

摘要

在多媒体技术和信息化高度发展的当今社会，视频内容逐渐成为多媒体产业的核心内容。随着高采集精度设备的出现以及视频直播等各种视频应用的普及，视频数据量呈现爆发式增长，这对视频内容的存储和传输都提出了更高的挑战。在这一背景下，探索如何突破固化的编码规则、研究更高效的视频压缩技术，无疑是多媒体应用领域的主要任务之一。为了面向更复杂的视频纹理、更复杂的运动场景，本文针对“像素点-图像块-编码帧-视频序列”多个尺度下的编码规则固化问题，深入挖掘视频信号以及编码过程中的数据的相关性，探索适用度更高的编码模型，提出内容自适应的高效视频编码方法。本文的创新点主要包括以下四个方面：

第一，针对像素级均匀一致滤波处理的局限性，提出了基于纹理特征的自适应变换域滤波。从像素级的高质量重建出发，通过分析重建视频的空域内容特性，自适应地进行变换域的滤波。一方面，在编码块级别的率失真决策过程中引入哈尔小波变换域滤波，在尽可能保留视频图像中边缘特性的前提下，有效地降低量化噪声；另一方面，从重构区域纹理特性入手，通过自适应调节滤波强度实现对重建信号的高效滤波。实验结果表明，在全帧内编码配置下，所提方法可以带来 0.84% 的编码性能提升，在低码率配置下性能提升最高可达 1.98%。同时该算法还可以有效地减少重构视频中的振铃效应，实现了对重建视频主客观性能的双重提升。

第二，针对运动矢量预测导出规则固化的问题，提出了自适应的渐进式运动矢量预测。从图像块的高效运动信息表达出发，引入非邻接域运动信息进行预测，充分利用已重构区域与待编码区域运动信息的相关性，有效提升了运动矢量预测准确性。基于图像块级运动相关性的分析，提出了多阶段渐进式的运动矢量预测方法。基于已重构区域信息自适应地导出最相关非邻接运动方向及最相关运动距离；然后，构建非邻接域运动信息候选列表，丰富合并模式运动矢量预测候选，对于含运动遮挡的序列可实现 1.10% 的性能增益，有效提升了帧间预测的编码性能。结合运动矢量存储粒度大小，该方法提出了时域运动矢量预测优化策略，有效减少了运动预测中的冗余过程，已被新一代视频编码标准 H.266/VVC 采纳。

第三，针对单一的虚拟参考帧生成模型对不同视频适应性不足的问题，提出了基于时空先验的自适应虚拟参考帧生成及更新方法。从非线性帧间预测的角度出发，本文首先引入了目标插帧单元以及支撑插帧单元的概念，并对不同内容特性的支撑插帧单元与目标插帧单元之间的相关性进行了深入分析。随后，充分挖掘已重构时空域区域的信息，通过在线学习策略实现不同运动内容特性下虚拟参考帧生成模型的自适应

调整，在“生成”与“更新”两阶段同时提升虚拟参考帧的质量，从而有效提升了运动补偿预测编码效率。实验结果显示，所提方法在随机访问配置下可以带来 3.05%，4.15% 和 4.69% 的亮度性能提升。同时，该方法提出了虚拟参考帧与帧间预测的兼容性算法，对运动矢量缩放过程进行了适应性调整，已被新一代视频编码标准 AVS3 采纳。

第四，针对不同场景下线性运动模型受限的问题，提出了基于自适应运动建模的动态纹理压缩框架。通过对视频序列的复杂运动场景建模，本文从内容感知的角度出发，分析了动态纹理视频内容的运动特性，基于分析结果将动态纹理序列建模成粒子沿固定流线的周期性运动，进而提出了一种基于粒子系统建模的动态纹理视频编码框架。首先使用深度神经网络进行像素级的动态纹理区域分割，接着基于运动分析自适应导出流线分布及运动周期，在编码过程中对于动态纹理区域使用内容生成的方式替代传统运动补偿算法。实验结果表明，在重构视频主观质量达到人眼视觉需求的前提下，所提方法平均可以节省 16.70% 的码率，有效地去除视觉感知冗余。

综上所述，本文研究了内容自适应的高效视频编码方法。从非均匀结构建模和非线性运动建模两个角度入手，提出了基于纹理特征的自适应变换域滤波方法、自适应的渐进式运动矢量预测方法、基于时空先验的自适应虚拟参考帧生成及更新方法以及基于自适应运动建模的动态纹理压缩框架。所提方法在新一代视频编码标准基础上均取得了显著的性能提升，并且部分已获得了标准化应用，为进一步推动视频编码在实际应用场景中的落地提供了理论和实践上的支持。

关键词：视频编码，帧间预测，运动补偿预测，VVC，AVS3