

摘要

在高速信息化的时代，高清数字视频的高效存储和快速传输需求越来越强烈。特别是随着众多移动计算设备的快速发展，以图像和视频为主的多媒体应用越来越流行。在这些多媒体应用中，除了视频的空域分辨率和时域帧率越来越高之外，部分新兴视频在内容上还往往展示着与传统自然视频不同的特性，因此这些应用给视频编码技术带来了重大的挑战。为了节省视频的存储成本和带宽需求，进一步发展视频编码技术对于产业界有着重要的经济价值。在 2013 年，国际编码组织联合发布了高效视频编码标准 HEVC (High Efficiency Video Coding) 以提升高清视频的编码效率。

HEVC 采用了混合的编码框架，主要包括预测、变换、量化和熵编码等几个重要的模块。其中预测是第一个核心模块，按照参考像素来源可以分为帧内预测和帧间预测。帧内预测是利用单帧图像里的空间相关性去消除冗余信息，帧间预测是利用视频中时域相关性去减少冗余信息。HEVC 预测方法相比之前的标准有了不少的提升，然而还存在以下不足：(1) HEVC 帧内预测方法只利用了部分邻近参考像素，没有考虑到更多的上下文信息；(2) HEVC 帧内预测采用的预测生成模型过于简单，无法预测复杂纹理；(3) HEVC 对于帧间预测推荐使用相邻帧作为预测源，忽略了视频内容特性以及时域上的非邻近相关性，从而预测效率有待提高。为此本文对视频编码中的预测技术进行深入研究，对 HEVC 预测方法的不足进行探讨，从而提出更高效的预测方法。本文的创新点包括以下三个方面：

1. 基于多参考行的帧内预测

目前 HEVC 帧内预测方法只使用最近的一行参考像素，这种基于单参考行的方法容易受到参考像素重建质量的差异性、信号采集噪声和物体遮挡问题等因素的影响，从而预测效率不高。为此本文提出一种基于多参考行的帧内预测方式，除了最近参考行，本文还利用了更远的非邻近参考行，所提出的方法能有效减小上述负面因素的影响，从而提升编码效率。在使用非邻近参考行去生成预测时，本文还额外引入了残差补偿过程去平滑当前块的左边和上方边界区域的预测，从而进一步减小该区域的预测误差。为了应对不同的编码需求，本文设计了三种不同的参考行选择方法。实验结果表明，相比 HEVC 参考软件 HM-16.9，所提出的快速多参考行选择方法能够实现 2.0% 的码率节省，其中复杂度的增加大约为 114%。

2. 基于全连接网络的帧内预测

HEVC 帧内预测使用角度模型去生成预测值，这种方法适合预测简单纹理，对于复杂纹理无法预测好。另外 HEVC 需要耗费大量比特去编码边信息，以及需要额外的

前处理和后处理，而这些处理方法往往不是最优的。为此本文提出使用全连接深度学习网络去学习端到端的帧内预测。网络的输入是当前块周围已经重建的多行参考像素，网络输出是当前块的预测值，让全连接网络自动学习参考像素之间的相关性。所提出的方法通过利用更多高质量的参考像素以及凭借非线性网络的更强表达能力，对于复杂纹理可以生成更好的预测。而且所提出的方法无需额外的前处理和后处理过程，也不需要花费额外的比特去编码预测模式信息。实验结果表明，所提出的基于神经网络的帧内预测方法能够显著地降低编码码率。相比于 HEVC 参考软件 HM-16.9，所提出的网络在正常码率测试条件下能取得 3.4% 的码率节省。另外所提出的网络泛化能力强，在不同码率的测试条件下依然有很好的编码性能，在低码率测试条件下可以获得 4.0% 的码率节省。

3. 基于参考帧多样性的帧间预测

在帧间预测中，HEVC 推荐选用时域距离相近的重建帧作为当前帧的参考帧，这种参考方法对于自然视频编码很高效，但是对于屏幕内容视频编码存在问题。因为屏幕内容视频的独特特性，经常出现内容大范围保持不变，然后出现场景突变的运动。在这种情况下，如果突变帧只使用相邻帧作为参考帧，则会造成帧间预测效率低下，这是因为此时相邻帧都是来自同一个场景，内容高度冗余，只能提供较少的预测内容。因此，本文针对屏幕内容视频帧间预测中的参考帧选择，不仅考虑参考帧和当前帧的时域距离，更多考虑的是参考帧的内容多样性。本文认为参考帧的内容多样性越高越好，因为这样会有更丰富的内容去为当前帧提供帧间预测，从而预测准确率也会得到提高。除了内容多样性，所提出方法还联合了时域相关性和参考帧重建质量这两个因素。最后这三个因素将联合决定帧间预测中的参考帧的选择机制。为了加速内容多样性的计算，本文提出将此计算过程转换到哈希域，利用哈希比较去加速。实验结果表明，相比于 HEVC 屏幕内容视频编码的参考软件 SCM-4.0，能够获得显著的 4.9% 码率节省，与此同时编码和解码计算复杂度分别下降到 95% 和 96%。

综上所述，本文对 HEVC 中的帧内预测和帧间预测方法进行了细致分析，从而为自然视频编码和屏幕内容视频编码提出了更高效的预测算法。其中部分算法能够在不增加复杂度的情况下，显著节省视频传输码率。

关键词：视频编码，HEVC，SCC，帧内预测，帧间预测