

摘要

超高清视频具有时空内容清晰，画质细节细腻与动态画面流畅等特性，正在迅速应用于智慧交通，远程医疗，文化娱乐等行业，引领了多媒体产业新一轮的重大技术变革。由于其巨大的数据量，超高清视频的高效存储与传输极具挑战。为此，我国 AVS 工作组针对超高清视频的编码需求，制定了具备自主知识产权的新一代视频编码标准 AVS3。AVS3 在混合编码框架基础上，在预测、变换、熵编码等技术模块引入了大量新的编码工具，编码效率相较于上一代标准 AVS2 提升了约一倍。然而，这些新增编码工具也使得 AVS3 标准的编码与解码计算复杂度显著增加，限制了其推广与应用。

近年来，随着人工智能与云计算等行业的快速发展，越来越多的设备搭载了多种计算单元，具备了异构计算能力。通过将不同体系结构的计算单元集成在同一平台上进行协同工作，能够充分发挥各计算单元不同体系结构带来的优势，有效提升整体的计算效率。本文探索了异构计算平台下超高清视频编解码优化方法与关键技术，为面向真实应用场景的新一代编码标准超高清编解码器提供了新方案。本文主要创新点如下：

第一，提出了基于划分图表示的帧内快速划分方法，探索了基于纹理特性的快速模式决策与剪枝技术，极大减少了编码过程中划分模式决策带来的复杂度。该方法从数据驱动的角度出发，探究了现有预测模式下，纹理与划分模式之间的内在联系，实现了对划分模式搜索树的大幅度剪枝。构建了局部最优划分图的全卷积预测网络，通过多尺度的特征融合，使得网络能够综合小范围内的纹理复杂度与大范围内的纹理相似度，为每个局部区域决策出最适合的划分粒度。设计了基于划分图的最优划分模式搜索方法，根据二维的划分图决策出符合标准限制的划分模式树，并设计提出编码优化方法。在 AVS3 参考软件上的测试结果表明，该方法在通用测试条件的 12 个序列上，可使编码过程平均加速 52 倍。

第二，提出了面向 CPU+GPU 异构平台的高效解码架构，结合异构平台的特性重构了解码流程，提升了解码效率。该架构首先分析了当前 AVS3 解码过程中各模块与计算模式的数据依赖程度，结合 CPU 与 GPU 的体系结构特性，将解码分为了 CPU 熵解码与 GPU 重构两个部分，并设计了不同计算单元间的异步协作框架，隐藏了数据传输带来的开销。之后，针对熵解码数据依赖导致的线程利用率低的问题，重构了熵解码的计算流程，提高了较小并行规模下的计算资源利用率。最后，根据 GPU 的

计算特性，为其余重构模块设计了紧凑的数据结构和高并行度的计算方案，以减少访问存储带来的延迟，并实现重构模块的高速并行。测试结果表明，相对于单线程的 AVS3 参考软件，基于该架构实现的解码器在 8K 序列上能够实现 52 倍的加速，相对于经过深度优化的开源解码器 uavs3d，仍有 1 倍以上的加速。

第三，设计并提出了基于 FPGA 平台的高吞吐量熵解码引擎，解决了高码率下软件熵解码由于并行度限制导致的效率低下问题。本文对 AVS3 熵解码模块进行了深入研究，分析了熵解码过程中符号解码时上下文选择与算数解码引擎状态更新中的数据依赖，对熵解码过程进行了合理的层次结构设计，并结合语法元素特性设计了分支预测机制，以此减少了流水线中断。还设计了高效的缓冲队列，避免了由于不同模块间计算复杂度不同导致的相互等待问题。测试数据表明，该熵解码引擎能够实现 200Mbps 码率的 8K 码流的实时熵解码。

综上所述，本文从异构平台中不同计算单元的特性出发，研究了适配不同计算单元的编解码优化算法。在编码端，提出了基于划分图表示的帧内快速划分方法；在解码端，提出了面向 CPU+GPU 异构平台的超高清视频高效解码架构与面向 FPGA 的高吞吐量熵解码引擎。围绕上述算法实现的 AVS3 编码器已能满足大部分场景下应用的需求，并在中央电视台春节联欢晚会，北京冬季奥林匹克运动会与杭州亚洲运动会等多个大型活动的直播过程中得到应用，有效助力了国产新一代编码标准 AVS3 的推广与落地。

关键词：并行计算，视频编码，编码优化，AVS3