

# 基于单元尺度的自适应码率控制算法

邓勤耕 高新波 路文

(西安电子科技大学电子工程学院, 西安 710071)

**摘要** 随着信息技术的快速发展,压缩编码已成为多媒体存储和传输领域的研究热点。针对视频压缩的编码效率问题,ITU-T与ISO/IEC两大标准组织于2003年联手推出了H.264/AVC视频编码标准。为了能够在目标带宽上有效地传输视频,就必须合理地控制码流的波动强度,以使其尽可能地接近目标带宽。其中码率控制虽然不是标准中的一部分,但由于其一直在视频编码标准的发展过程中占有举足轻重的地位,为此,针对H.264/AVC编码的视频序列码率控制问题,在JVT-G012算法的基础上,提出了一种基于STGS图的自适应地选择基本单元大小的码率控制算法。该算法在编码时产生的码率波动总是与G012算法产生的最小码率波动相当。而且具有较小的运算复杂度,易于实时实现。

**关键词** H.264/AVC 码率控制 G012 STGS图

中图法分类号:TN919.81 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)11-2093-06

## A Basic-unit Size Based Adaptive Rate Control Algorithm

DENG Qin-geng, GAO Xin-bo, LU Wen

(School of Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710071)

**Abstract** With the rapid development of information technology, compress coding has become a heated topic in the field of multimedia storage and transmission. Aiming at the coding efficiency of video compression, ITU-T and ISO/IEC jointly developed a new video coding standard named H.264/AVC in 2003. In order to transmit video efficiently on certain bandwidth, the rate fluctuation should be controlled to make it as close to the target bandwidth as possible. Although rate-control is not a part of the standard, it has been playing an important role in the standard all the time. For this purpose, on the basis of JVT-G012 algorithm, a new rate-control algorithm based on Spatial-Temporal Gradient Scale (STGS) image is presented for H.264/AVC coding to select the size of basic-unit adaptively. The rate fluctuation resulted from the proposed algorithm is always close to the best case of JVT-G012 algorithm. Moreover, for the low computational complexity, the proposed algorithm is easy to implement in real time applications.

**Keywords** H.264/AVC, Rate-Control, G012, STGS image

## 1 引言

随着信息技术的高速发展,使人们的学习和交流打破了过去的时空界限。如今以多媒体和网络为依托的信息技术已成为拓展人类能力的创造性工

具。多媒体内容丰富,包括文字、声音、图像、图形和视频等数据,其不仅信息容量大、表达能力强,而且它代替单一的语音通信模式已是不可阻挡的趋势。但多媒体信息的庞大数据量对通信系统中有限的传输带宽和存储空间却提出了严峻的挑战。

为了更好地传输和存储巨大数量的视频数

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(60702061);新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-04-0948)

**收稿日期:**2006-10-26; **改回日期:**2007-04-25

**第一作者简介:**邓勤耕(1984~),男。2006年毕业于西安电子科技大学电子工程学院获生物医学工程专业学士学位,现为西安电子科技大学硕士研究生。主要研究方向为视频处理与通信。E-mail: qg\_deng@163.com

据,国际上两大视频编码组织 ITU-T 的 VCEG (video coding experts group) 和 ISO/IEC 的 MPEG (motion picture experts group) 一直致力于视频编码标准的制定工作,并已提出了一系列的编码标准。网络模式的多样性以及终端设备之间的差异性,给视频的压缩编码以及网络传输提出了较大的挑战,因此,为了在给定的带宽下高效地传输数据,并保证良好和稳定的接收质量,码率控制已成为视频编码研究的重要内容之一。虽然码率控制没有被写入标准之中,但以往的编码标准都对其进行了广泛的研究<sup>[1-3]</sup>。在 H. 264/AVC 标准中<sup>[4]</sup>,就通过引入 R-D (rate-distortion) 率失真优化来进行最优模式的选择。由于宏块的编码模式与量化参数的选择有关,这就造成以下问题:①为了进行最优模式的选择,就必须先给出宏块的量化参数;②量化参数的计算一般要在编码模式选择之后,由帧内或帧间的预测残差来决定,因此,以往的视频编码标准中的码率控制算法将不再适用于 H. 264 标准。

为了在 H. 264/AVC 标准中进行有效的码率控制,许多研究者针对 H. 264 标准的特点提出了许多码率控制方法。Ma 等人沿用了 MPEG-2 TM5 的帧比特分配和宏块量化级计算的思想,提出了进行两次 R-D 模式选择的宏块级码率控制算法—JVT-E069<sup>[5]</sup>。但是由于其进行两次率失真优化模式选择是相当耗时的;Li 等人在 JVT-G012 算法<sup>[6]</sup>中引入了基本单元的概念,其不仅通过平均绝对差 (mean absolute difference, MAD) 的线性预测解决了前面所提出的问题,并通过二次 R-Q (rate-quantization) 模型在基本单元层求解量化参数,这样虽然提高了码率控制的灵活性与控制精度,但在基本单元大小的选择上,还只是人为地设定基本单元的大小,没有考虑到基本单元中宏块的运动复杂度;马思伟等人在 G012 算法的基础上,在码率控制算法中考虑了标准中的虚拟解码器<sup>[7,8]</sup>;Yuan 等人在 JVT-O016 算法<sup>[9]</sup>中,不仅充分利用了视频序列的时空相关性,而且通过拉格朗日优化方法来选择最优的量化参数。但后面这两种算法采用的仍然是 G012 算法的基本框架,仍没有解决 G012 算法中在基本单元大小的选择上所存在的问题。

鉴于此,本文在 G012 算法的基础之上,充分考虑了图像帧中各宏块的运动复杂度,然后根据宏块的运动复杂度自适应地划分基本单元的大小。与 G012 算法相比,本文提出的算法所产生的码率波动

与 G012 算法产生的最小码率波动相当,但其运算复杂度已明显低于 G012 算法在最小码率波动时所对应的计算复杂度。

## 2 码率控制的基本模型与控制过程

码率控制的一项主要任务是给每幅图像分配一定的比特数,并在总比特数一定的约束条件下,使图像缓冲区既不上溢也不下溢。G012 算法是通过在基本单元层来对所产生的码率进行严格控制,以合理地调节缓冲区的饱和度。

### 2.1 码率控制的基本模型

#### (1) 流量模型

为了保证缓冲区既不上溢也不下溢,可采用流量模型进行目标比特的分配。假设  $N_{\text{GOP}}$  为 GOP (group of picture) 中总的视频帧的数目,  $F_{i,j}$  ( $i = 1, 2, \dots; j = 1, 2, \dots, N_{\text{GOP}}$ ) 表示第  $i$  个 GOP 中的第  $j$  帧,  $B_c(F_{i,j})$  (下角 C 代表 current) 表示编码完第  $j$  帧后的虚拟缓冲区的占有量,则有

$$\begin{aligned} B_c(F_{i,j+1}) &= \min \left\{ \max \left\{ 0, B_c(F_{i,j}) + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. A(F_{i,j}) - \frac{u(F_{i,j})}{R_{\text{frame}}} \right\}, B_s \right\} \\ B_c(F_{i+1,0}) &= B_c(F_{i,\text{GOP}}) \\ B_c(F_{1,1}) &= \frac{B_s}{8} \end{aligned} \quad (1)$$

其中,  $A(F_{i,j})$  是编码第  $i$  个 GOP 中第  $j$  帧所产生的实际比特数,  $u(F_{i,j})$  是编码当前帧时的实际带宽,  $R_{\text{frame}}$  表示编码帧率,  $B_s$  (下角 S 代表 size) 是缓冲区的最大占有量,它的值可由编码时所处的编码档次以及级别来确定。

#### (2) MAD 线性预测模型

对于 H. 264 标准中的码率控制所存在的“蛋鸡悖论”问题, G012 算法是采用对平均绝对差 (MAD) 值进行线性预测来解决,其预测方程为

$$MAD_{\text{cb}} = a_1 \times MAD_{\text{pb}} + a_2 \quad (2)$$

其中,  $MAD_{\text{cb}}$  与  $MAD_{\text{pb}}$  分别表示前一帧中相同位置处基本单元的 MAD 值与当前帧中基本单元的 MAD 值,  $a_1$  与  $a_2$  为方程系数,其初始值分别为 1, 0。

#### (3) 二次 R-Q 模型

为了求解量化参数 (quantization parameter, QP), G012 算法中采用了二次 R-Q 模型对 R-Q 之间的关系进行建模,

$$\frac{r_i - H_i}{MAD_i} = c_1 \times Q_i^{-1} + c_2 \times Q_i^{-2} \quad (3)$$

其中,  $r_i$  为当前基本单元的目标比特数,  $H_i$  为基本单元的头比特,  $Q_i$  为待求解的量化参数值。

## 2.2 码率控制过程

在 G012 算法中, 整个码率控制过程可以分成以下 3 个阶段: (1) GOP 层码率控制; (2) 帧层码率控制; (3) 基本单元层码率控制。下面将分别讨论在这 3 个阶段所实现的功能。

(1) GOP 层码率控制: 该阶段是根据网络的实际带宽、虚拟缓冲区的饱和度以及该 GOP 中所包含的帧的数目来计算这个 GOP 所需要的比特数。同时依据先前已编码的 GOP 信息来计算该 GOP 的初始量化参数  $QP_0$ 。当待编码的 GOP 为所要编码的视频序列中的第 1 个待编码的 GOP 时, 则  $QP_0$  直接由人指定, 当然在马思伟等人提出的算法中, 则是根据编码图像的尺寸、帧率以及初始带宽计算来自适应地选择第 1 个 GOP 的  $QP_0$ 。如果待编码的 GOP 不是第 1 个编码的 GOP 时, 则  $QP_0$  的计算与 GOP 的长度、可获得的网络带宽以及前一个 GOP 中 P 帧的平均量化参数  $QP_p$  有关。

(2) 帧层码率控制: 该阶段主要完成编码帧的比特数预分配以及根据二次 R-D 方程来计算帧的量化参数。在计算量化参数时, 对 B 帧以及 P 帧要采用不同的方法进行处理。对于 P 帧, 量化参数的计算是根据所分配的比特数, 通过求解二次 R-D 方程来得到; 而 B 帧的 QP 值则是由该 B 帧前后的连续两个 P 帧的量化参数, 通过递推而得到的。

(3) 基本单元层码率控制: 当基本单元的大小低于一帧待编码图像时, H. 264/AVC 的码率控制过程才包含该阶段。但对于 B 帧而言, 就没有基本单元层的码率控制, 其一中所有宏块都采用相同的量化参数进行编码。对于 P 帧, 该阶段的处理流程基本上与帧层码率控制阶段的处理流程相同, 只不过是对基本单元进行比特数分配以及根据二阶 R-D 方程进行基本单元的量化参数计算。

## 3 自适应码率控制算法

通过对 G012 算法的分析发现, 由于该算法在基本单元大小的选择上只是在编码前, 人为地硬性划分基本单元大小, 因此, 如果基本单元尺寸选择过大, 则可以略微提高解码图像的峰值信噪比

(PSNR), 但是所产生的码率波动将明显增大; 如果基本单元尺寸选择过小, 则虽然码率波动降低了, 但解码图像的 PSNR 值也随之下降。出现波动变化问题的原因还是因为没有解决基本单元中包含有运动剧烈的宏块的问题所致。如果对运动剧烈的宏块采用与运动平缓的宏块相同的量化参数进行编码, 则运动剧烈的宏块所产生的码率相对于整体必然有较大的起伏。

针对上述问题, 本文提出了一种基于宏块的根据运动复杂度自适应选择基本单元大小的改进算法。该算法首先根据图像帧的 STGS (spatial-temporal gradient scale image)<sup>[10]</sup> 图对帧中所包含的宏块进行运动复杂度的简单判断; 然后根据宏块的运动剧烈程度以及宏块所处的空间位置, 通过对相邻宏块进行自适应地合并来组成相应的基本单元, 以便可以根据编码图像序列的自身特点来选择基本单元的大小, 而不是进行硬性的划分。

### 3.1 STGS 图定义

STGS 图由水平 STGS 图 (h-STGS image) 与垂直 STGS 图 (v-STGS image) 两个基本部分组成。对于给定的连续两帧图像  $I(x, y, t-1)$  和  $I(x, y, t)$ , h-STGS 图和 v-STGS 图分别定义如下:

$$S_h(x, y) = \frac{I_t(x, y)}{I_x(x, y)} \quad (4)$$

$$S_v(x, y) = \frac{I_t(x, y)}{I_y(x, y)} \quad (5)$$

其中,  $I_t(x, y)$  为像素点  $(x, y)$  处的时间梯度,  $I_x(x, y)$ ,  $I_y(x, y)$  分别为  $t$  时刻, 点  $(x, y)$  处水平和垂直方向的空间梯度。STGS 图正是得名于连续两帧图像的时间与空间梯度的比值。STGS 图的理论直接来自于以下光流场的基本约束方程:

$$I_x u + I_y v + I_t = 0 \quad (6)$$

这个方程等价于

$$u = -\frac{I_t}{I_x} - \frac{I_y}{I_x} v \quad (7)$$

当连续两帧图像中只存在水平运动时, 垂直分量  $v$  等于 0, 由上式就可以得到水平分量  $u$  的值为

$$u = -\frac{I_t}{I_x} \quad (8)$$

由于水平分量  $u$  的值只与式 (4) 所定义的 h-STGS 图相差一个负号, 同样垂直分量  $v$  与 v-STGS 图也有类似的关系, 因此可以通过 STGS 图来简单

地对图像的运动复杂度进行判断。

### 3.2 基于 STGS 图的基本单元划分

根据上述对 G012 算法所存在问题进行的详细分析以及 STGS 图的定义,本文提出了一种基于 STGS 图的改进算法。该算法是通过图像中宏块的运动复杂度进行分析来自适应地选取基本单元的大小,最终完成视频编码的码率控制过程。

对于得到的 h-STGS 图与 v-STGS 图,可以进行以下定义:如果  $S_h(x, y) > 0$  或者  $S_v(x, y) > 0$ , 则将该点的灰度值设为 0 (黑), 如果  $S_h(x, y) < 0$  或者  $S_v(x, y) < 0$ , 则将该点的灰度值设为 255 (白), 否则该点灰度值为 128。每个像素点处的灰度值代表了该点的运动方向, 其中黑色代表向左或向上运动, 白色代表向右或向下运动, 而灰色则代表该像素点静止。为了判断宏块的运动类型, 必须在获得 STGS 图的基础之上, 统计宏块中运动以及静止的像素点的数目。通过简单的计算将宏块分成静止宏块、具有一致运动的宏块以及运动复杂的宏块 3 类。如果两个宏块在光栅扫描顺序上相邻, 且宏块属于静止区域或有规律的一致运动区域, 则这两个宏块将合并为一个基本单元, 可采用相同的 QP 值编码, 并且继续判断下一个宏块是否可以合并, 直到遇到不可合并的宏块为止; 如果宏块属于复杂运动区域, 则将该宏块单独作为一个基本单元编码, 独自采用一个 QP 值进行编码。

下面将给出这个判断准则的具体步骤:

宏块的大小为  $16 \times 16$ , 用  $N_x^{Gray}, N_y^{Gray}$  分别表示水平 STGS 图与垂直 STGS 图中一个宏块中灰色像素点的数目,  $N_x^{max}$  为水平 STGS 图中一个宏块中白色或黑色像素点数的较大值,  $N_x^{min}$  为较小值。  $N_y^{max}$  为垂直 STGS 图中一个宏块中白色或黑色像素点数的较大值,  $N_y^{min}$  为较小值。在进行判断之前, 可首先给每个宏块设置一个标志位。具体步骤如下:

(1) 如果  $\max\left\{\frac{N_x^{Gray}}{16 \times 16}, \frac{N_y^{Gray}}{16 \times 16}\right\} > T_1$ , 则该宏块属于静止区域, 转到步骤(3), 否则转到步骤(2);

(2) 定义运动复杂度

$$D_{\text{motion-complexity}} = \frac{1}{\frac{N_{\text{max}}}{N_{\text{min}}} - 1}$$

在水平 STGS 图中,  $N_{\text{max}} = N_x^{\text{max}}, N_{\text{min}} = N_x^{\text{min}}$ ; 在垂直 STGS 图中  $N_{\text{max}} = N_y^{\text{max}}, N_{\text{min}} = N_y^{\text{min}}$ 。如果

$$\max\left\{\frac{1}{\frac{N_x^{\text{max}}}{N_x^{\text{min}}} - 1}, \frac{1}{\frac{N_y^{\text{max}}}{N_y^{\text{min}}} - 1}\right\} > T_2$$

则该宏块属于运动复杂的区域, 否则该宏块属于具有规律的一致性运动区域;

(3) 如果当前宏块属于静止区域, 或者属于具有一致性运动的区域, 则将当前宏块的标志位置设为 0; 如果当前宏块属于运动复杂的区域, 则将标志位置设为 1; 如果宏块为当前帧的最后一个宏块, 则执行步骤(4), 否则转到步骤(1);

(4) 按光栅顺序扫描一帧中的所有宏块的标志位, 如果两个相邻宏块标志位都为 0, 则将这两个宏块合并成一个基本单元, 并继续扫描下一个宏块的标志位; 如果下一个宏块的标志位为 1, 则停止合并, 并将标志为 1 的宏块作为单独的基本单元。在实验中, 可取  $T_1 = 0.61, T_2 = 1.4$ 。通过上面的步骤, 就可把一帧图像中运动复杂的宏块与具有其他两种运动类型的宏块分开, 以便采用不同的量化参数对其分别进行编码。

## 4 实验结果及分析

### 4.1 实验设计

为了验证所提出的改进算法的有效性, 本文设计了以下测试实验, 所有的实验都是在 JM86 平台下进行, 测试序列为 Foreman、Silent、Container 等 3 个 QCIF 序列。实验采用可变带宽 (variable bit rate, VBR), 其他实验条件与 G012 算法中所采用的实验条件相同。其中编码速度为 15fps; 第 1 个 GOP 中的初始量化参数为 21; 带宽分别为 128 000bps ( $1 \leq j \leq 60$ ) 及 192 000bps ( $61 \leq j \leq 150$ )。其他参数设置如表 1 所示:

表 1 测试条件

Tab.1 Test condition

运动矢量精度	1/4 pixels
是否采用 Hadamard 变换	是
是否使用率失真优化	否
搜索范围	$\pm 16$ (QCIF)
限制搜索范围	2
参考帧数目	1
符号编码模式	基于上下文的自适应二进制算术编码 (CABAC)
GOP 结构	IPP 结构
编码帧数	150 帧

同时,为了更好更直观地体现码率波动的强度,可采用下式作为码率波动强度的衡量因子:

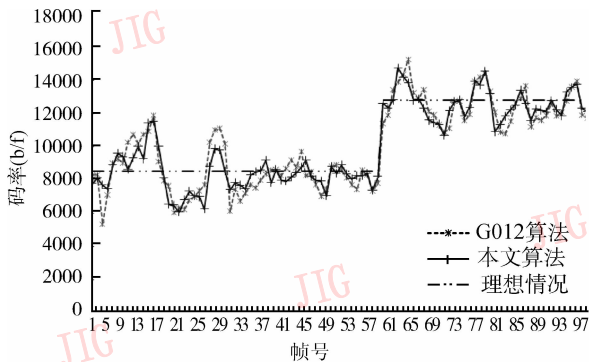
$$S = \frac{E(e^2)}{A} \quad (9)$$

其中,  $S$  为波动强度,  $e$  为实际码率与目标码率之间的差值,  $A$  为一个常数, 此处定义其值等于  $10^n$ 。常数  $A$  主要是用于调节  $S$  的大小, 使  $S$  的值不要过大, 以有利于更好地进行实验结果的比较。

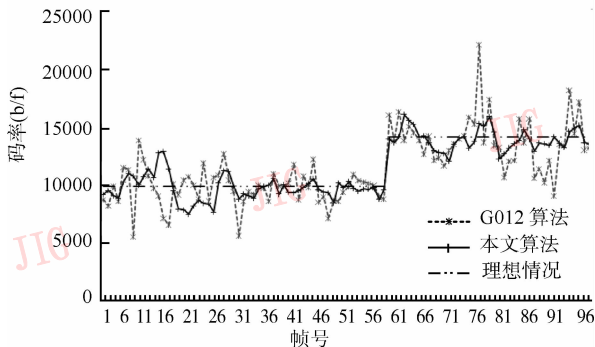
### 4.2 实验结果分析与比较

#### 4.2.1 码率波动对比实验

下面将给出测试序列在两种算法下产生的码率波动结果图表。其中对于 G012 算法, 选择基本单元大小为 11 个和 1 个宏块(即一帧包含 9 个和 99 个基本单元)的 Silent 序列进行对比实验。图 1 显示了 Silent 序列在两种算法下产生的实际码率的曲线图。表 2 列举出了 3 个测试序列分别在两算法下所产生的码率波动强度:



(a) 99个基本单元的码率波动曲线



(b) 9个基本单元的码率波动曲线

图 1 Silent 序列在两种算法下产生的码率波动情况

Fig. 1 Rate fluctuation of Silent sequence with two algorithms

由上面所列举的对比结果图表可以清晰地看到,在码率波动方面,本文的改进算法与 G012 算法所产生的最小码率波动(此时基本单元的尺寸最小,一个宏块代表一个基本单元,即一帧图像中存在 99 个基本单元)差不多。

表 2 本文算法与 G012 算法在 VBR 情况下码率波动强度对比

Tab.2 Comparison of rate fluctuation under VBR between the proposed algorithm and G012

实验序列名称	不同的仿真算法的码率波动强度		
	G012 算法 (9 个基本单元)	G012 算法 (99 个基本单元)	本文 算法
Foreman	1.002	0.982	0.978
Container	1.063	0.882	0.890
Silent	1.333	1.265	1.258

#### 4.2.2 算法复杂度分析

由于本文算法的实验结果与 G012 算法产生的最好结果相当,所以本文将只针对这两种情况进行算法复杂度的分析。

在 G012 算法的流程图中,每个基本单元采用一个 QP 值进行编码,而每编码计算一个基本单元的 QP 值都必须进行方程系数的更新(包括 MAD 线性预测方程以及二次 R-Q 模型)以及二阶 R-Q 方程的求解,其中方程系数的更新是采用滑动窗中的数据线性回归方法,并且每个方程更新一次系数必须进行两次线性回归的计算。也就是说,如果基本单元的数目是 99,则必须进行  $99 \times 2 \times 2 = 396$  次线性回归计算,因此参数的更新是码率控制算法中最耗时的部分,而计算一帧图像的 STGS 图只会占用很少的一部分时间。由于计算复杂度及所耗的时间与基本单元的数目呈正比,因此,为了衡量算法的计算复杂度,可以直接采用基本单元的数目作为衡量的标准。

图 2 给出了 3 个测试序列分别采用 G012 算法(基本单元个数为 99 个的情况下)以及改进算法

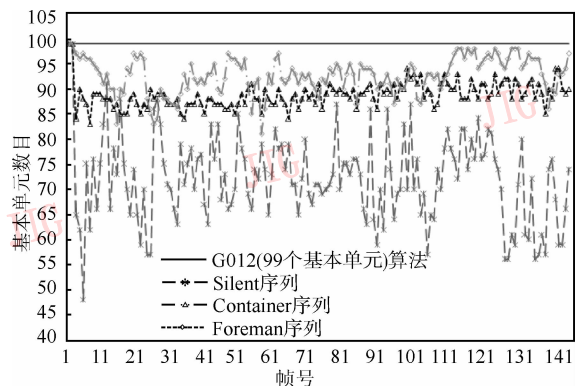


图 2 3 个测试序列每帧所使用的基本单元数目

Fig. 2 Number of basic units in three test sequences per frame

(对应相同的基本单元个数)的实验结果曲线。由实验对比结果图,可以明显看出,本文改进算法的计算复杂度低于 G012 算法取基本单元个数为 99 时的计算复杂度。此外,由图 2 也可以看出,对应于不同的序列,本文算法所采用的基本单元数目不同,而这正是本文算法的特点,其可根据测试序列的自身特征来自适应地选择基本单元的尺寸大小。

对于测试序列 Foreman, Silent, Container 而言,由于它们各自有着不同的特点,例如,Foreman 序列不仅前景运动剧烈,而且有着复杂运动的背景;Silent 序列运动剧烈部分所占的宏块较少,而静止背景宏块却占有量较多;Container 序列运动剧烈宏块较多,因此,当采用 STGS 图进行简要的宏块运动复杂度分析后,Foreman 序列由于合并的宏块数目较少,因此基本单元数目相对较大;而 Silent 序列则由于静止背景宏块所占的比例较大,故其合并的宏块数目相应增多,而对应的基本单元数目则减少。因此,该算法可以根据序列自身的特点,自适应地对基本单元的大小进行划分,其在达到精确的码率控制的同时,可降低算法的运算复杂度。

## 5 结 论

本文研究了 H. 264/AVC 视频编码标准中的码率控制算法,并针对 G012 算法中所存在的问题,提出了一种基于宏块复杂度自适应选择基本单元大小的码率控制算法,由于其改进了 G012 算法中硬性划分基本单元大小的情况和充分利用了编码视频序列自身的特点,因此,与 G012 算法相比,本文提出的算法在码率波动方面与 G012 算法对应的最优情况相当,而其复杂度则明显低于 G012 算法的复杂度,由此可见,本文提出的算法更加适合于在低带宽的网络上进行视频编码传输,并可提高编码视频的鲁棒性。

H. 264/AVC 作为一个新型的编码标准,其发展离成熟阶段还有一定的距离,对其所包含的码率控制算法进行研究有着很重要的理论与实际意义。特

别是随着分层编码扩展部分的制定,怎样在分层编码中进行更好更精确的码率控制,有待于在以后的工作中进行进一步的研究。

## 参考文献 (References)

- 1 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.
- 2 Vetro A, Sun H, Wang Y. MPEG-4 rate control for multiple video objects[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1999, 9(1): 186 ~ 199.
- 3 Ribas-Corbera J, Lei S. Rate control in DCT video coding for low-delay communications[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1999, 9(1): 172 ~ 185.
- 4 Joint Video Team of ITU-T and ISO/IEC JTC 1. Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification (ITU-T Rec. H. 264 | ISO/IEC 14496-10 (AVC)) [A]. JVT-G050, In: 7th Meeting of Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG[C], Pattaya, Thailand, 2003.
- 5 Ma S W, Gao W, Lu Y, et al. Improved rate control algorithm[A]. JVT-E069, In: 5th Meeting of JVT of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG[C], Geneva, Switzerland, 2002.
- 6 Li Z G, Pan F, Lim K P, et al. Adaptive basic unit layer rate control for JVT[A]. JVT-G012, In: 7th Meeting of JVT of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG[C], Pattaya, Thailand, 2003.
- 7 Ma S W, Gao W, Wu F, et al. Rate control for JVT video coding scheme with HRD considerations [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing[C], Barcelona, Spain, 2003: 739 ~ 796.
- 8 Ma Shi-wei, Gao Wen, Yuan Lu-jun, et al. Rate control for H. 264/AVC video coding standard [J]. Chinese Journal of Electronics, 2004, 32(12): 2024 ~ 2027. [马思伟, 高文, 袁禄军等. 一种面向 H. 264/AVC 的码率控制算法[J]. 电子学报, 2004, 32(12): 2024 ~ 2027.]
- 9 Yuan W, Lin S X, Zhang Y D, et al. Optimum bit allocation and rate control for H. 264/AVC[A]. JVT-0016, In: 15th Meeting of JVT of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG [C], Busan, Korea, 2005.
- 10 Wei Q, Zhang H J, Zhong Y Z. A pre-analysis method for robust global motion estimation [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing[C], Kobe, Japan, 1999: 625 ~ 628.