

## 摘要

互联网、移动通信、宽带通信等信息技术的飞速发展，给图像和视频等多媒体产业带来了巨大的变革。新型视频应用的层出不穷，在改变人们生活方式的同时，也带来了巨大的存储和带宽压力。为了实现视频信号的紧凑表示，视频编码技术得到了广泛关注。经过几十年的发展，视频编码逐渐形成了以预测、变换、熵编码、环路滤波为核心的混合编码框架，并在此基础上诞生了面向不同应用场景的多个编码标准。然而现有基于空域、时域等单一先验模型的视频编码方法受限于编码规则，难以满足高效压缩的需求。深入探索视频内容和编码信息的时空先验特性，实现高效预测、高质量重建、高效编码信息表示，对于视频编码具有十分重要的理论与应用价值。本文从视频信号的空域局部相关性、空域非局部相关性、以及时域相关性出发，探索从预测划分到信号重建过程的高效编码方法。主要创新点包括以下方面：

第一，提出了一种时空域联合划分预测方法，用于解决帧间预测中预测精准度和编码信息表示代价之间的权衡问题。该方法通过挖掘视频内容和编码信息的空域局部、空域非局部、时域先验特性，有效地提升了帧间预测性能。一方面通过预设的多方向几何划分模式，实现了运动的高效建模，提升了预测精准度，降低了残差信号强度；另一方面，基于编码信息的时空相关性，设计了一种编码信息预测和表示方法，用于解决由于多模式的引入而导致的编码代价问题。在新一代视频编码标准 VVC (Versatile Video Coding, VVC) 参考软件平台上的实验结果表明，此方法在随机访问编码配置 (Random Access, RA)、低延时编码配置 (Low Delay B, LDB) 下，分别可带来 0.95% 和 1.98% 的编码性能提升，且几乎不引入额外复杂度。

第二，提出了一种基于时空先验的自适应环路滤波方法，用于解决自适应环路滤波性能和复杂度之间的权衡问题。该方法通过分析视频内容和编码参数的时空先验特性，对自适应环路滤波进行了系统性的研究和优化，提升了自适应环路滤波的应用价值。首先，基于视频信号的空间内容特性，提出了基于空域先验的滤波参数估计模型，并在此基础上设计了滤波系数训练方式，用以降低由于参数估计的多次迭代导致的编码复杂度问题；其次，提出了基于失真估计的跨分量自适应环路滤波方法，在探索通道间相关性的同时，保持了较低的软硬件实现复杂度；再次，针对其软硬件并行问题，结合不同视频采样格式的特点，设计了基于虚拟边界的滤波器动态截断操作；最后，基于滤波参数的时域相关性，设计了自适应的系数编码方案，以降低滤波系数编码代价。在 VVC 参考软件平台上的实验结果表明，平均可降低自适应环路滤波模块约 25% 的编码时间。该方法在保证编码性能的同时，降低了软硬件复杂度，并且被 VVC 标准采

纳。

第三, 提出了一种局部与非局部结合的时空域协同滤波方法, 用于解决环路滤波中单一先验建模导致的滤波自适应性不足的问题。该方法基于最优信号重建理论与率失真理论, 将空域局部、空域非局部以及时域先验特征应用于环路滤波, 这在国内外相关研究工作中尚属首例。首先, 为每个待滤波像素导出空域局部相邻像素、空域非局部和时域相似像素; 然后, 根据块级噪声分布和像素级信息将待滤波像素划分为特定的类别。针对自然内容视频和屏幕内容视频不同的噪声分布情况, 设计了内容自适应的分类策略, 同一类别的样本使用同样的滤波系数; 之后, 根据分类结果对局部和非局部参考像素进行自适应融合; 最后, 对每个待滤波像素进行滤波操作。除此之外, 还对其中复杂度较高的非局部相似像素获取模块, 设计了启发式的快速块匹配方法。相比于传统的局部滤波, 更充分地利用了空域非局部和时域先验, 具有更好的主客观性能。相比于传统无监督的非局部滤波, 具有更高的编码性能和更低的计算复杂度。在 VVC 参考软件平台上的实验结果表明, 此方法在全帧内编码 (All Intra, AI)、RA、LDB 配置下, 分别可以带来 0.58%、1.09%、2.01% 的性能增益。对于屏幕内容视频性能增益更为显著, 分别可以带来 2.56%、3.39%、4.03% 的性能提升。

综上所述, 本文研究了基于时空先验的高效编码方法, 从视频内容时空相关性和编码信息时空相关性出发, 提出了时空域联合划分预测、基于时空先验的自适应环路滤波、以及局部与非局部结合的时空域协同滤波。所提出的方法在新一代视频编码标准 VVC 上进行验证, 取得了显著的性能和效率的提升, 并且部分获得标准化应用。此外, 本文为下一代视频编码标准的探索提供了新思路。

**关键词:** 视频编码, 预测编码, 环路滤波, 空域局部先验, 空域非局部先验, 时域先验