

摘要

随着多媒体技术的进步，以视频为核心的多媒体应用在各行各业得到了极大的发展，视频数据量呈现爆炸式增长。高效视频编码技术能够降低数据存储与传输的成本，是视频产业持续稳步发展的核心。可变分辨率视频指的是空间分辨率不完全相同的视频，能够为不稳定网络条件下的实时视频、流媒体的快速启动、多方视频会议中的主讲人切换和流媒体的自适应流切换等多媒体应用场景提供更高效率的解决方案。然而，传统的视频编码技术主要针对固定分辨率视频，没有充分利用分辨率的可变性，可变分辨率视频中的冗余信息有待进一步去除。如何根据可变分辨率视频的特性实现高效编码仍然是当前的研究难题。针对这一难题，本文主要研究可变分辨率视频的高效编码技术，为可变分辨率视频的传输和存储提供保障，以进一步推进相关视频应用的发展。本文的主要创新点包括以下四个方面：

第一，提出了一种基于时空相关性的变分辨率参考结构，用于解决可变分辨率视频编码的帧间预测低效和码率激增问题。在传统的参考结构中，参考帧的重构质量及其与编码帧的相似性是参考帧选择的首要因素，但忽略了参考帧分辨率对参考效率的影响。针对这一问题，该方法在参考列表中引入了时域远距离的高分辨率参考帧，以提高帧间预测的准确性。同时，为了适应不同视频内容，提出根据已编码信息对引入的高分辨率参考帧的数目进行调整。实验结果表明，所提方法在新一代通用视频编码标准（Versatile Video Coding, VVC）上的平均性能增益超过9%，最大增益超过20%。同时，所提方法还能够极大地缓解原有参考结构带来的码率激增问题，码率降低率最高达52%。

第二，提出了一种帧级自适应上采样滤波方法，用于解决可变分辨率视频上采样滤波的内容自适应问题。新一代编码标准中使用的上采样滤波器系数固定不变，无法适应多变的视频内容，限制了可变分辨率视频的编码性能。针对这一问题，该方法首先根据原始高分辨率图像和重构低分辨率图像导出了均方误差最小的上采样滤波器。再对上采样滤波器系数进行高效预测，并根据系数残差的概率分布特性设计了变长码字进行编码，大大节省了标识滤波器系数的码率。实验结果显示，该方法在VVC和第三代音视频编码标准（The Third Generation of Audio and Video Coding Standard, AVS3）上的编码性能增益分别为7.45%和15.50%。

第三，提出了一种基于采样失真的自适应下采样编码方法，用于解决可变分辨率视频的帧级分辨率动态决策和编码复杂度过高的问题。传统的下采样编码研究复杂度高且不符合编码标准，如何在新一代视频编码标准中以较小的复杂度代价提升编码

性能是当前下采样编码研究的重点。针对这一问题，该方法基于采样失真与失真阈值对每个视频帧的编码分辨率进行动态决策。针对下采样编码的亮度性能不一致及其与全分辨率编码的码率差异问题，提出了对应的亮度量化参数调整方法。实验结果显示，该方法在VVC和AVS3上都获得了可观的编码性能增益，性能增益最高可达57.72%。同时，该方法计算复杂度低，在编解码时间上都有明显的节省。

第四，提出了一种 λ 域的变分辨率码率控制方法，用于解决分辨率切换和 λ 域码率控制的兼容问题。现有的 λ 域码率控制方法通过调整量化参数和 λ 值实现精准的码率控制，忽略了编码分辨率调整对编码性能和码率控制精准度的影响。针对这一问题，该方法根据量化参数和失真阈值对目标码率的限制下的最优编码分辨率进行决策。为了达到精准的码率控制和稳定的视频质量，提出了多码率控制参数维护方法和变分辨率域编码参数的转换方法。实验结果显示，所提方法能够在不增大码率误差的同时，实现平均3.7%的编码性能增益。

综上所述，本文针对可变分辨率视频的高效编码问题展开研究，从可变分辨率视频的冗余特性及其编码特点出发，提出了基于时空相关性的变分辨率参考结构、帧级自适应上采样滤波方法、基于采样失真的自适应下采样编码方法以及 λ 域的变分辨率码率控制方法。所提方法在VVC和AVS3上进行了验证，取得了显著的性能提升，为深入挖掘可变分辨率视频的冗余特性及其编码应用提供了进一步的理论依据和实践证明。

关键词：可变分辨率，视频编码，参考结构，重采样，码率控制