

# 基于 HEVC 的三维视频编码关键技术述评

张秋闻, 黄新彭, 甘勇

(郑州轻工业学院 计算机与通信工程学院, 河南 郑州 450001)

**摘要:**综述了基于高效率视频编码 HEVC (high efficiency video coding) 标准的两种扩展, 即 MV-HEVC (high efficiency video coding based multiview) 和 3D-HEVC (high efficiency video coding based 3D video coding) 的工作原理及其编码工具, 分析了 3D-HEVC 模型的特点、编码模块与方法, 并将 3D-HEVC 与 MV-HEVC 进行了性能对比。总结发现, 由于 3D-HEVC 采用纹理视频加深度格式来合成虚拟视点, 从而降低了大量的编码码率, 可方便应用于 3D 电视、自由立体视点电视和 3D 数字电影等多种三维体验中。随着智能移动设备的发展, 手持终端采用 3D-HEVC 支持多视点 3D 视频将会成为未来的研究趋势。

**关键词:** 三维视频; 高效率视频编码; 压缩

**中图分类号:** TN919.81    **文献标志码:** A    **DOI:** 10.3969/j.issn.2095-476X.2015.01.012

## Review of key technology of 3D video coding based on HEVC

ZHANG Qiu-wen, HUANG Xin-peng, GAN Yong

(College of Computer and Communication Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** The operating principle and coding tools of two kinds of extension of HEVC (high efficiency video coding) standards including MV-HEVC (high efficiency video coding based multiview) and 3D-HEVC (high efficiency video coding based 3D video coding) were reviewed. The feature, coding modules and method of 3D-HEVC model were analyzed, and the performances between 3D-HEVC and MV-HEVC were compared. The conclusion showed that 3D-HEVC synthesized virtual view with the format of texture video plus depth, thus its bit rates would be reduced notably, so 3D-HEVC would be applied to many kinds of 3D experience like 3D TV, free viewpoint video and 3D digital movie. With the development of smart mobile devices, handheld terminal using 3D-HEVC to support multiview 3D video would become the research tendency in the future.

**Key words:** 3D video; high efficiency video coding (HEVC); compression

## 0 引言

2013年,第一代高效率视频编码(HEVC)标准

完成,且被批准称为ITU-T H.265标准及ISO/IEC 23008-2<sup>[1]</sup>。随后,相关的国际标准化委员会又将工作重点转移到了其重要性能的扩展开发上。尽管

收稿日期:2014-05-21

基金项目:国家自然科学基金项目(61302118,61401404);河南省教育厅科技攻关重点项目(14A520034);郑州市科技计划项目(141PPTGG360);郑州轻工业学院博士基金项目(2013BSJJ047)

作者简介:张秋闻(1982—),男,河南省禹州市人,郑州轻工业学院讲师,博士,主要研究方向为三维视频编码。

第一代 HEVC 标准涉及许多领域,但是其中一些关键技术还没有得到完全开发,未来开发人员将会专注于对 HEVC 最核心技术的研发。

HEVC 标准委员会由 ITU - T 的视频编码专家组 (VCEG) 和 ISO/IEC 的运动图片专家组 (MPEG) 合作组成. HEVC 的大部分高层语法都是从 H. 264/MPEG - 4 高级视频编码 (AVC) 标准中保留并延续下来的,且其参数集中包含了为视频流中的图片解码的信息. 该参数集提供了强大的数据传送机制,传送的数据只有在解码过程中通过解析顶层头文件才能得到,而且该机制确保了与之匹配的“带外”数据可以被反复传送. 其中每一条语法都被载入一个逻辑数据包中,该数据包被称为网络抽象层 (NAL) 单元. 根据一个仅有 2 个字节的 NAL 单元的头文件,能很轻易地判断出相关负载数据的传送目的地,这些数据就包括了为随机访问图片解码的参数集。

第一代 HEVC 的高层语法在兼容性方面具有可扩展的能力,尤其是传统解码器在对部分比特流进行解码方面具有可扩展性. 为此,高级视频编码定义了视频参数集 (VPS) 用于解码,除此之外,还应用了序列参数集 (SPS) 和图片参数集 (PPS). 从某种程度上讲,NAL 单元概念的提出,可以更灵活地实现随机访问、trick play 和部分序列访问. HEVC 中其余的 NAL 单元类型支持对视频系统的各种随机访问行为。

HEVC 的视频编码层采用的是基于分块的混合编码方法 (帧间预测和 2D 转换编码混合),且该方法可以用在自 H. 261 以来的所有视频压缩标准中. HEVC 比特流的混合编码器的框图如图 1 所示。

基于 HEVC 标准的 3D 视频扩展能够实现立体

和多视点的成像,其中深度图加视频的多视点技术是较新的 3D 扩展技术. 为了研究更多的 3D 视频项目,尤其是基于 HEVC 标准的 3D 视频扩展,HEVC 标准委员会在 2012 年 7 月组成了 3D 视频联合组 (JCT-3V).

3D 多视点视频格式通过特殊的 3D 显示系统,就能够将真实场景的深度感表现出来,且该视频系统预计将以合适的价格进入消费市场<sup>[2]</sup>. 对于传统的立体视频格式来说,观看者需要佩戴特殊的眼镜才能感受到立体效果,而自由立体视频格式的显示器却能够达到裸眼 3D 的效果. 自由立体视频格式采用的是基于深度图合成的技术,该技术的亮点在于可利用编码表现出大部分高质量深度图<sup>[3-5]</sup>.

为了支持这些功能,JCT-3V 小组正在研发对立体视频和多视点视频高效压缩的 HEVC 功能扩展,同时也在研发绘制高级 3D 功能的深度图<sup>[6-8]</sup>. 本文在概述基于 HEVC 标准的多视点扩展的基础上,对正在发展中的 3D-HEVC 进行深入讨论,并对这两种扩展进行性能对比,以期三维视频编码技术的发展提供参考和借鉴。

## 1 基于 HEVC 的多视点扩展 (MV-HEVC)

MV-HEVC 是 HEVC 扩展中最简单的扩展. 多视点扩展的设计原则与之前高级视频编码框架中多视点视频编码的设计原则相同<sup>[9-10]</sup>. 2014 年将完成 MV-HEVC 的设计,且其草案在文献[11]中可以找到. 与 MVC 设计框架一样,MV-HEVC 的设计框架可以实现视点间估计,因此,同一时刻其他视点的图像将被用于预测当前视点的图像,而且 MV-HEVC 的设计框架可以兼容 HEVC 的单视点编码。

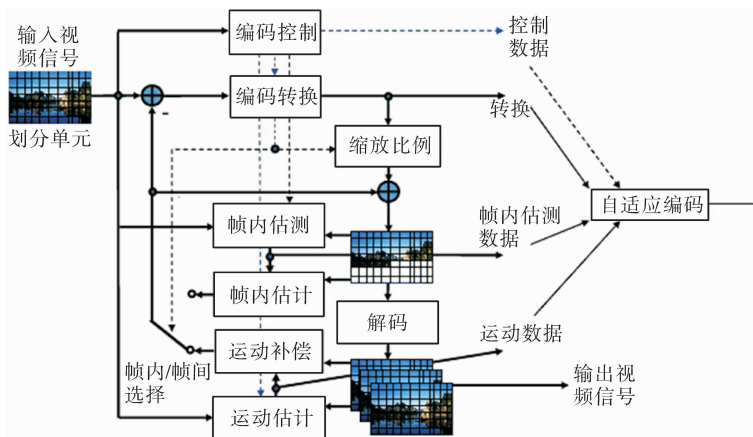


图 1 HEVC 比特流的混合编码器的框图

预测结构如图 2 所示,视点 0 表示基本视点,通过同一时刻的基本视点的图像可以预测出非基本视点(视点 1 或视点 2)中的一帧图像。I 帧图像只能使用帧内预测,P 帧图像可以使用单方向帧内预测,而 B 帧或 b 帧图像则可以使用双向帧内预测。

对视点间图像的估计,可通过灵活的基于 HEVC 的参考图像管理功能实现。从本质上讲,就是将其余视点的解码图像嵌入至当前视点的参考图像列表中,用于预测处理。因此,参考图像管理包含了当前视点的时域参考图像,可以用于相邻视点预测当前图像与视点间参考图像。对高层语法基本不做改变或只做小范围改动,即可完成这样基于分块的解码模块的扩展设计。由于预测是自适应的,所以应该根据失真率代价来判断是选择使用时域参考图像预测器,还是选择使用视点间参考图像预测器(以及双向预测器或者权重预测器)<sup>[12-15]</sup>。

用这种预测结构取得了比使用所谓的兼容框架结构更高效的立体压缩效果,兼容框架结构将不同视点的图像嵌入单个视点框架(左或右视点,上或下视点),但是无法消除视点间冗余。多视点扩展方案的后向兼容指的是单个视点的子比特流可从 3D 视频比特流中提取出来,并用 HEVC 解码器对其进行解码。

为了实现更高效地压缩,还要继续使用 HEVC 对单个视点视频编码保持向后兼容,构成可选择的编码结构,可以利用改进后的基于分块编码工具的优势进行编码。这样的结构及上一节提到的类似结构,都能够完全兼容第一代 HEVC 的基本视点,并抽取单个视点视频,这样,非基本视点就只能应用其他的编码。由于同一物体投射到不同视点有着相似的运动特征和纹理特点,因此如果能够发现视点间运动数据与残差数据之间的关系,就能够节省大量的码率开销<sup>[16-19]</sup>。

JCT-3V 已经设计了参考模型,同时也起草了

3D 扩展的工作草案详述,并命名为 3D-HEVC,目的是实现使用高级工具对多视点编码进行研发<sup>[20-21]</sup>。下面将从更多细节方面来描述一些常用的 MV-HEVC 工具。

### 1.1 基于相邻块视差矢量(NBDV)获取当前块视差矢量

基于 NBDV 获取当前块视差矢量的基本思想是利用时空域上相邻块的有效视差运动矢量推导出当前块的视差矢量。

为了识别不同视点间相关块的关系,在 MV-HEVC 中基于 NBDV 进行矢量识别,是按照类似高级位移矢量预测(AMVP)模式的方法和 HEVC 的合并(MERGE)模式的方法设计的。该技术的主要优点是用于视点间估计的视差矢量可以被直接推导出来,而不需要额外的比特开销,而且该视差矢量独立于相对应的深度图。当相机参数有效时,视差矢量也可以通过解码深度图来得到<sup>[23]</sup>。

空间相邻块在 AMVP 模式和 MERGE 模式中一样,有着相同的访问顺序,即  $A_1, B_1, B_0, A_0$  和  $B_2$ ,如图 3 所示。但是由于这两种模式都不能用于空域上的视点间参考,所以时域上的基于 NBDV 是可以被检测到的<sup>[24-25]</sup>。一旦 NBDV 被识别,那么 NBDV 的搜索过程将被终止,而且推导出来的视差矢量将被定义为识别出来的视差矢量。

### 1.2 视点间运动估计

视点间的运动信息具有很高的相关度,而且比特流中包含了这些信息,因而良好的预测器通常可由一个视点估计出另一个视点,大大提高编码效率。为了实现这类估计,NBDV 将被用于建立每个视点中块之间的联系,如图 4 所示。由图 4 可知,可以根据时间 1 中的视点 0 所对应的块的位置,以及基于这些块之间的视差矢量推导出视点 1 的运动矢量,推导过程类似 NBDV 的推导过程。

3D-AVC 和 MV-HEVC 中都有视点间运动估计

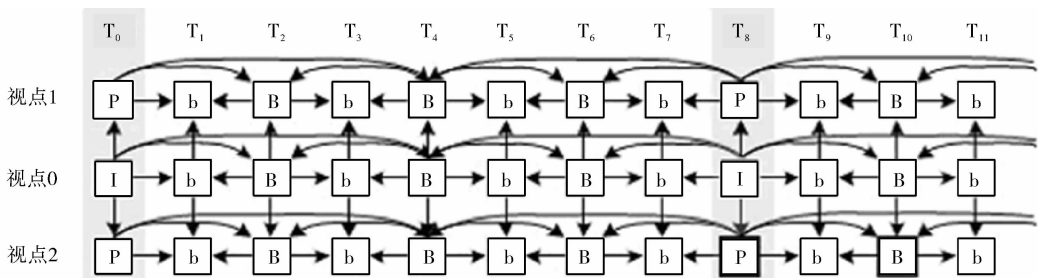


图 2 预测结构

的概念,但是其设计不一样. 在 3D-AVC 中,视点间运动估计是用一种新的预测模式实现的. 而在 MV-HEVC 中,视点间运动估计是通过利用 MERGE 和 AMVP 模式中的语法和解码过程实现的,且该实现过程已经引入到 HEVC 标准中.

### 1.3 视点间残差估计

高级残差估计 (ARP) 是利用两个视点间的运动补偿残差信号的相关性进行估计<sup>[26]</sup>, 可以提高残差估计的精确度. ARP 中的运动矢量是连接当前块与参考块之间的一条有方向的线段, 所以当前块的残差估计和残差信号之间的相似度是非常高的, 这样 ARP 的其余矢量便可被略去, 从而达到节省代码的目的.

ARP 的估计结构如图 5 所示, 非基本视点中的块  $D_C$  使用运动矢量  $V_D$  实现运动补偿. 首先, 用

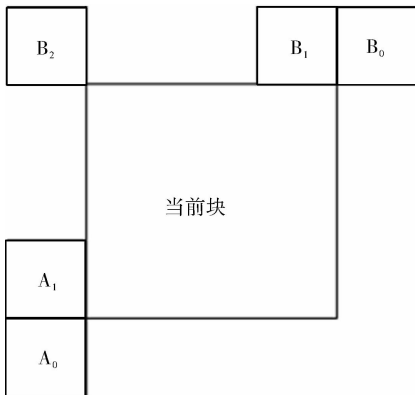


图 3 空间相邻块访问 NBDV

NBDV 识别出视点间参考块  $B_C$ , 再在基本视点中的重建块  $B_C$  和对应的重建块  $B_i$  之间进行运动补偿 (用  $V_D$  进行补偿), 接着在预测信号中 (来自块  $D_i$  的运动补偿) 添加预测残差信号. 在使用相同的运动矢量  $V_D$  的情况下, 当前块的残差信号可以被更加准确地估计出来. 一旦使用了 ARP, 残差估计就可以赋予 0.5 或 1 的加权.

基本视点的运动补偿增加了内存访问量和计算量, 所以 JCT-3V 研发了一些可使扩展设计更加实用的方法<sup>[26]</sup>, 但这些方法都不同程度地以牺牲编码效率作为代价. 例如被同时用于参考块和当前块的运动补偿的双线性滤波器.

### 1.4 光照补偿

如果相机对色彩传递或光照效果不进行校准, 那么对于不同相机捕捉的同一场景, 则无法进行预

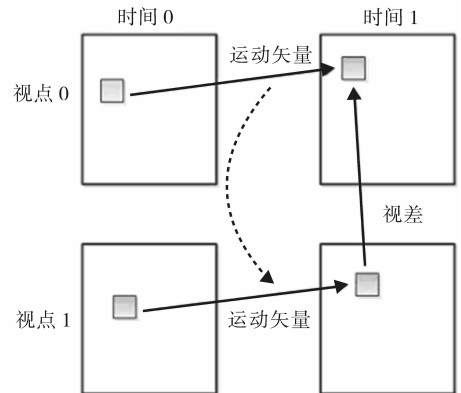


图 4 视点间运动估计

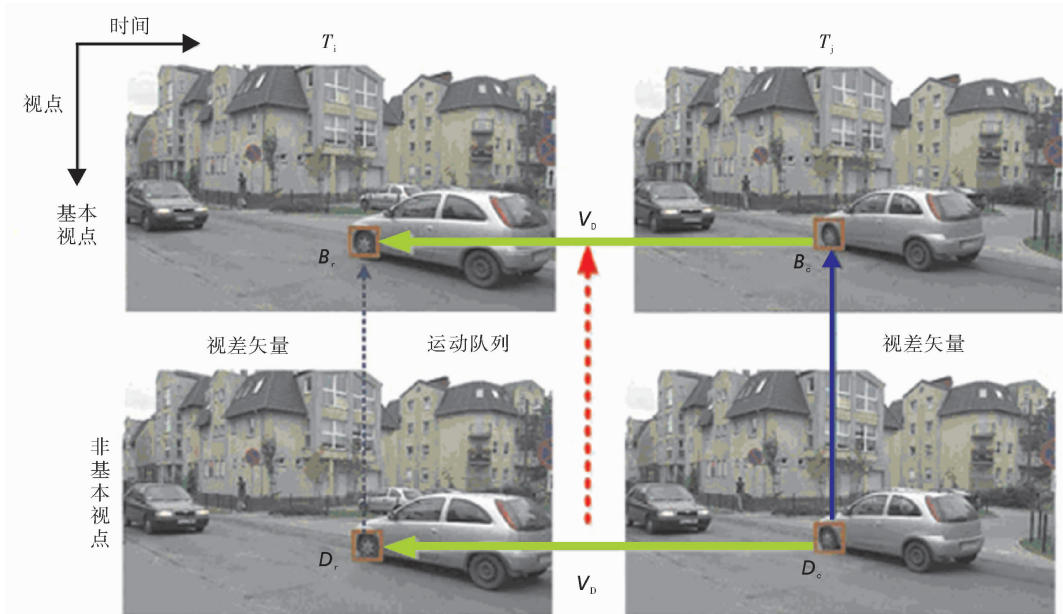


图 5 ARP 的估计结构

测处理.为了解决这个问题,研发人员开发了一项名叫光照补偿的技术,用来提高对视点间参考图像块进行预测编码的效率<sup>[27]</sup>.而这项技术只能应用于对视点间参考图像的块预测.

然而,对于立体自由显示器的 3D 应用,如果使用 MV-HEVC 编码,则需要 20 个甚至更多的视点数据.由于数据量庞大,不但给网络带来了巨大的负载压力,也对解码端的能力提出了很高的要求.因此,JCT-3V 将深度信息(视差信息)融合了多视点视频编码,命名为 3D-HEVC,这样就只需要两三个视点的信息便可表示出 3D 内容,从而降低了需要传送的数据量,所以 3D-HEVC 将会成为未来 3D 应用的发展趋势<sup>[28]</sup>.

## 2 正在发展中的基于深度信息的 HEVC 扩展(3D-HEVC)

为了对“视频加深度”格式的 3D 视频数据进行高效的压缩,研究人员开发了许多编码工具,并针对各个深度分量之间的独立性进行研究.如果某一个视频分量可以通过传统 HEVC 进行独立编码,那么该视频分量就需要兼容现有的 2D 视频业务.3D 视频的各个分量,如基本视点的视频分量,可以通过传统的 HEVC 编码器编码,而基本视点的深度分量,则可采用改进了的编码工具进行编码.这样,3D 视频编码可以从一系列传统 2D 编码工具和改进了的编码工具中选择最佳编码工具进行编码.

深度图具有纹理单一、边缘锐利等特点.由于错误边缘重建可能会导致严重的失真,且会影响人工视点合成,所以保证深度图中边缘的有效性对高质量虚拟视点合成非常重要.深度图的另一个特点是其边缘信息(即场景中的深度的间断点)的一部分可以从对应的纹理分量中提取出来.

JCT-3V 已经计划制定出两个重要编码模块:基于分区的帧内深度编码模块和运动参数继承模块.另外,由于深度信息具有锐利边缘的特点,所以仅使

用第一代 HEVC 中运动补偿的插值滤波器不能对保护深度图边缘起到效果.因此,运动补偿将整像素应用于深度图编码中,可以通过闭环滤波器(包括区块滤波器(DBF)和采样点自适应偏移(SAO)回路滤波器)对深度图边缘进行优化.此外,已经设计出来的虚拟视点合成估计可以利用深度信息进行纹理编码.

### 2.1 基于分区的帧内深度编码

为了更好地表达深度信息,现有的 3D-HEVC 中已经引入了许多特制的深度编码工具,这些工具都可以将深度块分割成非矩形的小块.这种基于深度图分割的编码模式包括深度模型模式(DMM)<sup>[29]</sup>、区域边界循环编码模式(RBC)<sup>[30]</sup>及简单深度编码模式(SDC)<sup>[31]</sup>.在这些模式中,每一个深度预测单元都可以被分成两个部分,其每一部分都可以用一个定值来表示,深度预测单元分区模式如图 6 所示.每一部分的深度值都是通过相邻参考像素预测出来的,而且残差值可以进一步通过编码来补偿预测过程中出现的误差.

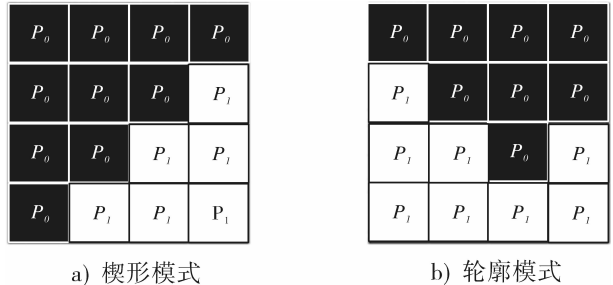


图 6 深度预测单元分区模式

尽管 DMM 和 RBC 都会将一个深度预测单元分割成两个部分,但是它们所表征的分区模式不同. DMM 中应用了两种类型的分区模式,包括楔形模式和轮廓模式.如图 6 所示,楔形模式是用一条直线来分割深度预测单元.与楔形模式不同,轮廓模式用一系列方位链码来明确地表示出分割部分,方位链

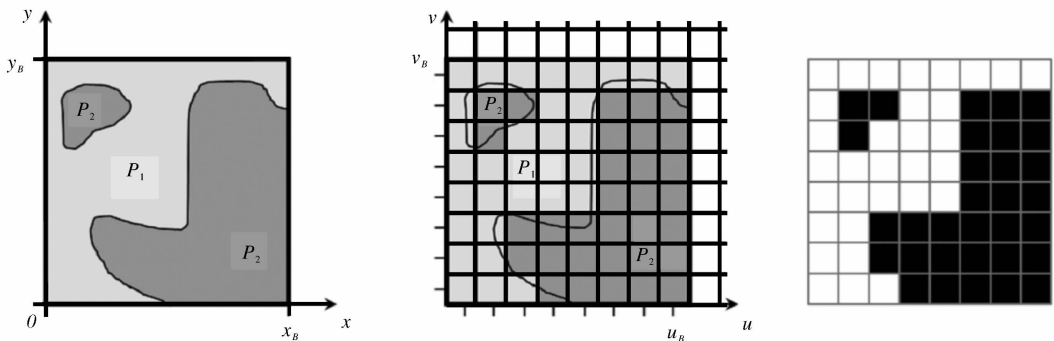


图 7 深度块的轮廓分割

码是把 1 个像素与其周围的 8 个方位的像素连接起来,赋予 0 到 7 的值,所以其分区边缘是非直线的.图 7 为深度块的轮廓分割.如图 7 所示,左边一幅图表示连续的深度区域,中间一幅图表示对其进行离散化,右边一幅图表示对应的分割情况,其中,深度块的轮廓(分区边缘)取决于纹理图中的同位置块.

### 2.2 运动参数继承

在 3D-HEVC 中,深度信息的运动参数继承是通过将 MERGE 模式候选者添加到当前深度块的 MERGE 模式列表中实现的,其中也包括第一代 HEVC 里面 MERGE 模式中的时空候选者,而其余的候选者则由纹理图中同位置块的运动信息生成<sup>[32]</sup>.

### 2.3 视点合成估计

视点合成估计 VSP(view synthesis prediction)是一种减少视点间冗余的有效方法,它利用深度信息把参考视点的纹理数据应用到当前视点中,从而实现当前视点的预测<sup>[33]</sup>.

在虚拟视点合成估计的编码环境下,基于深度图合成技术还不成熟,由于在对当前图像进行编解码之前,需要先生成一整个合成图,并将其存放在参考图的缓冲区内,这将提高解码复杂度.基于分块的向后虚拟视点合成估计(BVSP)框架已经引入了 3D-HEVC 中,其中,当前块的深度信息是由视点间参考图像的对应像素点推算出来的<sup>[34-35]</sup>.因为纹理编码是在深度编码之前进行的,所以当前块的深度信息可以用之前所提到的 NBDV 估计出来.此时,当前块有着与相邻块相同的深度信息(以及相同的视点间位移矢量).该深度块的最佳深度信息被转换成了视差矢量,该视差矢量可以被用于运动继承及执行向后虚拟视点合成估计.

由于拍摄角度存在差异,多个摄像机在拍摄同一场景时,生成的视点之间存在几何失真.在现有的 3D-HEVC 设计中,虚拟视点合成估计是针对补偿几何失真所提出的,其主要思想是利用深度信息或者视差信息合成一个虚拟的视图用作当前编码图像的参考图像,并要求生成的虚拟图像比视点间参考图像更接近于当前编码图像,从而提高多视点编码的编码效率.

## 3 性能比较

为了评估不同结构和不同编码技术的压缩效率,需要使用参考软件完成仿真,同时标准化组织也给出了实验方法<sup>[36-37]</sup>.实验分为两组,第 1 组实验评估了单视点及多视点纹理视频(不含深度图)的压缩效率,而第 2 组实验评估了多视点加深度图

的编码效率.

第 1 组仿真实验是 MV-HEVC 与 HEVC 联播编码的性能比较,其中 MV-HEVC 与 HEVC 联播编码相比,增加了视点间预测算法,而它们都不包含深度图信息.表 1 为 MV-HEVC 较联播编码的码率节省结果.由表 1 可见,MV-HEVC 的平均码率相对于 HEVC 联播编码而言,在双视点的情况下可节省 28%,在三视点的情况下可节省 38%,由此论证了 MV-HEVC 编码视点间预测的效率要高于 HEVC 联播编码.从表 1 中还可以看出,对于单视点的编码((仅有)视点 1 或(仅有)视点 2),MV-HEVC 相比于 HEVC 联播编码,同样有着高于 60% 的码率节省.对于多视点视频来讲,由于 MV-HEVC 的编码复杂度比 HEVC 联播编码的编码复杂度低,因而,更多的是采用 MV-HEVC 的编码方案.

表 1 MV-HEVC 较联播编码的码率节省结果 %

序列	(仅有)视点 1	(仅有)视点 2	双视点	三视点
Balloons	53.9	49.7	23.5	31.5
Kendo	52.5	47.2	23.3	30.4
Newspaper	56.4	54.4	23.3	33.2
GT_Fly	82.0	81.3	38.7	52.4
Poznan_Hall2	53.5	53.9	23.3	32.8
Poznan_Street	69.7	69.4	39.7	41.4
Undo_Dancer	74.5	76.0	34.0	47.3
1 024 × 768	54.2	50.4	23.4	31.7
1 920 × 1 088	69.9	70.2	31.4	43.5
平均	63.2	61.7	28.0	38.4

第 2 组仿真实验是 3D-HEVC 标准与 MV-HEVC 和 HEVC 联播编码的性能比较.其中,3D-HEVC 标准增加了一些新的编码工具,像基于深度图像绘制技术,利用该技术可以产生虚拟视点,然后进行视点合成优化 VSO(view synthesis optimization),从而完成解码端的视点合成.第 1 组实验只是对纹理视频编码的压缩效率进行评估,而第 2 组实验由于加入了深度图信息,则需要考虑深度图质量和合成视点的编码质量.表 2 为三视点情况下 3D-HEVC 较联播编码和 MV-HEVC 的码率节省结果.由表 2 可见,即使 3D-HEVC 标准不采用 VSO,相对于所有纹理图像和深度图像都独立编码的 HEVC 联播编码,也可以节省 41% 的平均码率,而相对于 MV-HEVC 编码标准可以节省平均 15.5% 的码率.通过这两个对比,可以猜测性地认为,在深度图编码方面,MV-HEVC 标准的编码效率要高于 HEVC 联播编码效率,然而,当 3D-HEVC 标准进行

VSO 时,与 MV-HEVC 相比,可以节省平均 30.6% 的码率(几乎是在不采用 VSO 情况下的两倍).同时,解码运行时间则是评估 3D-HEVC 编码复杂度的一个标准.由表 2 中的解码时间可见,3D-HEVC 相对于联播编码与 MV-HEVC 参考模型的运行时间分别平均增长了 11% 和 18%,虽然有所增长,但是与其降低的码率相比,这样的时间增加是在允许范围内的.

表 2 三视点情况下 3D-HEVC 较联播编码和 MV-HEVC 的码率节省结果 %

序列	(关闭 VSO) 3D-HEVC 比联播编码	(关闭 VSO) 3D-HEVC 比 MV-HEVC	(打开 VSO) 3D-HEVC 比 MV-HEVC
Balloons	34.2	12.6	25.1
Kendo	31.3	12.5	30.9
Newspaper	34.7	9.8	29.8
GT_Fly	54.1	21.0	32.9
Poznan_Hall2	36.6	14.3	30.4
Poznan_Street	39.6	9.3	19.5
Undo_Dancer	56.8	29.0	45.5
1 024 × 768	33.4	11.6	28.6
1 920 × 1 088	46.8	18.4	32.1
平均	41.0	15.5	30.6
解码时间	111	118	118

由于 3D-HEVC 是视频加深度格式,且使用了虚拟视点合成技术,所以相对于 MV-HEVC,省去了大量的视点信息,从而可以实现节省码率.这样,在同样的处理性能和网络环境下,对同一视频序列进行编码和传输时,3D-HEVC 的效率要明显高于 MV-HEVC 的效率,但是提取深度信息方面,如何快速去除块效应是一项 3D-HEVC 也未攻破的技术难题,还需要做进一步深入研究.

## 4 结语

综述了当前较流行的 HEVC 标准的多视点扩展 MV-HEVC,以及基于深度信息的 MV-HEVC 即 3D-HEVC.虽然 3D 视频在影院里很受欢迎,但是由于 3D 视频较高的编码代价,导致其在家庭娱乐和消费类电子产品中的潜能未能得到充分挖掘开发.随着显示技术的革新,可以达到裸眼立体效果的 3D-HEVC 编码技术,由于其具有低编码代价的特点,3D-HEVC 更适于 3D 电视、自由立体视点电视和 3D 数字电影等多种三维体验中.随着智能移动设备的发展,手机互联网的规模日益壮大,手持终端采用 3D-HEVC 支持多视点 3D 视频将会成为未来的

研究趋势.

## 参考文献:

- [1] Zhang Q, An P, Zhang Y, et al. Low complexity multiview video plus depth coding[J]. IEEE Transactions Consumer Electronic, 2011, 57(4):1857.
- [2] Chen Y, Vetro A. Next-generation 3D formats with depth map support[J]. IEEE MultiMedia, 2014, 21(2):90.
- [3] Müller K, Schwarz H, Marpe D, et al. 3D high efficiency video coding for multi-view video and depth data[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2013, 22(9):3366.
- [4] Zhang Q, Tian L, Huang L, et al. Rendering distortion estimation model for 3D high efficiency depth coding[J]. Math Probl Eng, 2014, 2014:1.
- [5] Ohm J, Sullivan G J, Schwarz H. Comparison of the coding efficiency of video coding standards—including high efficiency video coding (HEVC)[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2012, 22(12):1669.
- [6] Zhang Q, An P, Zhang Y, et al. Efficient depth map compression for view rendering in 3D video[J]. Imaging Sci J, 2013, 61(4):385-395.
- [7] Zhang Q, Li N, Wu Q. Fast mode decision for 3D-HEVC depth intracoding[J]. The Scientific World Journal, 2014, 2014:1.
- [8] Zhang Q, Li N, Gan Y. Effective early termination algorithm for depth map intra coding in 3D-HEVC[J]. Electron Lett, 2014, 50(14):994.
- [9] Chen Y, Wang Y K, Ugur K, et al. The emerging MVC standard for 3D video services[J]. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2009, 2009:1.
- [10] Vetro A, Wiegand T, Sullivan G J. Overview of the stereo and multiview video coding extensions of the H. 264/AVC standard[J]. Proc IEEE, 2011, 99(4):626.
- [11] Tech G, Wegner K, Chen Y, et al. MVHEVC draft text 5 [C]//Joint Collaborative Team on 3D Video Coding Extensions (JCT-3V) Document JCT3V-E1004, Vienna: JCT-3V, 2013.
- [12] Shen L, Zhang Z. Content-adaptive motion estimation algorithm for coarse-grain SVC[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 21(5):2582.
- [13] Wang H, Sam K, Chi-Wah K. An efficient mode decision algorithm for H. 264/AVC encoding optimization[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2007, 9(4):882.
- [14] Liu Z, Shen L, Zhang Z. An efficient intermode decision algorithm based on motion homogeneity for H. 264/AVC[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video

- Technology, 2009, 19(1): 128.
- [15] Shen L, Liu Z, Zhang X, et al. An effective CU size decision method for HEVC encoders [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2013, 15(2): 465.
- [16] Fang C, Chang Y, Chung W. Fast Intra Mode Decision for HEVC Based on Direction Energy Distribution [R]. Hsinchu: IEEE, 2013: 61 - 62.
- [17] Shen L, Liu Z, Zhang Z, et al. Fast inter mode decision using spatial property of motion field [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2008, 10(6): 1208.
- [18] Shen L, Zhang Z, An P. Fast CU size decision and mode decision algorithm for HEVC intra coding [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2013, 59(1): 207.
- [19] Jongho K, Yoonsik C, Yong-Goo K. Fast coding unit size decision algorithm for intra coding in HEVC [R]. Las Vegas: IEEE, 2013: 637 - 638.
- [20] Tech G, Wegner K, Chen Y, et al. 3D-HEVC draft text 1 [C]//Joint Collaborative Team on 3D Video Coding Extensions (JCT-3V) 5th Meeting Document JCT3V-E1001, Vienna: JCT-3V, 2013.
- [21] Zhang L, Tech G, Wegner K, et al. 3D-HEVC test model 5 [C]//Joint Collaborative Team on 3D Video Coding Extensions (JCT-3V) 5th Meeting Document JCT3V-E1005, Vienna: JCT-3V, 2013.
- [22] Schwarz H, Bartnik C, Bosse S, et al. Description of 3D video technology proposal by fraunhofer HHI (HEVC Compatible; Configuration A) [Z]. ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11 (MPEG) document m22570, [s. n.]: [s. n.], 2011.
- [23] Zhang L, Chen Y, Marta Karczewicz. Disparity vector based advanced inter-view prediction in 3D-HEVC [R]. Beijing: IEEE, 2013: 1632 - 1635.
- [24] Kang J, Chen Y, Zhang L, et al. 3D-CE5. h related: Improvements for disparity vector derivation [C]//Joint Collaborative Team on 3D Video Coding Extensions (JCT-3V) 2nd Meeting Document JCT3VB0047, Shanghai: JCT-3V, 2012.
- [25] Sung J, Koo M, Yea S. 3D-CE5. h; Simplification of disparity vector derivation for HEVC-based 3D video coding [C]//Joint Collaborative Team on 3D Video Coding Extensions (JCT-3V) 1st Meeting Document JCT3V-A0126, Stockholm: JCT-3V, 2012.
- [26] Zhang L, Chen Y, Li X, et al. CE4: Advanced residual prediction for multiview coding [C]//Joint Collaborative Team on 3D Video Coding Extensions (JCT-3V) 4th Meeting Document JCT3V-D0117, Incheon: JCT-3V, 2013.
- [27] Liu H, Jung J, Sung J, et al. 3D-CE2. h: Results of illumination compensation for inter-view prediction [C]//Joint Collaborative Team on 3D Video Coding Extensions (JCT-3V) 2nd Meeting Document JCT3VB0045, Shanghai: JCT-3V, 2012.
- [28] Gu Zhouye, Zheng Jianhua, Ling Nam, et al. Fast Depth Modeling Mode Selection for 3D HEVC Depth Intra Coding [R]. San Jose: IEEE, 2013: 1 - 4.
- [29] Müller K, Merkle P, Tech G, et al. 3D video coding with depth modeling modes and view synthesis optimization [R]. Hollywood: IEEE, 2012: 1 - 4.
- [30] Heo J, Son E, and Yea S. 3D-CE6. h: Region boundary chain coding for depth - map [C]//Joint Collaborative Team on 3D Video Coding Extensions (JCT-3V) 1st Meeting Document JCT3V-A0070, Stockholm: JCT-3V, 2012.
- [31] Jäger F. 3D-CE6. h results on simplified depth coding with an optional depth lookup table [C]//Joint Collaborative Team on 3D Video Coding Extensions (JCT-3V) 2nd Meeting Document JCT3V-B0036, Shanghai: JCT-3V, 2012.
- [32] Chen Y W, Lin J L, Huang Y W, et al. 3D-CE3. h results on removal of parsing dependency and picture buffers for motion parameter inheritance [C]//Joint Collaborative Team on 3D Video Coding Extensions (JCT-3V) 3rd Meeting Document JCT3V-C0129, Geneva: JCT-3V, 2013.
- [33] Yea S, Vetro A. View synthesis prediction for multiview video coding [J]. Signal Processing: Image Communication, 2009, 24(1-2): 89.
- [34] Tian D, Zou F, Vetro A. CE1. h: Backward view synthesis prediction using neighbouring blocks [C]//Joint Collaborative Team on 3D Video Coding Extensions (JCT-3V) 3rd Meeting Document JCT3V-C0152, Geneva: JCT-3V, 2013.
- [35] Tian D, Zou F, Vetro A. Backward View Synthesis Prediction for 3D-HEVC [R]. Melbourne: IEEE, 2013: 1729 - 1733.
- [36] Rusanovskyy D, Mueller K, Vetro A. Common test conditions of 3DV core experiments [C]//Joint Collaborative Team on 3D Video Coding Extensions (JCT-3V) 5th Meeting Document JCT3V-E1100, Vienna: JCT-3V, 2013.
- [37] Advanced Television Systems Committee (ATSC). 3D-TV Terrestrial Broadcasting, Part 2-SCHC Using Real-Time Delivery [Z]. Washington DC: [s. n.], 2012.