频内容特性。并且式(5)所示模型,模型参数太多,共有6个模型参数,复杂度很高。

## 2.2 SAD 算法

Hu 等<sup>[9]</sup>通过计算编码过程中的绝对误差和 (Sum of Absolute Difference, SAD) 来预测视频复杂度,定义见式(6):

$$SAD(n, m) = \sum_{i=0}^{X-1} \sum_{j=0}^{Y-1} |P^n(i, j) - P^m(i, j)| \quad (6)$$

其中:  $X, Y$  表示宏块尺寸,为固定值16;  $n, m$  为宏块位置参数,  $P^n(i, j), P^m(i, j)$  分别表示原始像素值与预测值。

最终建立的估计视频复杂度模型如式(7)所示:

$$\alpha = \left( \frac{IM \left( SAD(0, S) + SAD\left(0, \frac{S}{2}\right) + SAD\left(0, \frac{S}{2}\right) \right)}{3 \times 10^8} \right)^\lambda \quad (7)$$

其中:  $S$  表示图像组 (Group Of Pictures, GOP) 的大小,  $\lambda$  为模型参数。

使用此模型计算  $\alpha$  需要预编码一个 GOP, 时延及复杂度都很高。

## 2.3 COM 算法

缪广忠等<sup>[10]</sup>与 Jing 等<sup>[11]</sup>分别独立提出了一种基于像素平均梯度的估计视频复杂度的方法,模型见式(8):

$$COM = \frac{1}{M \times N} \left\{ \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (|I_{i,j} - I_{i+1,j}| + |I_{i,j} - I_{i,j+1}|) \right\} \quad (8)$$

其中:  $I_{i,j}$  表示第  $i$  行第  $j$  列像素的亮度值,  $M$  和  $N$  分别表示图像宽度和高度。

Jing 发现比特率与像素平均梯度呈线性关系,并在此基础上建立如式(9)所示模型:

$$R(QP) = A \times COM \times (e^{-b \times QP} + c) \quad (9)$$

文献[13]对此结论进行了验证发现对于运动大序列,如“Bus”,这种线性关系并不准确。并且式(9)模型也需要预编码一个 GOP 才能得到足够的比特率信息计算初始 QP, 时延较大。对于含 B 帧编码结构,模型参数还需要大量实验拟合,算法复杂度高。

其他预测初始 QP 的算法还包括: Lee 等<sup>[12]</sup>使用帧内预测的平均绝对误差 (Mean Absolute Difference, MAD) 来预测视频复杂度; Czuni 等<sup>[14]</sup>采用神经网络来拟合最优初始 QP; Yang 等<sup>[15]</sup>采用包含灰度方差、预测误差、灰度均值等参数的方阵来估计视频复杂度。这些算法共同缺点是需要预编码多帧,模型参数更新过程复杂,且只适用于 IPPP 编码结构,对含 B 帧编码结构性能较差。

## 3 改进的初始 QP 选择算法

### 3.1 幂指数初始 QP 模型

由图1可以看出对于大部分内容特性序列最优初始 QP 与  $bpp$  成良好的幂指数关系,用式(10)进行拟合。

$$QP_{\text{initial}} = \alpha \times bpp^\beta \quad (10)$$

其中  $bpp$  的定义见式(2)。拟合得到的参数如表1所示。由表1可以看出  $\alpha$  取值与序列内容特性有关,运动越剧烈纹理越复杂序列  $\alpha$  取值越大。而对于大部分特性序列,  $\beta$  的取值变化不大,可近似为常数。所以要应用模型(10)首先需要寻找一个与序列内容相关的参数来估计  $\alpha$ 。

表1 幂指数模型系数拟合

序号	序列名称	$\alpha$	$\beta$
1	Mobile	25.81	-0.1844
2	Bus	21.74	-0.2480
3	Football	19.53	-0.3245
4	Soccer	18.11	-0.2250
5	Waterfall	18.02	-0.2095
6	Paris	17.71	-0.2507
7	Foreman	17.21	-0.2550
8	News	13.78	-0.2693
9	Mother	12.56	-0.2833
10	Akiyo	10.69	-0.2612

图2所示不同序列第一个P帧MAD与 $\alpha$ 的关系。横坐

标表示序列序号,如表1第1列所示。计算MAD时的编码码设置为:初始QP值为30,编码结构IPPP,开启码率控制。从图2可以看出,MAD与 $\alpha$ 有相同的变化趋势。

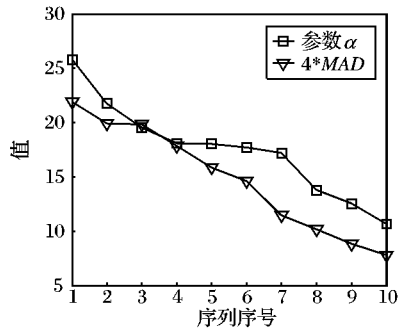


图2  $\alpha$ 与第一个P帧MAD关系

用式(11)来拟合MAD与 $\alpha$ 的关系:

$$\alpha = MAD/\xi \quad (11)$$

其中 $\xi$ 为矫正因子,其取值与MAD有关,通过大量实验拟合确定 $\xi$ 值为:

$$\xi = \begin{cases} 0.2280, & MAD > 3 \\ 0.1784, & \text{其他} \end{cases} \quad (12)$$

因此,最终的初始QP估计模型为:

$$QP_{\text{initial}} = (MAD/\xi) \times bpp^{\beta} \quad (13)$$

通过对多个序列进行拟合,最终确定 $\beta$ 取固定值-0.2611。

最终本文提出的初始QP算法步骤如下:

- 1)在初始QP为30,开启码率控制情况下预编码序列前两帧得到第一个P帧的MAD值;
- 2)使用式(13)所示模型计算得到初始 $QP_{\text{initial}}$ 。

### 3.2 模型准确性验证

使用H. 264/AVC参考模型JM17.2<sup>[16]</sup>,在多个目标比特率下,对不同内容特性序列使用所提模型预测得到初始QP。图3所示预测初始QP与最优初始QP的比较结果。

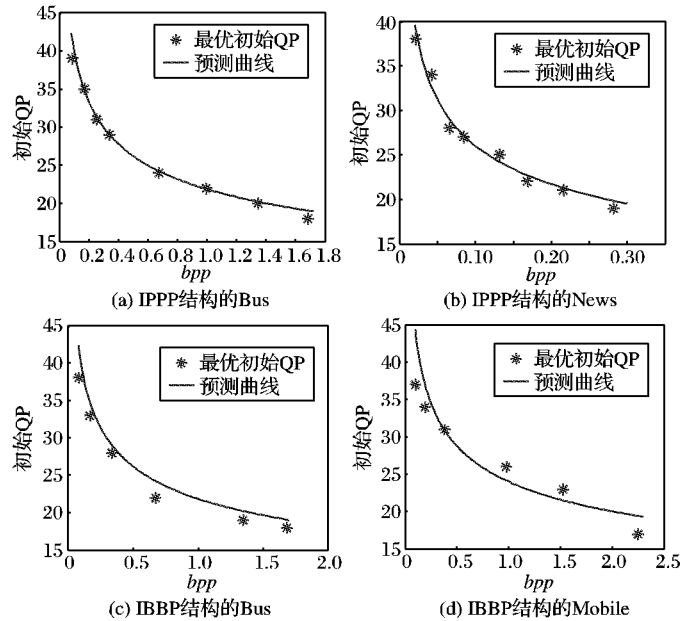


图3 预测初始QP与最优初始QP拟合曲线

图3可以看出本文算法对IPPP、IBBP编码结构都有很好的性能,所预测的初始QP与最优QP非常接近。

## 4 实验结果及分析

为了验证提出算法的性能,使用H. 264/AVC参考模型JM17.2,选取不同内容特性序列Akiyo、Silent、Paris、News、Football作为实验序列,编码前50帧,帧率30帧/s,开启码率控制,编码结构IPPP、IBBP。表2、表3为改进算法与JVT-H017算法率失真性能比较。

从表中可以看出,与JVT-H017算法相比,本文改进算法在保证准确控制码率的前提下,峰值信噪比(Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR)有明显提高, $\Delta PSNR$ 最大能提高1.1 dB。

表3表明所提算法对IBBP编码结构也同样适用。

表2 IPPP编码结构性能对比

序列名称	目标码率/Kbps	改进算法		JVT-H017 算法		$\Delta PSNR$ /dB
		实际比特率/(Kb·s <sup>-1</sup> )	PSNR/dB	实际比特率/(Kb·s <sup>-1</sup> )	PSNR/dB	
Akiyo	128	127.58	41.068	126.34	40.007	0.9958
	256	253.65	43.617	254.36	42.545	
	512	509.75	45.901	508.70	44.756	
	768	764.33	47.312	768.29	47.268	
Silent	256	256.08	36.554	255.84	35.758	1.0937
	512	513.28	39.783	512.30	38.507	
	768	772.67	41.760	769.68	41.592	
	1024	1030.02	43.418	1028.57	42.690	
Paris	256	256.51	32.041	257.19	30.898	1.1005
	512	514.14	35.709	510.76	34.401	
	768	771.33	38.024	769.82	37.723	
	1024	1029.70	39.607	1026.29	39.159	
News	256	258.21	39.373	254.98	44.645	0.5511
	512	514.00	42.914	511.61	45.682	
	768	765.35	44.670	767.37	38.856	
	1024	1023.78	45.969	1020.12	42.251	

## 5 结语

本文在详细分析了JVT-H017提案初始QP选择算法与现有改进算法的基础上,提出了通过提取MAD及像素平均比

特率信息来预测初始QP的幂指数模型。并通过实验验证本文算法对IPPP、IBBP编码结构都有很好的性能。同时,由于模型只有一个参数,且只需预编码2帧即可得到,故算法复杂度低。

表3 IBBP 编码结构性能对比

序列名称	目标码率 $/(Kb \cdot s^{-1})$	改进算法		JVT-H017 算法		$\Delta PSNR/dB$
		实际比特率/ $(Kb \cdot s^{-1})$	PSNR/dB	实际比特率/ $(Kb \cdot s^{-1})$	PSNR/dB	
Paris	256	266.60	32.562	268.70	31.799	0.763 0
	512	530.59	36.302	534.62	35.461	
	768	796.42	38.753	790.93	38.324	
	1024	1054.09	40.220	1061.10	40.041	
News	256	265.28	40.368	258.67	39.045	1.093 7
	512	524.24	43.647	528.72	42.200	
	768	790.39	45.452	790.44	45.168	
	1024	1066.79	46.415	1055.18	46.163	
Football	768	787.02	30.881	791.54	30.263	0.246 7
	1024	1039.73	32.512	1054.31	32.400	
	2048	2086.65	37.100	2093.97	37.000	
	4096	4118.91	42.239	4162.98	41.712	

## 参考文献:

- [1] WIEGAND T, SULLIVAN G J, BJONTEGAARD 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): 560–576.
- [2] MA S, GAO W, LU Y. Rate-distortion analysis for H.264/AVC video coding and its application to rate control[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2005, 15(12): 1533–1544.
- [3] MA S, GAO W, LU Y, *et al.* Proposed draft description of rate control on JVT standard[S]. Awaji: ISO/IEC and ITUT, 2002.
- [4] LI Z, PAN F, LIM K P, *et al.* Adaptive basic unit layer rate control for JVT[S]. Pattaya: ISO/IEC and ITUT, 2003.
- [5] MA S, LI Z, WU F. Proposed draft of adaptive rate control[S]. Geneva: ISO/IEC and ITUT, 2003.
- [6] CHIANG T H, ZHANG Y Q. A new rate control scheme using quadratic rate distortion model[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1997, 7(1): 246–250.
- [7] LEE H J, CHIANG T H, ZHANG Y Q. Scalable rate control for MPEG-4 video[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2000, 10(6): 878–894.
- [8] WANG H L, KWONG S. Rate-distortion optimization of rate control for H.264 with adaptive initial quantization parameter determination[J]. IEEE Transactions on Circuits System for Video Technology, 2008, 18(1): 140–144.
- [9] HU S D, WANG H L, KWONG S, *et al.* Novel rate-quantization model-based rate control with adaptive initialization for spatial scalable video coding[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2012, 59(3): 1673–1684.
- [10] 缪广忠, 林其伟. 一种有效的初始量化参数选择算法[J]. 计算机应用, 2010, 30(2): 330–332.
- [11] JING X, CHAU L P, SIU W C. Frame complexity-based rate-quantization model for H.264/AVC intra frame rate control[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2008, 15: 3733–376.
- [12] LEE G G, LIN H Y, WANG M J. Rate control algorithm based on intra-picture complexity for H.264/AVC[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2009, 3(1): 26–39.
- [13] CHANG K, YANG B, LUO J. A novel rate control scheme for H.264/AVC based on scene change[C]// Proceedings of the 8th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2009: 1085–1089.
- [14] CZUNI L, CSASZAR G, LICSA A. Estimating the optimal quantization parameter in H.264[C]// Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2006, 4: 330–333.
- [15] YANG J Y, DAI Q H, XU W L, *et al.* A rate control algorithm for MPEG-2 to H.264 real-time transcoding[C]// Proceedings of SPIE Visual Communications and Image Processing. Bellingham: SPIE Press, 2005, 5960: 1995–2003.
- [16] JVT Reference Software Version JM17.2[EB/OL]. [2012-06-20]. [http://iphone.hhi.suhring/tml/download/old\\_jm/jm17.2.zip](http://iphone.hhi.suhring/tml/download/old_jm/jm17.2.zip).

(上接第1510页)

## 参考文献:

- [1] 何雪云, 宋荣方, 周克琴. 基于压缩感知的 OFDM 稀疏信道估计导频图案的设计[J]. 南京邮电大学学报: 自然科学版, 2011, 31(5): 7–17.
- [2] 肖小潮, 郑宝玉, 王臣昊. 一种基于最优观测矩阵的自适应贝叶斯压缩信道估计的联合机制[J]. 电子与信息学报, 2012, 34(10): 3469–3472.
- [3] TAUBOCK G, HLAUWATSCH F, EIWEN D, *et al.* Compressive estimation of doubly selective channels in multicarrier system: leakage effects and sparsity-enhancing processing[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2010, 4(2): 255–271.
- [4] 焦李成, 杨淑媛, 刘芳, 等. 压缩感知回顾与展望[J]. 电子学报, 2011, 39(7): 1651–1662.
- [5] HE X Y, SONG R F, ZHU W P. Optimal pilot pattern design for compressed sensing-based sparse channel estimation in OFDM systems[J]. Circuits, Systems and Signal Processing, 2012, 31(4): 1379–1395.
- [6] 肖小潮, 郑宝玉, 王臣昊. 基于最优观测矩阵的压缩感知信道感知[J]. 信号处理, 2012, 28(1): 67–72.
- [7] SHARP M, SCAGLIONE A. A useful performance metric for compressed channel sensing[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2011, 59(6): 2982–2988.
- [8] DO T T, GAN L, NGUGEN N H. Sparsity adaptive matching pursuit algorithm for practical compressed sensing[C]// Proceedings of the 42nd Asilomar Conference on Signals Systems and Computers. Piscataway: IEEE, 2008: 581–587.
- [9] 叶新荣, 朱卫平, 孟庆民. 基于 SAMP 重构算法的 OFDM 系统稀疏信道估计算法[J]. 信号处理, 2012, 28(3): 392–396.
- [10] 王伟刚, 杨震, 胡海峰. 分布式压缩感知实现联合信道估计的方法[J]. 信号处理, 2012, 28(6): 778–784.
- [11] 甘伟, 许录平, 罗楠, 等. 一种自适应压缩感知重构算法[J]. 系统工程及电子技术, 2011, 33(9): 1948–1953.
- [12] XIA P F, ZHOU S L, GIANNAKIS G B. Achieving the Welch bound with difference sets[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2005, 51(5): 1900–1907.