

文章编号:1004-9037(2014)01-0101-07

基于 SVAC 感兴趣区域的码率控制算法

欧阳甸 张伟华 董 骞 闫 雪

(公安部第一研究所信息技术事业部,北京,100048)

摘要:支持感兴趣区域编码是 SVAC 标准的重要特性,感兴趣区域编码可以提高图像处理效率并能大大降低码率,但是码率依然会随编码帧的复杂度而波动,导致传输信道利用率较低。SVAC 标准目前并没有推荐的码率控制算法。本文提出了一种基于 SVAC 感兴趣区域的码率控制算法:通过计算图像复杂度信息,对感兴趣区域与背景进行比特数分配,并将比特数优先分配给感兴趣区域;设计虚拟缓存器,通过计算缓存器的占有率实时调整每个编码帧感兴趣区域及背景的量化参数。实验结果表明,该算法将视频编码输出码率稳定在传输信道带宽内,提高了信道的利用率,并且保证了感兴趣区域具有平滑优质的图像质量。

关键词:码率控制;感兴趣区域;SVAC;量化参数;虚拟缓存器

中图分类号:TN919.81

文献标志码:A

Rate Control Algorithm for Region of Interest Based on SVAC

Ouyang Dian, Zhang Weihua, Dong Qian, Yan Xue

(Information Technology Department, the First Research Institute of Ministry of Public Security, Beijing, 100048, China)

Abstract: Region of interest (ROI) encoding is an important feature of SVAC. The efficiency of image processing can be increased and the bit rate reduces greatly because of ROI, but the bit rate will fluctuate along with complexity of encoding frames. Therefore, availability of communication channel is inefficient. There has been no rate control algorithm recommended by SVAC so far. A rate control algorithm is thus provided for ROI based on SVAC. The bit rate of ROI and back region are allocated by calculating the complexity of image, and the bit rate of ROI will be allocated preferentially. Meanwhile, a virtual buffer is designed. The occupancy of virtual buffer is calculated to adjust the quantization parameter (QP) of ROI and back region of every encoding frame in time. Experiment results show that bit rate is stable in communication channel whose availability is improved. Besides the image quality of ROI is smooth and excellent.

Key words: rate control; region of interest; SVAC; quantization parameter; virtual buffer

引 言

GB/T 25724-2010 安全防范监控数字视音频编解码技术要求,简称 SVAC 标准(Technical specification of surveillance video and audio coding, SVAC),是我国第一个旨在解决安全防范监控要求的国家标准。它针对监控实际需求,以忠实于场景的高保真视音频编码为核心思想,解决监控

视音频编码面临的实际问题。它针对广播电视视音频编解码标准在安防监控领域应用的诸多不适应性,根据我国社会公共安全对视频监控的实际需求和未来发展,创新性的提出了多项针对安防监控应用的视音频编解码特殊技术要求和实现手段^[1]。SVAC 标准的颁布实施将对我国安防监控行业的发展起到积极的推动作用。

支持感兴趣区域(Region of interest, ROI) 编码是 SVAC 的一个重要特性^[2]。ROI 是指观察者

比较感兴趣并且对其投入更多注意力的部分,对 ROI 进行重点分析,将会大大提高图像处理效率和精度,使用 ROI 编码也同时会降低视频编码的传输码率。然而,视频编码序列中各帧包含的信息量、复杂度及统计冗余是不同的,经过编码器编码后各帧所去除的冗余也不一样,使得压缩后视频流的比特数不断变化。压缩后的数据将在带宽有限而且可能变化的信道上传输,如果码率超过信道带宽,则会丢失视频数据造成视频质量损失;如果码率过低,则会造成信道利用率低下,因此即使采用 ROI 编码,视频输出码率依然会动态的变化。于是需要一种合理有效的码率控制算法来适时调节码率的输出,使压缩视频在适应信道限制的同时,保证视频输出质量。

现有的视音频编解码标准如 H. 264, MPEG-4, MPEG-2 等,在其标准里都有推荐的码率控制算法,如 H. 264 的 JVT-012^[2], MPEG-4 的 VM8^[3], MPEG-2 的 TM5,但由于信源模型的不同,这些推荐算法只适用于各自的编码标准^[4]。SVAC 标准目前并没有给出推荐的码率控制算法。本文基于 SVAC 的 ROI 功能,设计了一种码率控制算法,在保证 ROI 具有优质平稳的图像质量的前提下,使视频编码输出码率稳定在传输信道带宽内,提高信道的利用率,在有限的信道带宽下高效传输视频信息。

1 原理分析

1.1 影响码率的主要因素—量化参数

在 SVAC 视频编码中,量化与整数变换过程结合起来达到去除图像残差数据相关性的目的。整数变换过程可以将图像的能量在变换域集中,然后通过量化保留对人眼较为敏感的部分,去除相对不重要的成分,达到压缩数据的目的。量化导致了信息的丢失,使得压缩变成了有损的。其中量化参数(Quantization parameter, QP)大,编码生成的比特数少,图像的失真增大;QP 小,图像失真减少,生成的比特数也变大。QP 与图像质量以及生成码率有着直接的关系。因此如何选择合适的 QP,是码率控制算法研究的重点。

1.2 QP 的选择

在某一段时间内,信道能传输的总数据量是一定的,这就要求编码端所编码的视频序列在该时间段内压缩后各帧占用的总数据量不能超出信道传输的能力。由于同一视频序列中不同帧包含的信

息量不同,在同等量化条件下,不同帧压缩后占用的数据量也千差万别。因此,难以在编码一个视频序列之前为此视频序列确定一个统一的 QP。若 QP 选择过小,信道无法负荷视频序列经压缩编码后产生的数据量;若 QP 选择过大,又会造成信道资源的浪费。在实际编码过程中,需要使用码率控制算法为每帧选择不同的 QP。在编码各帧之前,首先为该帧分配一定量的目标比特数,即期待该帧经压缩编码后所占用的数据量,然后根据该帧的内容为该帧设置一个合适的 QP,以使压缩后实际占用的数据量符合目标比特数^[4-5]。通过这样逐帧进行的码率控制,使编码器输出的码率匹配信道带宽。

1.3 比特数分配

对于同一编码帧,在获取同等压缩视频质量的条件下,包含较多细节和运动信息的宏块与包含细节和运动信息相对较少的宏块相比,将占用更多的编码资源^[6]。好的视频质量不可避免地会产生更多的比特数,因此为了达到尽可能好的视频质量,在有限的编码资源下码率控制要在编码端对分配给每帧内不同区域的目标比特数进行资源调配^[7]。在 SVAC 视频编码中,ROI 是观察者重点注意分析的部分,因此不仅要根据复杂度给不同的编码帧分配不同的比特数,同时需要给同一编码帧的 ROI 分配比背景更多的比特数,以获得更好的图像质量。

综上,图 1(a,b) 分别展示了无码率控制和有码率控制时 QP 设置的方式。

2 算法设计

2.1 算法整体框架

本文的码率控制算法划分为基于 SVAC 标准的 ROI 码率控制和背景码率控制两个层次,该算法整体框架如图 2 所示。

根据此框架,该码率控制算法包含 3 个关键步骤:

(1)预处理:主要区分当前帧的编码类型,并根据目标码率给每一帧分配不同的目标比特数。

(2)ROI 与背景的比特数分配算法:该步骤根据编码帧类型,先通过宏块分类,划分为 ROI 宏块和背景宏块,通过一帧图像编码的目标比特数以及复杂度为基本依据,分别计算该帧 ROI 图像和背景图像的期望输出比特数。

(3)虚拟缓存器占有率算法:采用缓存器技术,

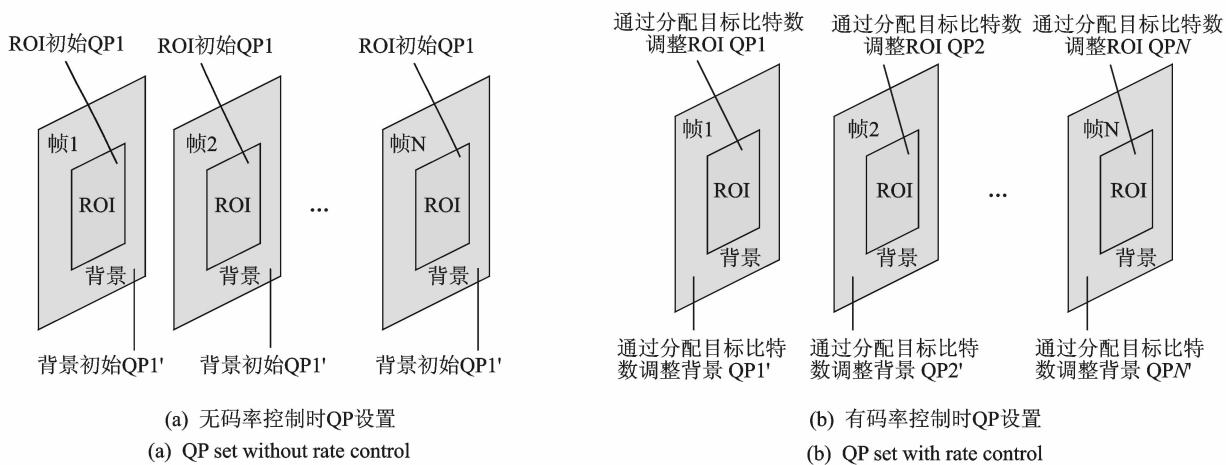


图 1 无/有码率控制时 QP 设置

Fig. 1 QP set without/with rate control

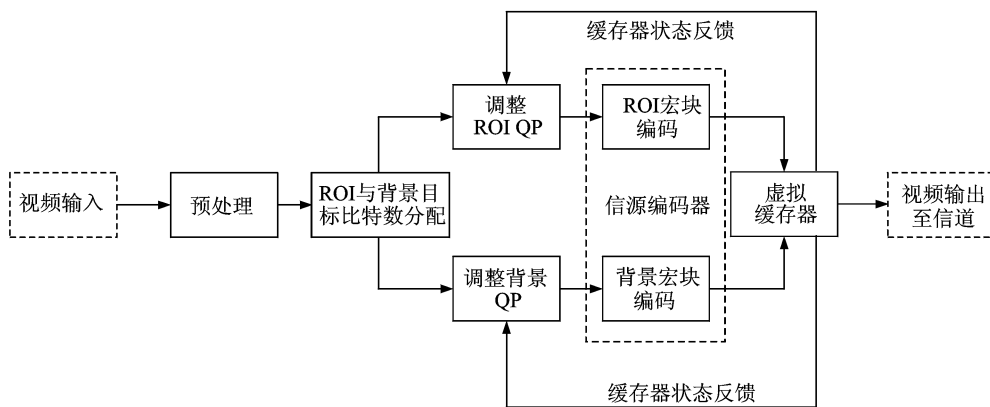


图 2 本文码率控制算法整体框架

Fig. 2 Frame of rate control algorithm in this paper

在每帧编码完成后,对产生的比特数进行统计,根据上一步得到的 ROI 图像和背景图像的期望输出比特数及虚拟缓存器的充盈程度,来反馈缓存器状态信息,对下一帧 QP 进行调整,从而输出期望的码率。

2.2 预处理

预处理主要工作首先是区别当前帧的编码类型。在 SVAC 编码中,主要编码类型分为 I 帧和 P 帧(本文暂不考虑 B 帧),通常两个 I 帧之间有多个 P 帧。其中 I 帧(帧内编码帧)是一种自带全部信息的独立帧,无需参考其他图像便可独立进行解码。P 帧(帧间预测编码帧)需要参考前面的 I 帧和/或 P 帧的不同部分才能进行解码。一般视频流中的 I 帧比特数要比 P 帧的比特数大得多。根据 I 帧和 P 帧的不同特点,ROI 与背景的编码复杂度有不同的计算方法。然后根据 I 帧间隔和设定的目标码率(一般为信道数据带宽),计算分配给每

一帧的目标比特数。每帧比特数分配的方式与 H. 264 类似,文献[8-10]已做过详细的讨论。

2.3 ROI 与背景的比特数分配算法

在 ROI 基础上对编码资源的加权分配,主要是实现资源调配,减少背景部分使用的编码资源,增加 ROI 部分使用的编码资源,以提高观察者对压缩后视频质量的主观评价。由于人眼视觉系统对复杂和运动的区域比较敏感,将 ROI 宏块优先分配码流能明显提高主观图像质量。这一部分的主要问题是协调 ROI 和背景之间编码资源分配比例,在提升 ROI 部分视频质量的同时,避免背景视频质量过度下降。

设计该环节的基本考虑是:对同一编码帧,合理的在两个区域之间分配比特数,同时算法尽可能简单,以此增加 SVAC 的编码效率。

设 ROI 与背景宏块数量分别为 N_{ROI} 和 N_{NROI} ,当前编码帧下两者目标比特数分别为 B_{ROI}

和 B_{NROI} , 用 T 来表示某一帧 ROI 与背景之间比特数分配的比例关系, 有

$$B_{\text{ROI}} = T \cdot B_{\text{NROI}}$$

其中

$$T = \frac{N_{\text{ROI}}}{N_{\text{NROI}}} \cdot T_{\text{sub}} \cdot T_{\text{obj}}$$

式中: 由于每个宏块面积大小一致, $\frac{N_{\text{ROI}}}{N_{\text{NROI}}}$ 则代表 ROI 与背景的面积比; T_{sub} 为主观因素, 可自行调节, T_{sub} 值越大 ROI 图像质量相对越好, 此值可根据 ROI 图像质量档次的需求进行适时调整; T_{obj} 为客观因素, 由被编码宏块的综合复杂度确定。

设 ROI 与背景平均复杂度分别为 MEX_{ROI} 和 MEX_{NROI} , 有

$$T_{\text{obj}} = \frac{MEX_{\text{ROI}}}{MEX_{\text{NROI}}}$$

对于 I 帧, 由于其利用图像内部的空间相关性进行压缩编码, 编码复杂度可由该帧差值图像的均方差决定。设 δ_i^2 为差值图像第 i 个宏块残差的均方差, 该帧 ROI 与背景的编码平均复杂度分别为

$$MEX_{\text{ROI}} = \frac{1}{N_{\text{ROI}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{ROI}}} \delta_i^2$$

$$MEX_{\text{NROI}} = \frac{1}{N_{\text{NROI}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{NROI}}} \delta_i^2$$

而对于 P 帧, 对于前向帧有着复杂的依赖性, 一般用运动矢量来评价 P 帧的编码复杂度。运动矢量是指当前块与搜索出在邻近参考帧中最相似的预测块之间的空间位置相对偏移量, 运动矢量越大可以说明两帧图像之间的变化越剧烈, 当前 P 帧的复杂度越高。

设 mvx_i 和 mvy_i 分别为第 i 个宏块运动矢量的 x 分量和 y 分量, 第 i 个宏块的运动信息为

$$mv_i = |mvx_i| + |mvy_i|$$

该帧 ROI 与背景的编码平均复杂度分别为

$$MEX_{\text{ROI}} = \frac{1}{N_{\text{ROI}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{ROI}}} mv_i$$

$$MEX_{\text{NROI}} = \frac{1}{N_{\text{NROI}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{NROI}}} mv_i$$

需要指出, 将比特数优先分配给 ROI 仅是一种相对意义上的算法, 并非指绝对意义上, ROI 的比特数总要大于背景的比特数。如果背景图像远远复杂于 ROI, 或者 ROI 面积非常小, 背景所分配的比特数可能还要大于 ROI 得到高质量的恢复图像。另一方面, 即使在这种情况下, T_{sub} 也改变了 T_{obj} 和面积比例对比特数分配的影响, ROI 获得了

相对意义上更多的比特数。

设当前编码帧目标比特数为 B , 由以上可得当前编码帧目标比特数 B_{ROI} 和 B_{NROI} 分别为

$$B_{\text{ROI}} = \frac{T \cdot B}{1 + T}$$

$$B_{\text{NROI}} = B - B_{\text{ROI}}$$

2.4 虚拟缓存器占有率算法

为了能够自适应地调整 QP, 平滑发送到信道的码率, 达到与信道传输速率相匹配, 就不能很直接把编码输出比特流发送到信道上传输, 而是需要一个适当容量的虚拟缓存器来做缓冲, 并及时反馈虚拟缓存器的占有率, 自适应调整 QP, 以便传输相对均匀的输出码率, 防止虚拟缓存器出现上溢和下溢。

本文将虚拟缓存器分割为 ROI 和背景占有率两部分, 如图 3 所示。

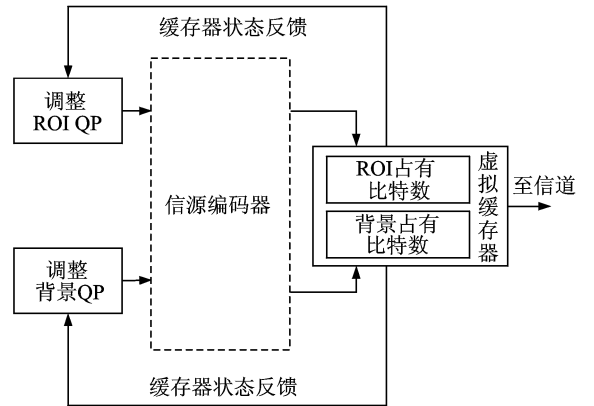


图 3 虚拟缓存器占有率示意图

Fig. 3 Diagrammatic graph of virtual buffer occupation

根据 2.3 节, 虚拟缓存器中 ROI 与背景的目标比特数的比例为 $T = \frac{B_{\text{ROI}}}{B_{\text{NROI}}}$, 设编码完第 n 帧 ROI 和背景编码产生的比特数分别为 $B(n)_{\text{ROI}}$ 和 $B(n)_{\text{NROI}}$, 编码第 n 帧之前缓存器 ROI 和背景占有的比特数分别为 $P(n-1)_{\text{ROI}}$ 和 $P(n-1)_{\text{NROI}}$, $B(n)$ 表示第 n 帧图像期望输出的比特数。

则第 n 帧图像编码结束之后, 缓存器中统计到的 ROI 和背景占有的比特数 $P(n)_{\text{ROI}}$ 和 $P(n)_{\text{NROI}}$ 分别为:

$$P(n)_{\text{ROI}} = P(n-1)_{\text{ROI}} + [B(n)_{\text{ROI}} - \frac{T \cdot B(n)}{1 + T}], P(n)_{\text{NROI}} = P(n-1)_{\text{NROI}} + [B(n)_{\text{NROI}} - \frac{B(n)}{1 + T}]$$

如果 $P(n)_{ROI}$ 大于缓存器某一个预先设定的阈值 $B_{ROI_{MAX}}$ 时^[11], 编码第 $n+1$ 帧图像 ROI 的 QP 要比第 n 帧 ROI 的 QP 大; 反之则减小第 $n+1$ 帧 ROI 的 QP。对于背景 $P(n)_{NROI}$, 同理设定阈值 $B_{NROI_{MAX}}$, 两者比较从而调整 QP。

为了防止对视频质量影响过大, 以使缓存器达到一种动态平衡, 减少缓存器的上溢和下溢, 可根据不同的信道传输速率 R 和不同的系统控制要求, 对编码器的缓存器设置阈值 B_{MAX} , 并根据缓存器的占有率及不同缓存器区域的特点和控制要求, 将缓存器非线性的划分成 7 个特征区域: 上溢区、上溢动态区、上溢平稳区、平稳区、下溢区、下溢动态区和下溢区。对这些不同区域, QP 调整方式如表 1 所示, 其中: θ 为缓存器占有率, $\theta = \frac{P(n)}{B_{MAX}}$ 。

表 1 虚拟缓存器不同区域及其 QP 调整方式

Table 1 Different area of virtual buffer and QP setting

虚拟缓存器占有率	特征区域	QP 调整方式
$\theta \geq 95\%$	上溢区	增加 QP: $QP(n) = QP(n-1) + 3$
$75\% \leq \theta < 95\%$	上溢动态区	增加 QP: $QP(n) = QP(n-1) + 2$
$55\% \leq \theta < 75\%$	上溢平稳区	增加 QP: $QP(n) = QP(n-1) + 1$
$50\% \leq \theta < 55\%$	平稳区	恒定 QP: $QP(n) = QP(n-1)$
$25\% \leq \theta < 50\%$	下溢平稳区	减少 QP: $QP(n) = QP(n-1) - 1$
$5\% \leq \theta < 25\%$	下溢动态区	减少 QP: $QP(n) = QP(n-1) - 2$
$\theta < 5\%$	下溢区	减少 QP: $QP(n) = QP(n-1) - 3$

可见, 实时调整 QP, 使得缓存器既不上溢也不下溢, 从而与信道匹配。同时, QP 的调整区域为 ΔQP 在 1~3 之间, 而不进行大幅度的调整, 是为了保证视频质量的连续性。这 7 个特征区域对虚拟缓存器 ROI 与背景占有率均适用。

另外, 由于该算法是通过编码第 n 帧后反馈编码信息给第 $n+1$ 帧的 QP 做参考, 所以编码整个序列时第一帧的 QP 值不能由此算法确定, 而应该通过初始赋值的 QP 以及该帧的复杂度确定^[12]。

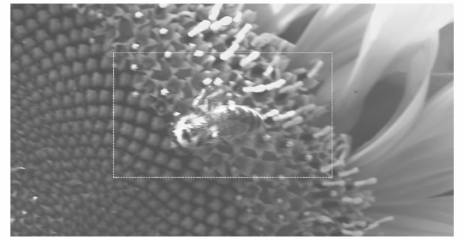
3 实验结果

本文使用 SVAC 标准分别编码 Tractor, Sunflower, Station, Surface 四个序列 (分辨率均为 1

920×1 080, 8 bit 采样, 4:2:0 的 YUV, 200 帧, 帧率 25FPS, 1 帧间隔为 25, 只有一个 ROI) 为例, 评价该码率控制算法的性能, 如图 4 所示, 白色虚线框内为 ROI。



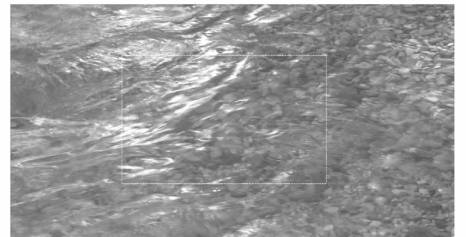
(a) 拖拉机
(a) Tractor



(b) 太阳花
(b) Sunflower



(c) 火车站
(c) Station



(d) 水面
(d) Surface

图 4 测试序列及其 ROI 坐标

Fig. 4 Test sequence and ROI position

本文以码率控制的准确度及经过码率控制编码后的 ROI 图像质量来验证该算法的性能。

(1) 控制准确度

在 SVAC 编码器中加入本文的码率控制算法, 各个序列同样设 ROI 的初始 QP 值为 28, 背景初始 QP 值为 35, 编码 200 帧, 目标码率分别设为 10 Mbps, 9 Mbps, 8 Mbps, 统计每 25 帧(1 s)的平

均码率曲线图如图 5 所示。

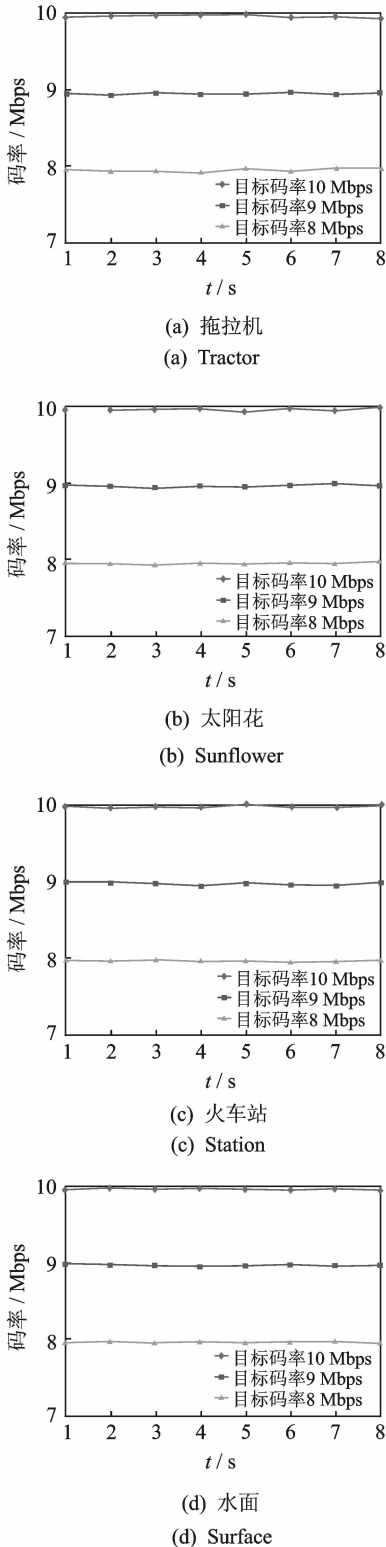


图 5 本文码率控制算法, 设定不同目标码率的 SVAC 编码码率曲线图

Fig. 5 SVAC curve diagram of rate control with different bit rate in this paper

由图可见, 传输的码率较为稳定, 不会有很大

的波动, 此码流对信道宽度有较好的适应性, 可以根据设置的不同目标码率进行自适应调整, 未造成数据的上溢和过多的下溢, 提高了信道利用率。

(2) ROI 图像质量

本文采用 PQA600 图像质量分析仪测试的 DMOS 值(差异平均主观评分)作为参考依据对编码后的 ROI 图像质量进行评判。DMOS 主观测试方案直接由视频质量观察人员同时对参考图像及测试图像进行打分, 再对参考图像和测试图像的结果进行归一化(转换为 0~100); 然后计算参考图像及测试图形之间的差值并求平均值, 通过该平均值的分布来反映被测系统视频能力的好坏^[3]。PQA600 采用了基于人类视觉系统的概念, 提供了一整套可重复的、与主观人眼视觉评估十分接近的客观图像质量测量。DMOS 取值范围为 0~100, 值越小越好, 其中 DMOS 值为 0~20 之间时人眼主观感觉较好。

通过 PQA600, 经过码率控制进行编码的每帧 ROI 及背景图像的平均 DMOS 值为如表 2 所示。可见, 在目标码率范围内, 各序列 ROI 平均 DMOS 值均在 10 以内, 说明人眼主观感觉较好。背景图像的平均 DMOS 值也均在人眼可接受的范围内。

表 2 每帧 ROI 及背景图像平均 DMOS 值

Table 2 Average DMOS value of ROI and background image in every frame

序列名称	码率/Mbps	ROI 图像平均 DMOS 值	背景图像平均 DMOS 值
Tractor	10	3.254	15.689
	9	4.852	18.472
	8	7.580	20.633
Sunflower	10	1.985	10.356
	9	2.348	12.247
	8	2.871	15.109
Station	10	3.132	16.325
	9	4.693	18.989
	8	6.110	21.623
Surface	10	5.278	20.852
	9	6.699	25.274
	8	8.187	28.147

另外, 经过测试, 使用本文的码率控制算法后, 编码视频输出帧率依然能够达到 25FPS, 可见本算法复杂度小、效率较高, 对 SVAC 编码效率几乎没有影响。

4 结束语

码率控制技术负责信源编码器与信道之间的

协调,是视频编码与通信的关键技术之一,在视频压缩中具有重要的地位。本文设计的基于SVAC感兴趣区域的码率控制算法通过计算图像复杂度信息,将ROI与背景之间进行比特数分配,把有限的比特数优先分配给ROI,以保证ROI图像的主观质量平滑稳定,同时避免了背景图像质量过度下降;通过虚拟缓存器的充盈度进行信道状态反馈,逐帧分别调整ROI及背景的量化参数,能够动态跟踪信道状态,实时调整编码码率以匹配信道带宽,具有很好的带宽适应和实时调整能力,使视频信息在有限的信道带宽下高效传输。本算法已在SVAC高清网络摄像机(ZD5740HS)上长期运行,获得了理想的使用效果,对于SVAC标准的推广应用和类似产品的研发具有重要的参考意义。

参考文献:

- [1] 陈朝武, 鄧晨, 张跃. SVAC 标准技术创新及其在视频监控联网系统中的作用[J]. 北京: 警察技术, 2011(4):62-64.
Chen Chaowu, Zhi Chen, Zhang Yue. SVAC standards technical innovation and effect of its role in the video monitoring network system[J]. Beijing: Police Technology, 2011(4):62-64.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 安全防范监控数字视音频编解码技术要求(GB/T 25724-2010)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the people's Republic of China (AQSIQ), Standardization Administration of the people's Republic of China(SAC). Technical specification of surveillance video and audio coding(GB/T 25724-2010) [S]. Beijing: China Standard Press, 2011.
- [3] 兰天. 视频通信中码率控制算法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009:79-98.
Lan Tian. Research on rate control algorithm in video communications [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2009:79-98.
- [4] 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(6):35-37.
Zhou Xin, Duan Zhemin, Zhou Wei. A new type of integer transform and quantization algorithm applicable to H. 264/AVC[J]. Data acquisition and Processing, 2011(6):35-37.
- [5] 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, 2005:61-83.
Ma Siwei. Rate distortion optimization based video coding[D]. Beijing: Institute of Computing Technology of Chinese Academy of Sciences, 2005:61-83.
- [6] 高文, 赵德斌, 马思伟. 数字视频编码技术原理[M]. 北京: 科学出版社, 2010:89-98.
Gao Wen, Zhao Debin, Ma Siwei. Principles of digital video coding technology [M]. Beijing: Science Press, 2010:89-98.
- [7] 李子印, 朱善安, 刘丽芳. 支持 ROI 优先编码策略的自适应码率控制算法[J]. 光电工程, 2006, 33(1): 106-110.
Li Ziyin, Zhu Shan'an, Liu Lifang. ROI-codec-supported adaptive rate control algorithm[J]. Opto-Electronic Engineering, 2006, 33(1):106-110.
- [8] 毕厚杰, 王健. 新一代视频压缩编码标准—H. 264/AVC[M]. 2 版. 北京: 人民邮电出版社, 2009: 124-128.
Bi Houjie, Wang Jian. A new generation of video coding standard -H. 264/AVC[M]. Second Edition. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 2009:124-128.
- [9] Ma Siwei, Gao Wen, Lu Yan. Rate-distortion analysis for H. 264/AVC video coding and its application to rate control[J]. Circuits and Systems for Video Technology, IEEE, 2005(15):1533-1544.
- [10] 唐田野. 视频编码中码率控制的研究及应用[D]. 成都: 电子科技大学, 2006:47-82.
Tang Tianye. Research and applications of rate control in video coding[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2006:47-82.
- [11] 朱光喜, 戴声奎, 李宵, 等. 一种低码率下的新型码率控制策略[J]. 计算机科学, 2006, 33(1):60-63.
Zhu Guangxi, Dai Shengkui, Li Xiao, et al. A new rate control scheme on low bit rate[J]. Computer Science, 2006, 33(1):60-63.
- [12] 刘峰. 视频图像编码技术及国际标准[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2006: 268-271.
Liu Feng. Video coding technology and international standards[M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2006:268-271.

作者简介: 欧阳甸(1984-), 男, 工程师, 研究方向: 多媒体与嵌入式系统, E-mail: dianouyang@163.com; 张伟华(1985-), 女, 工程师, 研究方向: 信号信息处理; 董蹇(1979-), 男, 副研究员, 研究方向: 视频编解码算法; 闫雪(1983-), 女, 工程师, 研究方向: 多媒体与计算机应用。

