

摘要

数字视频和移动通信等信息技术的不断进步，推动了以视频为核心的多媒体产业蓬勃发展。随着超高清视频的普及和视频应用场景的升级，视频数据量呈现爆发式增长，给数据的存储和传输带来了巨大挑战。为了应对这一挑战，学术界和工业界持续探索高效视频编码方法，开展新一代视频编码标准 AVS3 (The Third Generation of Audio and Video Coding Standard, AVS3) 和 VVC (Versatile Video Coding, VVC) 的制定。帧内预测作为去除空间冗余的关键技术，在标准制定过程中得到了广泛研究。然而，现有的帧内预测方法受限于单一先验特性和固化的线性模型，难以满足高效压缩的需求。因此，深入分析视频信号特性，精准构建预测编码模型，提升编码性能，对于视频编码的长期发展具有重要意义。本文面向高效的帧内预测编码，从视频信号的空域相关性建模入手，深入分析编码过程中信号之间的空域局部、非局部相关特性，研究基于空域特性的自适应预测编码方法，以提升视频编码效率。本文的主要创新点包括以下三个方面：

第一，提出了基于空域局部相关性的自适应模式扩展方法。针对预测效率提升和模式编码代价增长不平衡问题，从局部先验的高效建模和紧凑表达出发，引入了更高密度的插值预测模式并实现最优模式的隐式预测，有效提升了帧内预测准确性和模式编码效率。一方面，基于空域像素级相关性设计了块尺寸依赖的高密度模式扩展方法，并同步优化了最可能模式列表导出和率失真列表构建，在显著降低复杂度的同时，实现了对不同粒度的方向性纹理的高效表征。另一方面，从块级纹理连续性入手，建立了邻域预测过程和当前块预测模式之间的自适应推理关系，通过基于梯度的模式预筛选和基于邻域预测失真的模式重排序，实现了最优模式的隐式导出和自适应多假设预测，有效降低了高密度模式的编码开销。实验结果表明，所提方法在全帧内 (All Intra, AI) 和随机访问配置 (Random Access, RA) 下分别带来 1.67% 和 0.97% 的性能增益，其中的高密度模式扩展方法和优化策略已被 AVS3 标准采纳。

第二，提出了基于空域非局部相关性的自适应预测方法。针对参考信息量不足和像素级插值预测模式固化的问题，从非局部先验结构建模入手，深入分析了基于非局部相似块的预测编码和残差编码特性，构建了多步渐进式模板匹配预测方法，实现了块级结构纹理的高效表达和非局部信息的低比特标识。首先，面向由具有相似结构特性图像块组成的非局部相似块组，提出了一种区域自适应的模板匹配方法获得非局部块级参考信息。接着，基于初次预测残差的空频域特性分析，设计了高低频分离的模板生成方法，联合高频重建和低频估计自适应地导出局部纹理模板。最后，结合同局部

纹理模板和匹配算法构建二次渐进式搜索匹配预测，实现了低标识下的非局部参考块精准匹配。实验数据表明，所提方法在 AI 和 RA 配置下平均获得 1.36% 和 0.81% 的性能提升，相比于投影预测和显式块复制预测，对各类视频内容具有更高的适应性。

第三，提出了融合非局部与局部特性的神经网络帧内预测方法。针对传统单一先验的线性模型对多样化纹理适应性不足的问题，从数据驱动建模角度探究了视频纹理预测与特征学习之间的内在联系，利用神经网络对多种空域先验特性进行联合非线性建模，提升了复杂多样化纹理的预测效率。一方面，从递进式联合角度提出了上下文感知的帧内预测模型，包含局部纹理感知和非局部特征匹配两个阶段，以局部感知纹理为模板促进非局部特征的权重分配，在刻画连续纹理的同时增强了纹理结构性。另一方面，从独立建模再联合角度设计了基于注意力机制的非局部预测模型，将像素域模板匹配映射为特征域注意力计算，建立了非局部特征相对待预测特征的非线性加权关系。然后，利用残差网络自适应地融合独立的局部与非局部预测结果，提高了对多样化纹理的预测能力。实验结果显示，所提方法在 AI 配置下平均获得近 5% 的性能增益，最高获得超 8% 的性能提升，相比于传统线性预测模型，具有显著的性能优势。

综上，本文研究了基于空域相关性的自适应帧内预测算法，从空域局部、非局部相关性建模出发，提出了基于局部相关性的模式扩展算法以及基于非局部相关性的块匹配预测算法，其中的高密度模式扩展技术被新一代视频编码标准采纳。进一步地从数据驱动建模入手，提出了局部与非局部联合的神经网络预测模型，论证了非线性帧内预测模型作为下一代视频编码工具的可行性。本文方法在新一代视频编码标准基础上获得显著的性能提升，为下一代视频编码标准和智能编码研究提供了新的思路。

关键词：视频编码，帧内预测，模板匹配预测，AVS3, VVC