

H. 264/AVC 码率控制现状与发展

吴 炜, 陈 健, 宋 彬

(西安电子科技大学综合业务网理论与关键技术国家重点实验室, 陕西 西安 710071)

摘 要: 作为视频通信中非常重要的关键技术之一, 码率控制用于调整视频码流以满足带宽受限的条件, 能够直接影响视频编码器输出码率的稳定性和保证视频质量。首先描述码率控制问题, 给出码率控制算法的分类准则; 然后对众多的 H. 264/先进视频编码(advanced video coding, AVC)码率控制算法根据应用目的进行具体描述; 最后从适用标准和应用目的两个方面, 详细指出码率控制技术今后的研究方向。

关键词: 视频通信; 码率控制; H. 264/先进视频编码(advanced video coding, AVC)

中图分类号: TN 919.8

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1001-506X.2013.05.33

Status and development for H. 264/AVC rate control

WU Wei, CHEN Jian, SONG Bin

(State Key Laboratory of Integrated Service Networks, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: As one of the important key technologies for video communications, rate control is used to adapt video streams to meet the constrained bandwidth, which can affect the stability of video coding bit rate and achieve a certain video quality. The rate control problem is described and the classification for rate control algorithms is proposed. Then based on the application objective, the rate control algorithms for H. 264/AVC are introduced concretely. Finally, the future research directions of rate control are stated in detail from the two aspects of the suitable standard and the application objective, respectively.

Keywords: video communication; rate control; H. 264/AVC

0 引 言

近二十年来,随着视频业务需求的迅速增长和业务质量要求的提高,视频通信已经成为当今工业界和学术界中最重要的研究领域之一。视频通信是对视频业务进行采集、压缩、传输和恢复的过程。

码率控制是视频通信中一个非常重要的关键技术。视频编码过程的固有特性如变换、量化和熵编码等,以及视频内容的变化,造成编码后的视频码率是变化的。网络带宽通常在一定时间内是恒定的,为了在网络带宽受到限制的情况下高效传输视频码流,使得重构视频具有较好的视频质量,通常需要对视频编码码流进行码率控制^[1]。如果视频业务不采取码率控制,那么编码后的视频码率很容易超出网络带宽允许的范围,导致大量的视频数据丢失以及网络拥塞。因此,码率控制在视频编码器中起着非常重要的作用,一方面它调整编码码流以满足给定的带宽条件,另一方面可以改善视频质量。码率控制是直接影响视频编码器输出码率的稳定性和保证视频质量的重要因素。

H. 264/先进视频编码(advanced video coding, AVC)标准是国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)和国际电信联盟-电信标准化组(ITU Telecommunication Standardization Sector, IUT-T)于 2003 年制定的视频编码压缩标准,近些年得到了非常广泛的应用。为了保证 H. 264/AVC 视频码流能够在带宽有限的通信网络中有效传输,并获得较好的视频质量,国内外的研究人员针对 H. 264/AVC 码率控制技术进行深入研究,并提出很多算法。本文对这些算法进行分类和详细描述,并展望码率控制技术今后的研究方向。

1 码率控制问题描述及算法分类

码率控制系统框图如图 1 所示。视频编码器将视频信号编码成视频码流,同时使用码率控制算法,将编码码率控制在网络带宽和缓冲区允许的范围,这样视频码流能够经过网络有效传输后到达解码端,再通过解码器进行解码,恢复成重构视频。码率控制就是根据网络带宽和缓冲区状态,为视频序列的各个编码单元分配适当的目标码率,并计算编

收稿日期:2012-04-10; 修回日期:2013-01-21。

基金项目:国家自然科学基金(60972072, 61271173); 中央高校基本科研业务费专项资金(K5051201031); 高等学校学科创新引智计划(B08038); 长江学者和创新团队发展计划(IRT0852); ISN 国家重点实验室资助课题

码参数,使得编码后的视频码率能够接近于目标码率,且缓冲区不会产生溢出,导致重构视频具有较好的视频质量。

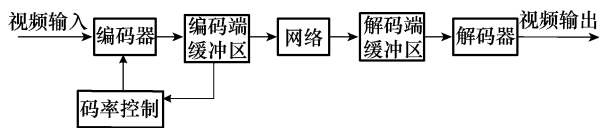


图1 码率控制系统框图

码率控制不是视频编码标准所限定的部分,但是已有的任何一个视频编码标准如果没有码率控制技术相辅佐,会使得视频码率很容易超出受限带宽,造成视频数据丢失,导致视频编码标准的实际应用受到很大的影响。可以说,视频编码标准的应用离不开码率控制技术,且码率控制技术要根据其所适用的视频编码标准进行相应设计^[2]。对于现有的视频编码标准,包括动态图像专家小组(moving pictures experts group, MPEG)、H. 263、MPEG-4、音视频编码标准(audio and video coding standard, AVS)和 H. 264/AVC 等,研究人员进行了大量的码率控制技术研究。

在参考大量码率控制算法的基础上,本文给出码率控制算法的两种分类准则:适用标准和应用目的。适用标准就是码率控制算法所适用的视频编码标准,不同视频编码标准的码率控制算法是不同的。应用目的包括提高率失真性能、减小视频质量的波动以及降低运算复杂度等。提高率失真性能就是在一定的带宽限制下,实现编码码率的同时提高视频质量;减小视频质量的波动是降低相邻视频的质量差异,保证视频质量具有一定的稳定性;另外,为了使码率控制技术能够在能源受限的视频编码器中得到应用,需要降低运算复杂度。

2 H. 264/AVC 码率控制的研究现状

本节主要介绍 H. 264/AVC 码率控制技术的研究现状,对众多算法逐一描述其实现方法和优缺点。

2.1 H. 264/AVC 码率控制

对于联合视频小组(joint video team, JVT)制定的标准,ITU-T 推荐相应的码率控制方案 JVT-G012^[3]。在 JVT-G012 中,码率控制基本单元可以是一个帧、一个 Slice 或者一个宏块,并使用线性模型预测当前基本单元的平均绝对差值(mean of absolute differences, MAD)。JVT-G012 首先为每个图组(group of picture, GOP)分配目标比特,并确定初始量化参数;然后为每个视频帧进行目标比特分配,并使用二次速率-量化(rate-quantization, R-Q)模型和 MAD 计算量化参数;若基本单元为宏块,则还要对每个宏块分配目标比特和确定量化参数。

研究人员还对 H. 264/AVC 码率控制中存在的许多问题进行了非常细致的研究,提出了很多码率控制算法^[4-36]。下面根据应用目的分类准则对这些算法进行详细介绍。

2.1.1 提高率失真性能

针对 JVT-G012 中的 MAD 预测不精确问题,研究人员提出了一些解决算法。文献[4]对宏块层码率控制中的

MAD 和参数估计不精确的问题,提出一种自适应的模型参数预测算法。然而,该算法对于运动速度快的视频和场景变化大的视频,视频质量并没有得到较大提高,而且该算法增加了一定的运算复杂度。文献[5]提出一种新的 MAD 预测方法,可以提高场景变化和运动速度快时的 MAD 预测精度,另外还提出一种新的线性 R-Q 模型并将其用于码率控制。该算法能够较大程度提高重构视频的客观质量和主观质量,并且只增加较小的复杂度。然而,该算法使用 Inter 16×16 和 Intra 16×16 两个模式进行粗运动估计来得到 MAD 预测值,调整量化参数(quantization parameter, QP)值来进行精细运动估计,这样会导致编码效率在一定程度上降低。文献[6]提出一种改进码率控制算法,该算法使用一个增强的线性模型来预测 MAD,并使用归一化 MAD 替代 MAD,然后采用一个新的 QP 限制器,最后对宏块进行动态的比特分配。该算法的运算复杂度增加很小,对于帧层码率控制平均增加 0.36%,对于宏块层码率控制平均增加 0.78%。文献[7]提出一种新的 H. 264/AVC 帧层码率控制算法,该算法使用不同的 QP 进行模式选择和编码,采用一个基于复杂度的比特分配方法,计算出 QP 以用于模式选择,并根据不同情况调整用于编码的 QP。相比于 JVT-G012,可以将平均峰值信噪比(peak signal-to-noise ratio, PSNR)提高 0.56 dB。然而,该算法是基于帧层进行码率控制的,并没有根据不同复杂度宏块使用不同 QP,从而导致主观质量下降。文献[8]针对 H. 264/AVC 码率控制中的蛋鸡悖论,提出一种采用两个步骤确定量化参数和一次编码的码率控制算法,首先对视频内容进行预分析,确定 QP 粗略值用于运动估计,然后根据残差信息得到 QP 精细值,分别用于模式选择和编码。该算法的运算复杂度增加很小,相比于 JVT-G012,平均 PSNR 可以提高 0.28 dB。然而,对于高运动视频和大目标码率情况,该算法不能得到很好的视频质量。

针对 H. 264/AVC 低时延编码情况下的码率控制,研究人员给出了相应的算法。文献[9]针对极低时延 H. 264/AVC 编码情况,在存储当前视频帧的同时进行编码,导致不能提前获得当前帧所有宏观的编码复杂度,提出一种新的帧内编码帧码率控制算法。该算法可以将缓冲区大小降为目标码率与帧率商的 1/3,端到端时延也可以得到很大程度的降低。然而,该算法只适用于极低时延情况,对于其他情况则性能一般。文献[10]提出一种用于低时延 H. 264/AVC 实时编码的码率控制算法,该算法给出一种新的基于缓冲区状态的比特分配方法,使用基于 PSNR 的帧复杂度估计来提高 MAD 预测精度,并根据缓冲区状态和帧复杂度进行比特分配,最后根据实际编码结果确定 QP。该算法可以较大提高平均 PSNR,特别是在运动速度快和场景改变情况下。然而,该算法在预编码和编码时,使用不同的 QP 值,会产生一定编码效率的降低。

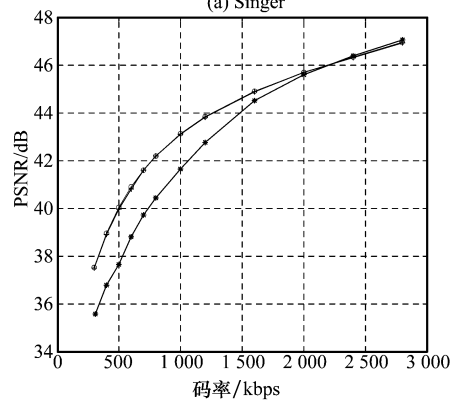
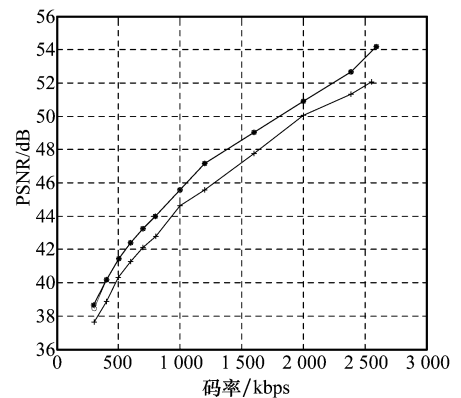
针对 H. 264/AVC 码率控制中的 R-Q 和失真-量化(distortion-quantization, D-Q)模型,研究人员进行了相关研究。文献[11]提出一种用于 H. 264/AVC 的基于柯西分布的宏块层码率控制算法,该算法假设残差系数服从柯西分布,使

用基于柯西分布的率失真(rate-distortion, R-D)函数和 R-Q 模型。相比于 JVT-H017, 该算法可以将平均 PSNR 提高 0.28 dB。然而, 相比于其他基于柯西分布的码率控制算法, 该算法的运算复杂度有明显的提高。文献[12]提出一种新的 H. 264/AVC 码率控制算法, 该算法给出一个模型估计头信息比特数, 然后推导出基于绝对变换残差和(sum of absolute transform differences, SATD)的 R-Q 和 D-Q 模型, 再对宏块使用率失真优化的比特分配方法。该算法可以在一定程度上提高平均 PSNR。然而, 该算法使用二阶编码, 增加了一些运算复杂度; 另外, 应根据不同应用进一步调整 QP 值, 例如非会话应用需要一个有限的 GOP 结构, 以提高编码性能。文献[13]提出基于柯西分布的 R-Q 和 D-Q 模型, 把这些模型用于 H. 264/AVC 帧层目标比特分配中, 并提出相应的码率控制算法。相比于 H. 264/AVC 参考软件 JM8.4 中的码率控制, 该算法平均 PSNR 可以提高 0.24 dB。然而, 该算法只是调整帧比特分配方法, 并没有对宏块比特分配和 QP 确定提出新的改进, 导致编码效率提高不多。文献[14]分析纹理比特和量化步长之间的关系, 提出一个引入绝对残差和(sum of absolute differences, SAD)的线性 R-Q 模型, 并用于 H. 264/AVC 码率控制中。该算法不仅在运动速度慢的情况而且在运动速度快的情况, 都能得到较高的 PSNR。然而, 由于该算法使用部分的二次处理, 那么在提高编码效率的同时, 较大地增加了运算复杂度。文献[15]分析发现, 编码比特与非零量化系数所占的比例成正比, 提出基于 ρ 域的 R-Q 模型。该模型简单, 运算复杂度很低, 对于 H. 263 视频码流具有精确的码率控制性能。然而, 该算法不一定适用于最新的视频编码标准高性能视频编码(high efficiency video coding, HEVC)。文献[16]假设残差系数服从广义拉普拉斯分布, 提出新的 R-Q 模型, 并从宏块层目标比特分配和量化参数调整的角度, 提出一种码率控制算法。该算法与 H. 263 采用的码率控制算法 TMN8 相比, 运算复杂度小且处理时延低。然而, 该算法并没有和较新的 H. 264/AVC 码率控制算法相比。文献[17]利用视频的时空相关性, 提出改进的二次模型和线性模型, 使用这两种模型进行率失真优化, 给出目标分配方法, 并实现相应码率控制算法。与 JVT-G012 相比, 该算法的编码效率和码率控制能力都有一定程度的提高。然而, 该算法缺乏对大量视频序列进行实验, 以验证其普适性。

为了提高场景改变时的率失真性能, 提出一些码率控制算法。文献[18]提出一种实时帧层码率控制算法, 该算法给出一个发现场景改变的改进方法, 然后根据帧内编码的特征确定 QP。相比于 JVT-G012, 该算法平均 PSNR 可以提高 0.62 dB。然而, 该算法却得到更大的 PSNR 波动, 平均提高 18.6%, 因此需要进一步改进。文献[19]针对定期加入的帧内编码帧和场景改变时需要插入的帧内编码帧, 分别使用基于泰勒级数和具有场景改变意识的 R-Q 模型, 提出一种帧内编码帧的码率控制算法。该算法可以比 JVT-G012 获得更高的平均 PSNR 和较低的 PSNR 波动。然而, 若只使用基于泰勒级数的 R-Q 模型, 编码性能并没有得到较大提高, 从而反映出该模型不能更好描述码率和量化参数之间的关系。文献[20]提出一种基于

双模预测的精确码率控制算法, 针对视频序列中不同镜头的视频帧, 采用不同的率失真模型进行码率控制, 并使用基于灰度检测的场景切换快速检测方法。该算法可以更有效地提高码率控制的精度。但是, 该算法需要在编码之前进行镜头检测, 导致运算复杂度提高, 因此需要进一步降低运算复杂度。

一些研究工作用于解决 H. 264/AVC 码率控制初始化问题。文献[21]提出一种基于率失真优化的 H. 264/AVC 码率控制算法, 该算法给出一个线性的 D-Q 模型, 并为每个宏块计算最佳的量化参数, 再根据视频内容自适应地确定初始量化参数。相比于 JVT-G012, 可以提高大部分视频序列的平均 PSNR。然而, 由于该算法没有考虑时域相关性, 对于某些序列, PSNR 大大降低。文献[22]提出一种内容自适应的码率控制初始化算法, 该算法计算帧内编码帧的残差复杂度, 使用改进的基于柯西分布的 R-Q 模型得出 QP。与 JVT-G012 相比, 可以将平均 PSNR 提高 0.41 dB, 且运算复杂度低, 能够应用于移动视频应用中。文献[23]提出一种新的 H. 264/AVC 码率控制初始化算法, 根据视频内容的时域和空域相关性, 确定视频序列的初始量化参数。相比于 JVT-G012 和 Wang 算法^[21], 可以分别将平均 PSNR 提高 0.155 dB 和 0.163 dB。然而, 该算法需要已知序列的第一个和第二个视频帧, 因此不能适用于低时延情况。为了更好地比较 JVT-G012、Wang 算法^[21]和 Wu 算法^[23], 本文给出相应的 R-D 曲线, 如图 2 所示。从图中可以看出, Wu 算法^[23]性能要优于其他两个算法。



—○—: Wu算法; —■—: Wang算法; —▲—: JVT-G012。

图2 两个序列的 R-D 曲线

为了能够提高重构视频的主观质量,对一些研究工作进行了相应的探索。文献[24]从人眼视觉特性出发,提出一种新的优化准则,即在满足带宽约束条件下,在一帧图像范围内最小化各宏块量化参数的方差,该准则可以使图像质量更加均匀,适用于低码率情况。在低码率下,该算法比 TMN8 的平均 PSNR 有一定提高。然而,它只对 3 个视频序列进行测试,为了验证其性能,应对更多的序列进行实验。文献[25]提出一种结合人眼视觉特性的码率控制算法,基于当前帧与前一帧的帧差比值来表示各帧图像的相对复杂程度,以此分配帧级的目标比特数,并通过分析图像中的运动信息和纹理特征,给出一种简单有效的度量宏块视觉敏感度的方法,再在基本单元层上利用此视觉敏感度因子进行比特分配。与 JVT-G012 相比,能够更加接近目标码率,PSNR 波动变小,并获得较好的主观质量。然而,该算法需要进一步改进视觉敏感度因子,并根据人眼视觉特性为宏块层分配目标比特。文献[26]将结构相似性(structural similarity, SSIM)作为新的视频质量评价方法,确定率失真模型,并使用该模型获取目标比特,提出基于 SSIM 的 H. 264 码率控制算法。与 JVT-G012 相比,在相同主观质量下需要的平均码率可以降低 14%。然而,该算法只是针对单向预测编码(predicted coded, P)帧进行相应设计,对于双向预测编码(bi-directional predicted coded, B)帧并没有很好描绘出其 R-D 特征,因此需要进一步研究。文献[27]也将 SSIM 作为新的视频质量评价方法,给出经验型的失真模型,并提出一种 SSIM 最优的 H. 264 宏块层码率控制算法。与 JVT-G012 相比,主客观质量都得到一定的提高。然而,该算法通过实验统计得到 H. 264 的失真模型,对于新视频标准不一定适用。

针对低码率情况,提出一些相应的码率控制算法。文献[28]提出一种面向低码率的基于缓冲区回馈的码率控制算法,快速地对码率调整做出响应,减小因调整当前帧码率对后续编码帧比特分配的影响,提高率失真性能。与 JVT-G012 相比,在低码率下可以将平均码率降低 2%,且同时保持相同的平均 PSNR。然而,该算法主要针对帧层调整比特分配,应进一步对宏块层设计比特分配调整方法。文献[29]提出一种感知信道失真的码率控制算法,结合信源失真特性和信道失真特性,基于以 GOP 为单元的端到端动态率失真模型,利用最小代价优化法搜索各帧的最佳量化参数。与 JVT-G012 相比,对于中高运动视频序列,平均 PSNR 可以提高 1 dB 左右。然而,该算法需要为每帧搜索最佳 QP,较大程度上增加了运算复杂度。

文献[30]针对 H. 264/AVC 硬件编码器中的数据依存问题,提出一种二次码率控制算法,将码率控制和率失真优化联合起来,使用一个基于运动信息的宏块层 MAD 预测方法。相比于 JVT-G012,可以提高平均 PSNR 和降低技术复杂度。然而,该算法的硬件负荷却增加 26%,同时对于运动速度快的视频而言,编码比特波动较大。文献[31]针对 JVT-G012 中的一些不足之处,分别提出解决方法,包括

根据该帧中的运动幅度对 P 帧进行目标比特分配、对帧内编码(intra coded, I)帧采用一个新的目标比特分配方法、根据一种简单的编码复杂度预测方法确定量化参数。在低码率情况下,可以获得更好的 R-D 性能和主观质量。然而,该算法在高码率情况下的性能不佳,这是需要进一步研究之处。

2.1.2 减小视频质量的波动

文献[32]提出一个最小失真变化准则,并将其用于 H. 264/AVC 的码率控制算法中,该算法能够获得比 JVT-G012 更平滑的视频质量。然而,平均 PSNR 却在一定程度上有所降低。因此,如何在保持平均 PSNR 不变情况下,得到更平滑的视频质量是该算法需要进一步研究的课题。文献[33]提出一种能够平滑视频质量的 H. 264/AVC 码率控制算法,给出一种基于网格的方法,然后将拉格朗日方法用于平滑视频质量中。相比于其他码率控制算法,该算法能够在平均 PSNR 基本不变时,降低 PSNR 的波动。然而,该算法的运算复杂度非常高,不能用于实时视频业务。为了平滑视频质量,文献[34]提出一种新的 H. 264/AVC 码率控制算法,称为 MultiStage,其中采用一种全局的帧间比特分配方法。该算法可以得到近似恒定质量的视频码流。然而,与文献[33]一样,其不能用于实时视频业务;并且需要在缓冲区管理和块模式选择两个方面进行进一步的研究。

2.1.3 降低运算复杂度

文献[35]针对低复杂度的需求,提出一种 H. 264/AVC 码率控制算法,根据零量化系数的百分比来精确预测每帧的编码比特数,再使用 ρ 域 R-Q 模型确定量化参数。该算法能够在一定程度上降低运算复杂度。然而,其不能很好地提高 PSNR。为了能够在嵌入式系统中实现 H. 264/AVC 编码器,文献[36]提出一种低复杂度的码率控制算法,采用软硬件协同设计,使得帧层和宏块层码率控制部分分别运行在软件和硬件平台上,以降低运算复杂度。该算法的运算复杂度和 R-D 性能,都要优于 JVT-G012,并且硬件运行负荷也较低,适用于嵌入式系统。

2.2 H. 264/AVC 扩展部分 SVC 的码率控制

针对 H. 264/AVC 标准的扩展部分可伸缩视频编码(scalable video coding, SVC),研究人员提出了一些码率控制算法^[37-41]。文献[37]提出一种用于 SVC 的宏块层码率控制算法,对时域分层、帧和宏块进行有效的比特分配,并使用基于残差方差(variance of difference, VOD)和 MAD 的 R-Q 模型。与现有一些码率控制算法相比,该算法在大多数情况下都有更高的 PSNR。然而,对于某些视频序列,在一些目标码率下,该算法的 PSNR 要低于现有算法,这是需要研究改进之处。文献[38]提出一种 SVC 码率控制算法,给出增强层的 MAD 预测方法和可分级 B 帧的比特分配方法。该算法可以使得每个分层的编码码率达到目标码率,并且能够有效地防止缓冲区溢出。然而,其获得的 PSNR 并不理想,应进行研究改进。针对 SVC 中的时域分层,文献[39]提出一种帧层码率控制算法,首先探讨可分级

B帧预测架构的质量依存关系,然后根据时域分层的特征给出R-Q和D-Q模型,再对每个时域分层分配目标比特,最后确定量化参数。相比于JVT-W043和文献[38],能够分别将平均PSNR提高1.01 dB和0.30 dB。文献[40]提出一种SVC的码率控制算法,考虑可分级B帧预测架构,给出一个分层的比特分配方法,然后根据不同的时域分层设计相应的R-Q模型。该算法可以有效控制编码码率,而且在一定程度上提高PSNR。然而,在缓冲区管理和空域分层间的目标比特分配方面,还有所不足,需要进一步研究。文献[41]提出一种SVC质量基本层的码率控制算法,探讨基于 ρ 域的线性率失真函数的适用性,并统计模型参数,再通过最小二乘法实现码率控制。该算法能够有效实现质量基本层的码率控制,但是没有讨论其他分层的码率控制。

3 展望

码率控制是使视频编码标准在带宽受限的网络中得到实际应用的重要支撑技术之一。随着视频编码标准的发展和应用目的的提高,码率控制技术也将会新的设计需求。本文从适用标准和应用目的两个方面,指出码率控制技术今后的研究方向。

3.1 适用标准

下一代视频编码标准HEVC的制定工作已经于2010年1月启动^[42],已经于2013年1月完成。近年来,随着高清晰度电视、数字化通用磁盘(digital versatile disc, DVD)、蓝光光盘等设备的出现,高分辨率视频得到越来越广泛的应用,从而相应地产生了对这些视频进行高性能且低复杂度编码的需求^[43],HEVC标准正是为满足此需求而制定的。

在2011年11月第7次视频编码联合协作小组(joint collaborative team on video coding, JCT-VC)会议上通过的最新的HEVC测试模型^[44],对HEVC的编码原理有详细的描述。由于篇幅所限,这里仅进行简单介绍。

HEVC的视频帧包含3种基本结构,包括编码单元(coding unit, CU)结构、预测单元(prediction unit, PU)结构和变换单元(transform unit, TU)结构。CU是用于编码的基本单元,大小有 64×64 、 32×32 、 16×16 和 8×8 等, 64×64 大小的CU称为最大的CU(largest CU, LCU), 8×8 以上大小的CU可以划分成4个大小相等的更小一级的CU。PU是用于预测的基本单元,每个CU可能包含一个或多个PU。在一个大小为 $2N \times 2N$ 的CU中,用于帧间预测的PU大小包括 $2N \times 2N$ 、 $2N \times N$ 、 $N \times 2N$ 、 $2N \times N/2$ 、 $2N \times 3N/2$ 、 $N/2 \times 2N$ 和 $3N/2 \times 2N$ 等7种,用于帧内预测的PU大小有 $2N \times 2N$ 。另外若N值为4,则用于帧间预测和帧内预测的PU大小还包括 $N \times N$ 。TU是用于变换和量化的基本单元,TU大小取决于PU大小。若PU形状是正方形,则TU形状也是正方形,其大小包括 32×32 、 16×16 、 8×8 和 4×4 等;若PU形状不是正方形,则TU也不是,其大小包括 32×8 、 8×32 、 16×4 和 4×16 等。

对于帧内预测,不同大小的PU可以使用数目不等的

帧内预测模式。对于大小为 64×64 、 32×32 、 16×16 、 8×8 和 4×4 等的PU,帧内预测模式数目分别为3、35、35、35和17等。对于帧间预测,HEVC使用两种编码模式:MODE_SKIP(跳过模式)和MODE_INTER(帧间模式)。当采用MODE_SKIP模式进行编码时,PU大小只有一种,即 $2N \times 2N$;当采用MODE_INTER模式进行编码时,PU大小不受限制,包括上述的8种。帧间预测编码可以采用运动整合技术,即从空域和时域相邻PU中为当前PU寻找最优的运动参数,包括运动矢量、参考帧和参考帧列表等。运动整合技术不仅可用于MODE_SKIP模式中,还可用于MODE_INTER模式中。帧间预测编码还可以采用自适应的运动矢量预测技术,即从空域和时域相邻的PU中寻找最优的运动矢量预测器。另外,帧间预测还可以采用插值滤波技术,包括用于亮度信号的8阶基于离散余弦变换(discrete cosine transform, DCT)插值滤波器,和用于色差信号的4阶基于DCT插值滤波器。

可以看出,HEVC标准的编码原理与现有视频编码标准相比,有很多不同之处,造成用于HEVC的码率控制技术也不同于现有码率控制技术。因此,需要设计与HEVC标准相适应的码率控制算法。

3.2 应用目的

随着视频通信的发展,人们对解码端重构视频质量的需求也越来越高,相应对码率控制技术提出新的要求,这主要包含两个方面。

一方面,不仅要求视频序列的平均PSNR要高,而且要求PSNR的波动要小,即视频质量要平滑。目前很多码率控制算法都是通过提高率失真性能,在给定带宽的情况下提高平均PSNR。然而,这些算法在提高平均PSNR的同时,并不能很有效地降低PSNR的波动,造成视频质量具有较大的抖动,导致人眼观看不舒服。因此,需要设计新的码率控制算法,能够在提高平均PSNR的同时,有效降低PSNR的波动。

另一方面,新一代视频编码标准HEVC将逐渐得到实际应用,该标准是针对高分辨率视频制定的。相对于低分辨率视频,人们更容易发现高分辨率视频的主观质量问题。目前,有一些致力于提高重构视频主观质量的码率控制算法,例如,结合人眼视觉特性进行目标比特分配,以及使用一种客观质量评价方法即SSIM作为视频质量评价方法,来获得失真和QP关系。然而,这些算法都没有深层次地研究人眼视觉特性,建立人眼生理模型,给出能够用于码率控制的简单有效的主观质量评价方法,导致缺乏符合人眼生理模型的码率控制算法。因此,需要从生理模型出发,设计优秀的能够提高主观质量的码率控制算法。

参考文献:

- [1] Wu W. *Multimedia communication*[M]. Xi'an: Xidian University Press, 2008: 95-119. (吴炜. 多媒体通信[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2008: 95-119.)

- [2] Gao W, Zhao D B, Ma S W. *Principles of digital video coding technology*[M]. Beijing: Science Press, 2010: 95 - 104. (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: 95 - 104.)
- [3] Li Z, Pan F, Lim K P, et al. Adaptive basic unit layer rate control for JVT, JVT of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG[R]. Pattaya II: Joint Video Team, 2003.
- [4] Dong J, Ling N. A context-adaptive prediction scheme for parameter estimation in H.264/AVC macroblock layer rate control[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2009, 19(8): 1108 - 1117.
- [5] Liu Y, Li Z G, Soh Y C. A novel rate control scheme for low delay video communication of H.264/AVC standard[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2007, 17(1): 68 - 78.
- [6] Yi X Q, Ling N. Improved H.264 rate control by enhanced MAD-based frame complexity prediction[J]. *Journal of Visual Communication Image Representation*, 2005, 17(5): 407 - 424.
- [7] Jiang M, Ling N. On lagrange multiplier and quantizer adjustment for H.264 frame-layer video rate control[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2006, 16(5): 663 - 669.
- [8] Yang X, Tan Y, Ling N. Rate control for H.264 with two-step quantization parameter determination but single-pass encoding[J]. *European Association for Signal Processing (EURASIP) Journal on Applied Signal Processing*, 2006, 2006: 1 - 13.
- [9] Lee Y G, Song B C. An intra-frame rate control algorithm for ultralow delay H.264 advanced video coding (AVC)[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2009, 19(5): 747 - 752.
- [10] Jiang M, Ling N. Low-delay rate control for real-time H.264/AVC video coding[J]. *IEEE Trans. on Multimedia*, 2006, 8(3): 467 - 477.
- [11] Sergio S R, Oscar A E, Manuel F L, et al. Cauchy-density-based basic unit layer rate controller for H.264/AVC[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2010, 20(8): 1139 - 1143.
- [12] Kwon D K, Shen M Y, Kuo C J. Rate control for H.264 video with enhanced rate and distortion models[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2007, 17(5): 517 - 529.
- [13] Kamaci N, Altunbasak Y, Mersereau R M. Frame bit allocation for the H.264/AVC video coder via Cauchy-density-based rate and distortion models[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2005, 15(8): 994 - 1006.
- [14] Ma S, Gao W, Lu Y. Rate-distortion analysis for H.264/AVC video coding and its application to rate control[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2005, 15(12): 1533 - 1544.
- [15] He Z, Mitra S K. A linear source model and a unified rate control algorithm for DCT video coding[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2002, 12(11): 970 - 982.
- [16] Huo Y, Li S H, Jing T. Low delay rate control based on generalized Laplacian distribution[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2010, 38(5): 1078 - 1083. (霍炎, 李生红, 荆涛. 基于广义拉普拉斯分布的低时延速率控制算法[J]. 电子学报, 2010, 38(5): 1078 - 1083.)
- [17] Yuan W, Lin S X, Niu Z D. Efficient rate control schemes for H.264/AVC[J]. *Chinese Journal of Computers*, 2008, 31(2): 329 - 339. (袁武, 林守勋, 牛振东. H.264/AVC 码率控制优化算法[J]. 计算机学报, 2008, 31(2): 329 - 339.)
- [18] Lee C, Jung Y, Lee S, et al. Real-time frame-layer H.264 rate control for scene-transition video at low bit rate[J]. *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, 2007, 53(3): 1084 - 1092.
- [19] Tsai W J, Chou T L. Scene change aware intra-frame rate control for H.264/AVC[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2010, 20(12): 1882 - 1886.
- [20] Zhu Z J, Bai Y Q, Jiang G Y, et al. Accurate rate control by using two rate-distortion models[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2010, 15(4): 541 - 516. (朱仲杰, 白永强, 蒋刚毅, 等. 基于双模预测的精确码率控制[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(4): 541 - 516.)
- [21] Wang H, Kwong S. Rate-distortion optimization of rate control for H.264 with adaptive initial quantization parameter determination[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2008, 18(1): 140 - 144.
- [22] Lee G G, Lin H Y, Wang M J. Rate control algorithm based on intra-picture complexity for H.264/AVC[J]. *IET Image Processing*, 2009, 3(1): 26 - 39.
- [23] Wu W, Kim H K. A novel rate control initialization algorithm for H.264[J]. *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, 2009, 55(2): 665 - 669.
- [24] Tang T Y, Yu H Y, Liu Z. Rate control based on optimization for consistent quality[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2007, 29(1): 114 - 117. (唐田野, 于鸿洋, 刘钊. 基于质量一致性优化的视频码率控制[J]. 系统工程与电子技术, 2007, 29(1): 114 - 117.)
- [25] Zheng Q Y, Yu M, Peng Z J, et al. Human visual system-based rate control algorithm for H.264/AVC[J]. *Journal of Optoelectronics • Laser*, 2011, 22(3): 440 - 445. (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, 22(3): 440 - 445.)
- [26] Ou T S, Huang Y H, Chen H H. SSIM-based perceptual rate control for video coding[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2011, 21(5): 682 - 691.
- [27] Cui Z G, Zhu X C. Structural similarity optimal MB layer rate control algorithm for H.264[J]. *Journal Electronics & Information Technology*, 2011, 33(6): 1339 - 1344. (崔子冠, 朱秀昌. H.264 结构相似性最优的宏块层码率控制算法[J]. 电子与信息学报, 2011, 33(6): 1339 - 1344.)
- [28] Ma L Q, Shen H H, Zhang Q S, et al. An H.264 rate control algorithm orienting low target bit rate[J]. *Journal of Harbin Engineering University*, 2011, 32(6): 820 - 824. (马力群, 沈海虹, 张其善, 等. 一种面向低目标比特率的 H.264 码率控制算法[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2011, 32(6): 820 - 824.)
- [29] Pei Z Y, Cai A N. Loss-aware rate control for GOP based video

- coding[J]. *Journal of Jilin University*, 2010, 40(5): 1415 - 1420. (裴智勇, 蔡安妮. 感知信道失真的 GOP 结构视频编码速率控制[J]. 吉林大学学报, 2010, 40(5): 1415 - 1420.)
- [30] Chang L C, Kuo C H, Liu B D. A two-stage rate control mechanism for RDO-based H.264/AVC encoders[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2011, 21(5): 660 - 673.
- [31] Zhou S M, Li J T, Fei J H, et al. Improvement on rate-distortion performance of H.264 rate control in low bit rate[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2007, 17(8): 996 - 1006.
- [32] Chen Z, Ngan K N. Distortion variation minimization in real-time video coding[J]. *Signal Processing: Image Communication*, 2006, 21(4): 273 - 279.
- [33] Huang K L, Hang H M. Consistent picture quality control strategy for dependent video coding [J]. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2009, 18(5): 1004 - 1014.
- [34] Cherniavsky N, Shavit G, Ringenburt M F, et al. MultiStage: a MINMAX bit allocation algorithm for video coders[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2007, 17(1): 59 - 67.
- [35] Milani S, Celetto L, Mian G A. An accurate low-complexity rate control algorithm based on (ρ, E_q) -domain [J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2008, 18(2): 257 - 262.
- [36] Kuo C H, Chang L C, Fan K W, et al. Hardware/software codesign of a low-cost rate control scheme for H.264/AVC[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2010, 20(2): 250 - 261.
- [37] Seo C W, Kang J W, Han J K, et al. Efficient bit allocation and rate control algorithms for hierarchical video coding[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2010, 20(9): 1210 - 1223.
- [38] Liu Y, Li Z G, Soh Y C. Rate control of H.264/AVC scalable extension[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2008, 18(1): 116 - 121.
- [39] Hu S, Wang H, Kwong S, et al. Rate control optimization for temporal-layer scalable video coding[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2011, 21(8): 1152 - 1162.
- [40] Xu L, Gao W, Ji X Y, et al. A rate control algorithm for scalable video coding[J]. *Chinese Journal of Computers*, 2008, 31(7): 1175 - 1184. (徐龙, 高文, 季向阳, 等. 一种面向 SVC 的码率控制算法[J]. 计算机学报, 2008, 31(7): 1175 - 1184.)
- [41] Song C X, Xiong H K, Yu S Y, et al. Rate control scheme for base layer in scalable video coding[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2006, 11(11): 1631 - 1635. (宋春霞, 熊红凯, 余松煜, 等. 基于可分级编码基本层的码率控制方法[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(11): 1631 - 1635.)
- [42] Sullivan G J, Ohm J R. Recent developments in standardization of high efficiency video coding (HEVC)[C]//*Proc. of the SPIE Conference on Applications of Digital Image Processing XXXIII*, 2010:30.
- [43] Wiegand T, Ohm J R, Sullivan G J, et al. Special section on the joint call for proposals on high efficiency video coding (HEVC) standardization [J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2010, 20(12): 1661 - 1666.
- [44] Mccann K, Bross B, Kim I K, et al. HM5: high efficiency video coding (HEVC) test model 5 encoder description, JCT-VC of ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 [R]. Geneva: Joint Collaborative Team on Video Coding, 2011.

作者简介:

吴 炜(1977 -),男,副教授,博士,主要研究方向为智能视频处理与通信。

E-mail: wwu@xidian. edu. cn

陈 健(1968 -),男,教授,博士,主要研究方向为多媒体传感器网络。

E-mail: jianchen@mail. xidian. edu. cn

宋 彬(1973 -),男,教授,博士,主要研究方向为视频编码与通信。

E-mail: bsong@mail. xidian. edu. cn