



量化参数对 H.266 压缩标准 4K 视频 质量影响实验

金伟正, 宁明慧, 王欣然, 梁芳

(武汉大学 电子信息学院, 武汉 430072)

摘要: 多功能视频编解码方式(H.266/VVC)在每一个编码环节上都采取了多项改进措施, 诸多措施的总体效果使其编码效率比高效视频编解码方式(HEVC)提高了一倍。该文对几种动态情况各异的视频序列 (*.yuv) 采用 H.266 编解码器进行压缩和解压, 通过改变量化参数 (QP) 取值, 研究在不同比特率条件下, 视频压缩后编码效率和时间损耗的差异。实验表明, 对于较低的比特率和 4K 视频常用的比特率 (20 Mbps) 附近, 在编码效率和峰值信噪比上都拥有着很大的优势, 但在超大比特率的情况下, 两者表现近乎相同。对时间倍数和码率节省进行计算后发现, 每个视频序列的结果差距较大, 说明编码复杂度和编码性能与选取的视频序列本身有很大关系。H.266 对复杂度较高的视频序列提升明显, 编码复杂度有了显著提升, 在某些比特率的情况下甚至可达到 100 倍之多, H.266 同时对硬件的算力带来了很大挑战, 需要在之后进行进一步优化。

关键词: 多功能视频编解码方式; 4K/超高清视频; 量化参数; 峰值信噪比

中图分类号: TN761.2; G642.423

文献标志码: A

DOI: [10.12179/1672-4550.20230345](https://doi.org/10.12179/1672-4550.20230345)

Experiment on the Impact of Quantization Parameters on 4K Video Quality of the H.266 Compression Standard

JIN Weizheng, NING Minghui, WANG Xinran, LIANG Fang

(School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The versatile video coding (H.266/VVC) takes several improvements in each coding step, and the overall effect of many measures does result in a doubling of the coding efficiency compared to high efficiency video coding (HEVC). In this paper, several video sequences with different dynamic conditions (*.yuv) are compressed and decompressed using the H.266 codec, and the differences in coding efficiency and time loss after video compression are investigated by varying the quantization parameters (QP) values at different bit rates. Experiments show that for lower bit rates and near the bit rate commonly used for 4K video (20 Mbps), there is a significant advantage in both bit coding rate and peak signal to noise ratio (PSNR), but at very large bit rates, both perform nearly identically. Calculations of the time multiplier and bitrate savings reveal a wide range of results for each video sequence, suggesting that coding complexity and coding performance are highly dependent on the selected video sequence itself. H.266 improves significantly for more complex video sequences, with a significant increase in coding complexity, up to 100x at some bitrates. H.266 also poses a significant challenge to hardware arithmetic, which will need to be further optimized in the future.

Key words: H.266/VVC; 4K/ultra high-definition; QP; PSNR

自 4K 屏之后, 8K 屏又渐渐兴起, 高动态范围成像(high dynamic range imaging, HDR), 虚拟现实技术(virtual reality, VR)等新的应用场景也不断进入大众视野, 故而视频传输带通需求更大, 对于视频压缩质量有了更高的要求^[1]。自 HEVC (H.265) 发布后, 国际电信联盟(International

Telecommunication Union, ITU)和运动图像专家组(Moving Pictures Experts Group, MPEG)在 HEVC 基础上开展了更加高效的视频编码技术探索。当前 H.266 主要针对 4K 及以上的高清和超高清视频。H.266 在编码框架上与 H.265 相同, 不同条件下不同测试后得到, H.266 在全帧内编码(all

收稿日期: 2023-07-13; 修回日期: 2024-01-18

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFB1201602-05)。

作者简介: 金伟正(1966-), 男, 博士, 副教授, 主要从事射频系统、图像处理、环境感知等科研及教学工作。

E-mail: jwz@whu.edu.cn

intra, AI)条件下的平均编码效率比 H.265 提高了约 22%, 在随机接入编码(random access, RA)条件下提高了约 33%, 在低延迟编码(low delay, LD)条件下提高了约 27%^[2]。

目前视频质量评估分为主观和客观两大类, 其中主观视频质量评估是当今国际标准中认为最可靠的评估方式。主观视频质量评估是根据国际制定的一套标准让观测者肉眼对视频质量进行评估打分的一种方法。但是由于受环境影响大、效率不高、操作可行性不强等种种原因, 近年来客观视频质量评估成为热门研究方向。客观视频质量评估依托计算机分析, 按照一定的算法进行计算, 误差小, 分析量小且效率高, 实用性很强。

本文针对两种不同的视频压缩策略进行研究, 通过改变 QP 取值, 对比了两种视频压缩策略的编码效率、时间消耗及客观评价参数, 分析了不同编码方式下量化参数和视频质量之间存在的关系, 以及不同动态视频序列对于 H.266 压缩的影响, 同时也推进了对视频质量评估体系的进一步研究。

1 视频压缩策略

1.1 H.265 标准框架

HEVC 即 H.265, 是在高级视频编码(H.264)基础上进行的改进, 使得 H.265 在获得与 H.264 相同质量视频的情况下码率减少到 H.264 的一半, 压缩性能得到大大提升^[3]。H.265 沿用了 H.264 的混合编码技术, 在算法上进行了创新和精进。不同于 H.264 图像划分为宏块, H.265 采用的是划分为编码树单元(coding tree unit, CTU), 将原来的宏块变成了编码树块, 编码块(coding unit, CU), 预测块(transform unit, TU)等, 同时更新了帧内编码方式, 提出了更为精确的帧内预测方式^[4-5]。

1.2 H.266 标准框架

H.266 是在国际电信联盟的视频编码专家组(TVCEG)和运动图像专家组的通力合作下完成的最新一代视频编解码标准, 其主要针对满足高清和超高清视频的应用场景下的编码需求^[5]。基于每一代新的视频编解码标准推出的目标都是码率减半, 即 H.266 与 H.265 相比, 保持相同视频质量的情况下, 前者只需要后者一半的带宽。H.266 制定的两个目标为高压缩性能和宽应用领域, 为了

完成这两个目标, H.266 在保持 H.265 编码算法的情况下对编码的每个环节都进行了优化改进, 尽可能地除去信息冗余, 从而大大提高了视频编码效率^[6]。

2 评价指标

实验选取峰值信噪比作为反映视频质量的全参考客观参数^[7-8]。

2.1 峰值信噪比

峰值信噪比(PSNR), 是基于以 dB 为单位的数学统计模型的质量评价方法, 其表达式为:

$$\text{PSNR} = 10 \lg \frac{L^2}{\text{MSE}} \quad (1)$$

式中: PSNR 是一种使用广泛的视频质量评价参数, 其值越大代表失真越少^[9]; L 为图像中像素最大可能值; MSE(mean squared error)指原图像与被处理图像之间的均方误差, 定义为:

$$\text{MSE} = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (x_{ij} - y_{ij})^2 \quad (2)$$

式中: M 为色度图像的行数; N 为色度图像的列数; x_{ij} 表示原视频图片对应像素值; y_{ij} 表示测试视频图片对应像素值。

2.2 编码效率及时间损耗

编码效率是指在特定的压缩标准下, 编码器将原始数据压缩为更小的数据量的能力, 同时保持相同或类似的视觉质量。编码效率是衡量视频编码标准的重要指标之一, 通常通过比较编码前后的数据大小或比特率来评估。较高的编码效率意味着编码器可以以更低的比特率传输相同质量的视频, 或者以相同比特率传输更高质量的视频^[9-10]。这对于视频传输和存储非常重要, 因为它可以减小文件、节省带宽和存储空间。

时间损耗是指在视频编码过程中所需的额外时间或延迟。它是视频编码的一个重要方面, 影响着实时应用(如视频通话和实时流媒体)的性能和用户体验。本文实验中的时间损耗主要受编码器复杂性影响, 更高级的编码算法和技术通常需要更多的计算资源和处理时间。这会导致编码器的复杂性增加, 从而增加编码的时间损耗。

2.3 量化参数

量化参数 QP 反映了空间细节压缩情况, 在视频编码中, 该参数用于控制压缩的程度。较高的量化参数会导致更大的压缩比, 但也会引入更多

的失真, 导致编码后的视频质量降低。较低的量化参数会减少失真, 但会增加编码后的数据量。

QP 是量化步长 Qstep 的序号。对于亮度 (Luma) 编码而言, 量化步长 Qstep 共有 52 个值, QP 取值范围 0~51; 对于色度 (Chroma) 编码, Q 的取值范围 0~39。值越小, 量化越精细, 图像质量越高, 产生的码流也越长。如 QP 小, 大部分的细节都会被保留; QP 增大, 一些细节丢失, 码率降低, 但图像失真加强和质量下降。本文采用了改进的 4 个样本点的 BD-PSNR 测量法, 通过 AI 配置, 每个视频序列使用 8 种不同的 QP 来编码, 取值分别为 14, 19, 24, 29, 34, 39, 44, 49。

3 实验方法

实验选取 4 个 4K 的原始序列 (YUV) 进行测试, 序列拥有不同动态特性和画面特点。4 个序列分别为 “Beauty” “Jockey” “ReadySetGo” 和 “YachtRide”。

其中 “Beauty” 序列是头发飘动的金发女郎, 画面使用固定镜头的慢动作近景, 如图 1 所示; “Jockey” 序列是单人赛马场景, 镜头追踪奔马向左移动, 如图 2 所示; “ReadySetGo” 序列是赛马场地中群马冲出起点的画面, 镜头从静止到运动且伴随镜头追踪, 视频颜色较丰富, 如图 3 所示; “YachtRide” 序列是海上游船画面, 镜头向右移动, 如图 4 所示。

序列在 4K 分辨率下, 宽高比为 16 : 9, 总长为 600 帧, 测试流程如图 5 所示。

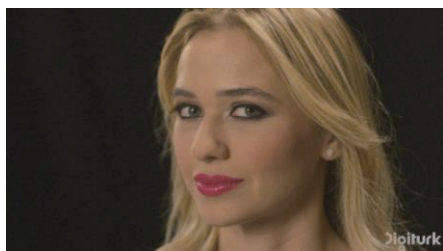


图 1 Beauty 序列图



图 2 Jockey 序列图



图 3 ReadySetGo 序列图



图 4 YachtRide 序列图

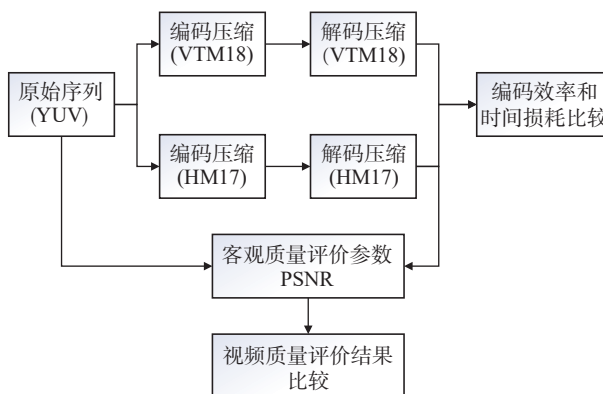


图 5 测试流程框图

具体测试流程如下:

- 1) 以未压缩格式 (*.yuv)^[11] 下载 4 个序列并用作参考序列^[9];
- 2) 通过编译生成 VTM18 (VVC test model) 和 HM17 (HEVC test model) 两种编解码器^[12-14], 修改编码器配置文件 encoder_intra_vtm.cfg 中 QP 取值分别为 14, 19, 24, 29, 34, 39, 44, 49;
- 3) 使用 VTM18 和 HM17 对视频序列进行编解码;
- 4) 比较两种编解码器的编码效率和时间损耗;
- 5) 比较原始视频和处理后的视频, 得出相应的客观质量评价参数, 并对两种编解码方式所得参数进行对比^[15], 从而得出对两种编码方式的评价。

4 实验结果分析

4.1 编码效率及时间损耗评价

编码效率测量结果如图 6 所示, 由图可见, 经 VTM 编解码器压缩后的视频序列比特率小于

HM 编解码器。当 $QP < 30$ 时，视频比特率下降幅度较大，如图 6(a)所示；当 $QP > 30$ 时，曲线趋于平坦，比特率差异缩小，如图 6(a)和图 6(b)所示。QP 较小时，即视频复杂度更高，编码后数据

量更大的情况下，VTM 和 HM 的比特率差异明显，在图 6(a)、图 6(c)和图 6(d)均有体现。由此可见，VTM 对复杂度较高的视频序列提升明显，编码复杂度显著增加。

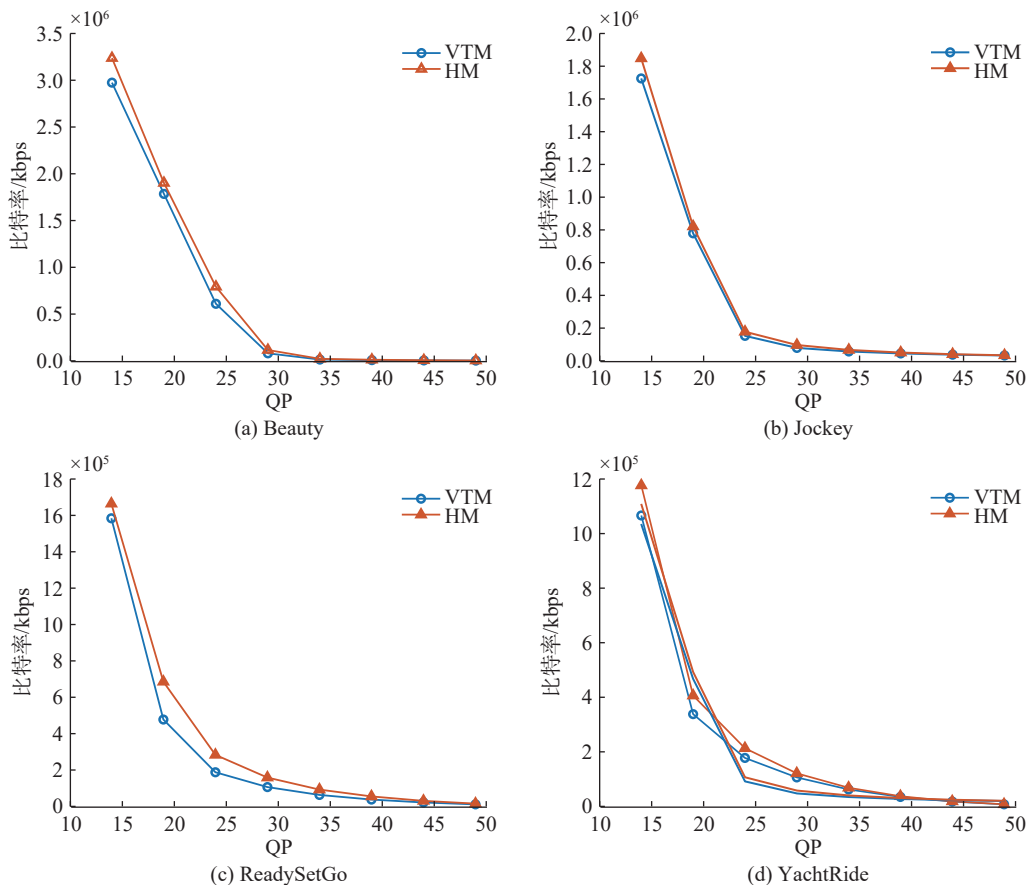


图 6 编码效率测量结果

时间损耗测试结果如图 7 所示，在 4 个视频序列测试中，所有 QP 取值下 VTM 编解码时间均长于 HM。QP 取值小于 35 时，VTM 时间损耗远长于 HM；QP 大于 35 后，时间损耗差距减小。图 7(a)、图 7(b)和图 7(d)中曲线趋势接近，

图 7(c)中，时间损耗差距在 QP 取 34 时比 QP 取 29 时更大。整体而言，随 QP 值增大，两编解码器时间差距逐渐减小。VTM 编解码视频序列时间远长于 HM，可见 VTM 对硬件的算力要求较高，需要进一步优化。

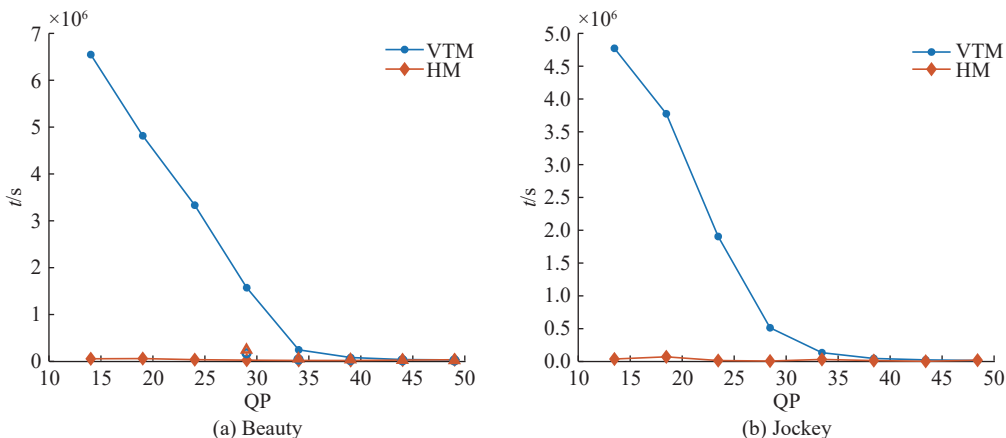


图 7 时间损耗测试结果

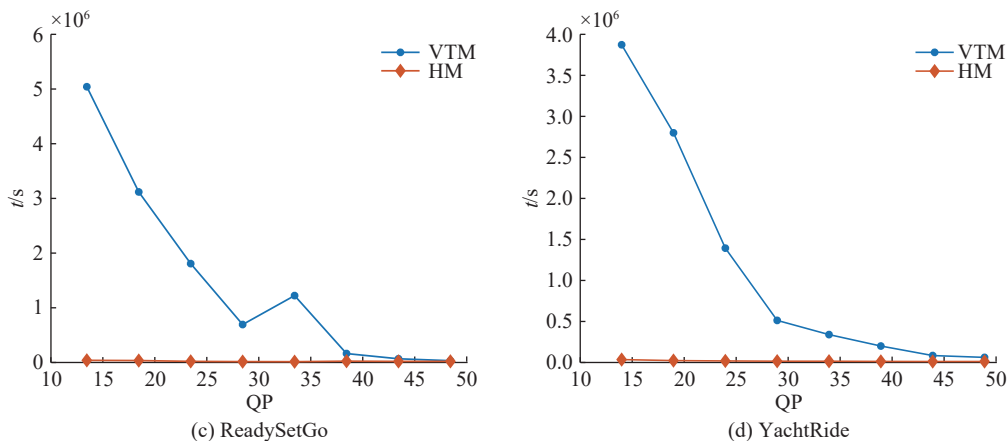


图 7 (续)

4.2 客观质量参数评价

根据图 8 中的测量结果, 可以观察到在 PSNR 评价指标上, VTM 编解码器相比 HM 编解码器在压缩视频序列方面表现更好。然而, 需要注意的是, 不同视频序列对视频质量评价的表现存在较大差异。在比特率较低的情况下, 图 8(a) 和图 8(b) 显示两种编解码器之间的差异较小, 随着比特率的增加, 它们之间的差异逐渐增大。对于图 8(c) 和图 8(d), 与

图 8(a)、(b) 两张图相比, 它们的转折点更为平缓, 即使在较低的比特率下, 它们之间的差异也更加明显。

然而, 需要注意的是, 本文所选取的 4 个视频序列都是基础的实验序列, 其动态特性和复杂程度相对较低。综合考虑图 8(a)~图 8(d) 的结果, 所得出的 VTM 和 HM 编解码器之间的差异并不显著。因此, 在某种程度上, 不能完全体现两个编解码器性能的显著差异。

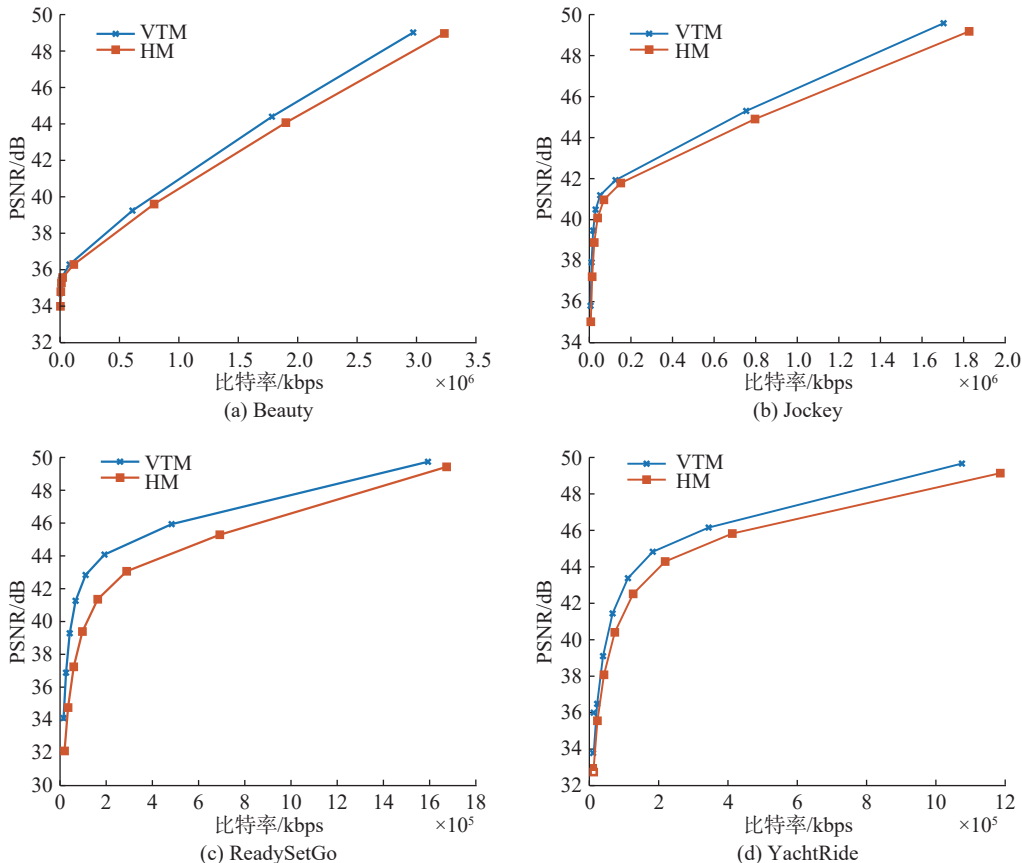


图 8 客观质量参数评价图

5 结束语

通过对 H.266 压缩标准下的 4K 视频进行实验, 本文研究了量化参数(QP)对视频质量的影响。实验结果表明, 随着 QP 值的增加, 视频的压缩比特率也随之增加, 同时视频质量有所下降。较低的 QP 值可以实现较高的视频质量, 但会导致较高的比特率。相反, 较高的 QP 值可以实现较低的比特率, 但会降低视频质量。

针对不同的 4K 视频序列, 实验发现在较低比特率和常用的比特率(如 20 Mbps)附近, 选择适当的 QP 值可以在码率节省和视频质量方面取得显著的优势。然而, 在超大比特率的情况下, 不同的 QP 值对视频质量的影响相对较小, 两者的表现趋于相似。此外, 实验还显示不同视频序列的编码复杂度和性能存在差异, 这进一步强调了选取视频序列对于量化参数和编码结果的重要性。但是在本文实验结果中, VTM 相较于 HM 并未表现出压倒性优势, 同时, VTM 对硬件算力要求较高, 还有很大提升空间。随着 H.266/VCC 标准的不断改进, 其性能将会进一步优化。

综上所述, QP 在 H.266 压缩标准下对 4K 视频质量产生了明显的影响。研究 QP 值与视频质量、比特率之间的关系有助于优化视频压缩和编码过程。进一步研究和实验可以帮助找到最佳的量化参数设置, 以平衡视频质量和比特率, 并推动 H.266 压缩标准在 4K 视频领域的应用。

参考文献

- [1] 周芸, 郭晓强, 李小雨. 国际视频编码 VVC 标准最新进展研究[J]. 广播与电视技术, 2018, 45(9): 6.
- [2] MERCAT A, MAKINEN A, SAINIO J, et al. Comparative rate-distortion-complexity analysis of VVC and HEVC video codecs[J]. *IEEE Access*, 2021, 9: 67813–67828.
- [3] SULLIVAN G J, OHM J R, HAN W J, et al. Overview of the high efficiency video coding (HEVC) standard[J]. *IEEE Transactions on Circuits & Systems for Video Technology*, 2013, 23(12): 1649–1668.
- [4] 周芸, 胡潇, 郭晓强. H. 266/VVC 视频编码图像划分技术研究[J]. 广播与电视技术, 2019(11): 5.
- [5] BROSS B, CHEN J, OHM J R, et al. Developments in international video coding standardization after AVC, with an overview of versatile video coding (VVC)[J]. *Proceedings of the IEEE*, 2021, 109(9): 1463–1493.
- [6] 杨光义, 黄奇华, 金伟正, 等. 基于中央凹视觉的梯度结构相似性图像质量评价[J]. *武汉大学学报(理学版)*, 2018, 64(6): 51–57.
- [7] 金伟正, 冷秋君, 张卓, 等. 基于 contourlet 变换的多尺度图像质量评价[J]. *武汉大学学报(理学版)*, 2015, 61(2): 5.
- [8] ALAIN HORÉ, ZIOU D. Image quality metrics: PSNR vs. SSIM[C]//20th International Conference on Pattern Recognition, Istanbul: IEEE Computer Society, 2010.
- [9] MIN B, CHEUNG R C C. A fast CU size decision algorithm for the HEVC intra encoder[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2015, 25(5): 892–896.
- [10] HUANG Y W, AN J, HUANG H, et al. Block partitioning structure in the VVC standard[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2021, 31(10): 3818–3833.
- [11] WANG Z, BOVIK A C, SHEIKH H R, et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity[J]. *IEEE Trans Image Process*, 2004, 13(4): 600–612.
- [12] MEI H L, ONG E P, LIN W, et al. Comparison of video quality metrics on multimedia videos[J]. *IEEE International Conference on Image Processing*, 2006, 457–460.
- [13] MERCAT A, VIITANEN M, VANNE J. UVG dataset: 50/120fps 4K sequences for video codec analysis and development[DB/OL]. (2020-05-27)[2023-07-01]. <https://ultravideo.fi/dataset.html>.
- [14] 金伟正, 王欣然, 冯方舟, 等. 图像组对 H. 265 压缩标准 4K 视频质量影响实验[J]. *实验室研究与探索*, 2022, 41(9): 7–10.
- [15] ZHOU W, BOVIK A C. Mean squared error: Love it or leave it? A new look at signal fidelity measures[J]. *IEEE Signal Processing Magazine*, 2009, 26(1): 98–117.

编辑 钟晓