



智慧家庭的 VR 全景视频业务实现

罗传飞¹, 孔德辉², 刘翔凯², 徐科², 杨浩²

(1. 中国电信股份有限公司上海研究院, 上海 200122;

2. 深圳市中兴微电子技术有限公司, 广东 深圳 518081)

摘要: 全景视频作为一种新的视频格式极大程度地改变了用户观看视频的方式, 可以提升智慧家庭在视频领域的用户体验。IPTV 良好的解码能力以及优异的网络支撑等优势对全景视频的应用推广具有积极作用。结合 VR 全景视频的特点, 分析了超高分辨率全景视频在 IPTV 平台中的技术挑战, 同时基于 FOV 视点自适应框架, 结合 MCTS 编码、多分辨率和多 tile 视频分发和终端根据视点部分解码 tile 技术, 给出一种 IPTV 超高分辨率全景业务实现方案。

关键词: 智慧家庭; 全景视频; IPTV; 虚拟现实

中图分类号: TN919.8

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2017291

A business realization of VR panoramic video in smart home

LUO Chuanfei¹, KONG Dehui², LIU Xiangkai², XU Ke², YANG Hao²

1. Shanghai Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Shanghai 200122, China

2. Shenzhen Sanechips Technology Corporation, Shenzhen 518081, China

Abstract: As a new video format, panoramic video has greatly changed the way people watch videos, and can enhance the user experience of the smart home in the video field. Good decoding ability and excellent network support advantages held by IPTV play an active role in the application and promotion of panoramic video. Combined with virtual reality technology, the main characteristics of panoramic video was analyzed. Further more, an IPTV-based service realization scheme was presented in virtue of four key technologies including FOV view adaptive framework, MCTS encoding and multi-resolution, multiple tile video distribution formula and partially decoded tile technique with viewport change in terminal.

Key words: smart home, panoramic video, IPTV, virtual reality

1 引言

“智慧家庭”是融合了宽带互联网络(无线家庭、宽带家庭、传感网络等)、娱乐信息服务(视频娱乐、生活信息服务等)和智能家居生活(智

能家居、生态家庭、自动化家居等)而形成的数字化家庭生活服务的理想目标或愿景。IPTV 作为三网融合业务是智慧家庭中娱乐视听服务的重要渠道^[1,2]。宽带接入技术的发展给智慧家庭带来了更坚实的网络支撑, 百兆光网宽带已经成为智慧



家庭的网络标配^[3]，视频技术的发展也给智慧家庭带来了更高质量的视听体验，高清、4K 已经成为智慧家庭的视频刚需^[4]。

虚拟现实（virtual reality, VR）技术是新一代信息通信技术的关键领域，具有应用空间大、产业潜力大、技术跨度大的特点，对带动核心元器件、泛智能终端、网络传输设备、云设备、电信服务、软件与行业领域信息服务的转型升级具有重要意义。全景视频是 VR 的一种典型载体，随着头戴设备（head mount display, HMD）技术和产品的成熟，全景视频可以通过展现 360°的视频为观看者提供虚拟现实沉浸式的“亲身体验”和“现实生活”。在重要新闻事件、体育赛事、演唱会和发布会等大型赛事活动，结合全景视频直播可以实现足不出户即可感知事件现场，不仅了解，更是亲身参与^[5-7]。例如去年某歌星的演唱会 VR 全景视频直播预约观看全景视频用户超过 200 万，可以说全景视频将会成为娱乐赛事视频观看和交流的一个重要方式，欧美等国家和地区也十分关注全景视频在智慧家庭的应用^[8]。另一方面，通过 HMD 新型的近眼显示，高分辨率与广视场角也会成为提升用户观影体验的重要切入点。全景视频作为一种新的呈现形式，可以赋予用户更好的沉浸感，一方面表现为对高分辨率高动态显示、高帧率、高量化精度、宽色域、高保真音效的不懈追求，另一方面通过凸显用户参与的特性，表现为未来影视游戏化，用户通过自由选择观影视角，甚至影响剧情变化，真正体现智慧的特质。IPTV 良好的解码能力以及优异的网络支撑将会对全景视频的应用推广具有积极作用^[9,10]。通过 IPTV 平台实现超高分辨率全景视频业务一方面可以推广 VR 技术的普及和创新，另一方面也可以有效地巩固 IPTV 作为智慧家庭入口的地位。

从用户体验的角度看，360°全景视频是指能够根据用户的观看视角选取特定视场角（field of view, FOV），然后将视场角内的信息还原为正

常视角信息，由于视频覆盖用户 360°的视角范围，全景视频需要更大的视频分辨率（8K 以上）。但是全景视频的超高分辨率对于 IPTV 系统提出了高难度的挑战，主要体现在网络传输的高带宽延时和终端对超高分辨率视频解码和渲染输出的能力需求^[11,12]。基于 IPTV 庞大的 4K 终端规模和端到端标准化能力，探索智慧家庭场景下新的全景视频业务形态与实现。

2 超高分辨率全景视频在 IPTV 平台中的技术挑战

全景视频通常借助数个普通摄像机拍摄，然后将拍摄内容按照空间位置组合在一起，通过拼接、裁剪和投影等处理后获取 360°的视频^[13,14]。从用户体验的角度看，360°全景视频能够根据用户的观看视角选取特定视场角，然后将视场角内的信息还原为正常视角信息，由于视频覆盖用户 360°的视角范围，全景视频需要更大的视频分辨率（8K 以上），超高清全景视频可以有效地提升用户体验，但是全景视频的超高分辨率对于 IPTV 系统提出了高难度的挑战，主要困难也体现在其分辨率上：极高的分辨率对编解码终端提出了更高的要求，尤其是目前主流解码器只支持 4K 分辨率；超高清全景视频的传输对网络带宽和 CDN 系统提出了更高的要求；当前的 VR 显示后处理算法主要应用于 2K 以及 4K 分辨率全景视频，如何处理 8K 乃至 16K 超高清视频仍然需要进行有针对性的研究。

2.1 超高分辨率全景视频的编解码及传输架构

全景视频包含了多个角度的视频信息^[15]，如果将全景视频当作普通二维的视频进行处理，在编码端由于全景视频基于经纬图映射的特点，会带来一定程度上的编码冗余。在传输上，360°视角范围内容都经过网络传输到用户侧，导致了带宽浪费。更为严重的是在终端解码上需要解码超高分辨率的视频内容，导致终端解码资源的浪费，

而终端解码能力是目前开展超高分辨率全景视频业务的最短板。围绕这3个部分的浪费,业界展开大量的研究,比如Facebook率先提出把经纬图重新映射到立方体的转换,使用多点投影的方式来进行二者之间的像素点切换。将经纬图顶部的25%转换为一个立方体面,将底部的25%转换为另一个面,中间的50%转换为4个面。通过这样的映射转换,每帧的像素数量减少了25%,从而提高了编码端的效率,并有效地降低了解码端的能力需求。为了进一步降低网络传输的浪费,最近,基于视点的全景视频自适应传输被广泛研究,Facebook提出了金字塔模型,金字塔模型的底部为用户视角区域,是全分辨率视频,随着金字塔高度的上升,其他区域通过亚采样降低分辨率,而当用户切换视角时,不是给用户看该金字塔其他表面的低质量视频,而是切换另一个以下个视角为底部全分辨率的金字塔模型。从而在不降低视窗质量的条件下,降低全景视频的码率。HHI则提出了基于视频分块(tile)的全景视频传输方案^[14],如图1所示,思路是根据用户的观看视点

和视角,只传输FOV内的内容,只解码FOV内的内容,采用部分传输和部分解码的方式减轻对网络带宽和终端解码的压力。

基于FOV的视点自适应传输编码方式可以运动受限视频分块划分(motion-constrained tile set, MCTS)的HEVC编码^[17]。每一帧中在同一空域位置的視頻分块数据可以按ISO BMFF (ISO base media file format)文件格式存储并被分别发布。结合自适应的HTTP流媒体传输技术,例如MPEG-DASH^[18],终端可以根据用户的头部转动下载解码感兴趣的分块数据。

2.2 超高分辨率全景视频的显示后处理困境

获取局部视场角信息并用于显示是全景视频播放的主要特征,尤其是近眼显示模式需要局部视场角输出的视频分辨率达到高清甚至4K分辨率,这就要求全景视频的分辨率远高于4K,根据华为iLab实验室提供的数据表明,8K分辨率的视频才可以提供部分沉浸的效果。

当前全景视频无法获取广泛应用的制约因素主要在于:清晰度、延迟时间、聚焦度、成本。

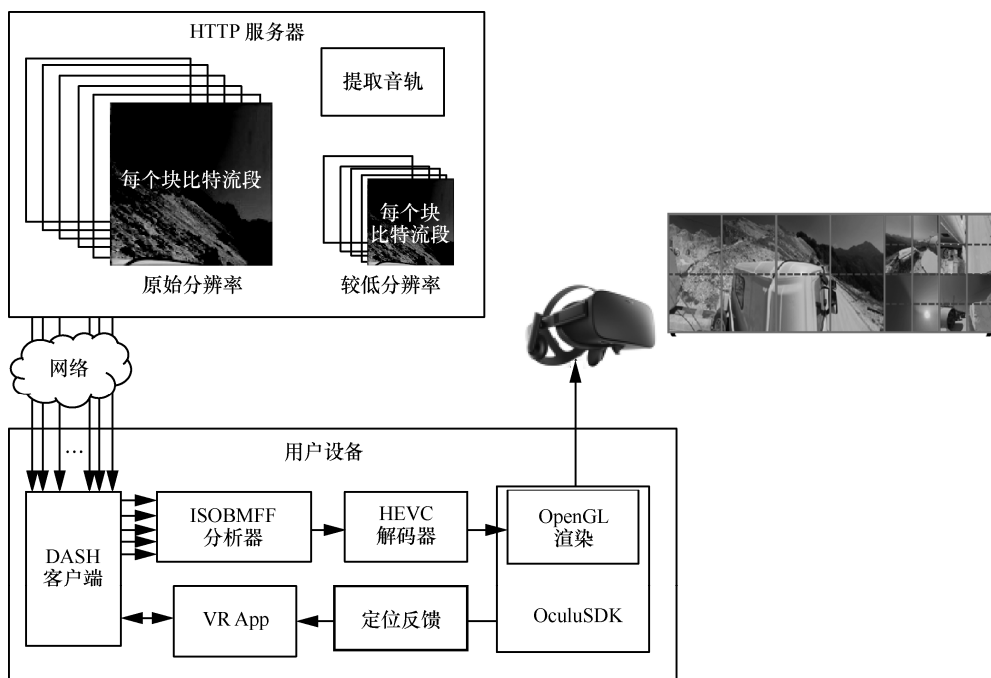


图1 基于视频分块的全景视频编解码及传输框架^[16]



主要是由于显示屏幕的分辨率不足导致纱窗效应以及块效应，超高清全景视频可以弥补这一短板。全景视频由于头部运动的参与，所以对延迟的容忍度更低，目前VR的可接受MTP延迟上限是20 ms，因此足够高的帧率对VR显示至关重要，相对于传统视频更高的分辨率和帧率将会导致超高清全景视频的数据量急剧增加，这给全景视频显示后处理算法和架构带来了巨大的挑战。聚焦度是由于人眼聚焦于屏幕和观察自然世界的方式不同，可以通过屏幕与光学透镜的创新来解决该问题。成本方面，目前无论是基于PC的VR设备还是基于一体机的VR设备都是动辄数千元起，对于VR全景视频的推广使用无疑提高了门槛，超高分辨率和帧率的全景视频后处理常需要花费更多的计算资源，对于成本无疑提出挑战。

3 基于IPTV的智慧家庭VR全景视频业务实现

由于现有的IPTV机顶盒芯片还不支持直接解码4K以上分辨率的视频，因此基于FOV和块划分的视点自适应传输编码成为IPTV实现VR全景视频业务的突破方向。

3.1 基于多分块的超高清全景视频编解码方案

若要MCTS的HEVC码流中的某一个分块数据提取出来重建成一个可以被独立解码的标准HEVC码流，需要对其参数集和slice header（切片头）数据进行修改。以7 680×3 840像素的全景视频为例，假设按照640×640像素为一个块进行划分，则整幅图像可以划分为12×6像素即72个分块。通过首先将全景视频在时间维度上进行多块划分，如图2所示，然后通过分别编码的方式进行编码封装，上传到CDN系统响应终端的请求，终端根据用户的视点和视角进行块解码。

对其中某一个分块数据进行提取时需要将解码所需的视频参数集（video parameter set, VPS），序列参数集（sequence parameter set, SPS）和图像参数集（picture parameter set, PPS）一并提取。此时提取的分块码流还不能被解码器解码，原因在于其参数集和slice header中的一些参数仍然是原7 680×3 840像素码流的参数，需要进行修改。

3.1.1 SPS参数的修改

SPS中要修改的是pic_width_in_luma_samples和pic_height_in_luma_samples这两个语法元素的值。在提取出的分块码流中，这两个值分别为

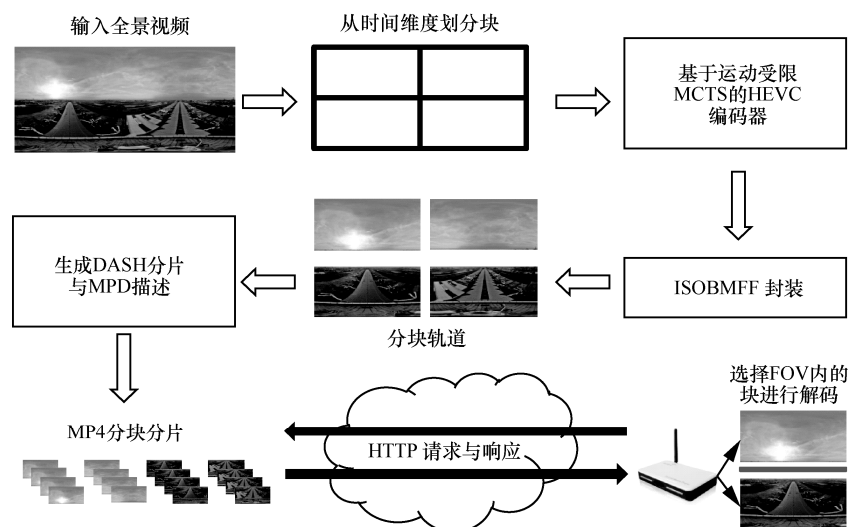


图2 全景视频的多分块编解码方案

7 680 和 3 840, 但由于目前新的码流已经变为 640×640 像素, 因此需要将这两个语法元素值修改为 640。

在进行语法元素值修改时, 由于无法直接定位到 SPS 中 `pic_width_in_luma_samples` 和 `pic_height_in_luma_samples` 这两个语法元素所在的比特位置以及比特长度, 必须先寻找 SPS 所在网络适配层 (network abstract layer, NAL) 单元的起始码 (start code), 定位到 SPS 所在 NAL 的开头, 然后对 SPS 中的数据依次读取并解码, 才能定位到这两个语法元素的位置以及长度。SPS 数据的解码会用到变长的 0 阶指数哥伦布解码。

在定位到 `pic_width_in_luma_samples` 和 `pic_height_in_luma_samples` 这两个语法元素之后, 对值进行修改, 然后需要对这两个语法元素值进行 0 阶指数哥伦布编码, 再拼接回原 SPS 参数集中替换掉原有的 `pic_width_in_luma_samples` 和 `pic_height_in_luma_samples` 语法元素值。

3.1.2 PPS 参数的修改

PPS 中要修改的语法元素值是 `num_tile_columns_minus1` 和 `num_tile_rows_minus1`。在提取出的 HEVC 分块码流中, 这两个值分别是 11 和 5, 表示在原 7 680×3 840 像素大小图像中, 共有 (11+1) 列和 (5+1) 行块, 也就是 72 个块。由于现在提取出的是一个单独的块码流, 只有 1 个块 (1 行 1 列), 因此需要将 `num_tile_columns_minus1` 和 `num_tile_rows_minus1` 的值都修改为 0。

这个修改过程仍然类似于上述 SPS 参数的修改, 由于无法直接定位到 `num_tile_columns_minus1` 和 `num_tile_rows_minus1` 这两个语法元素所在的比特位置以及比特宽度, 所以需要先找到 PPS 的起始码, 然后对 PPS 进行解码, 需要用到指数哥伦布解码。直到解到 `num_tile_columns_minus1` 和 `num_tile_rows_minus1` 之后, 才能对值进行修改和替换。

3.1.3 slice header 的修改

`slice header` 中需要修改的是 `slice_segment_address` 的值以及该值本身的位宽长度。`slice_segment_address` 这个语法元素值本身是变长的, 位宽长度不固定, 需要视整幅图像中的 CTU 个数而定。

在上述提取出的 HEVC 块码流中, 其 `slice header` 中的 `slice_segment_address` 的比特长度是 13 byte。因为原图像的分辨率是 7 680×3 840 像素, 而原码流中 CTU 的大小是 64×64 像素的块, 原图像可以划分为 $120 \times 60 = 7\,200$ 个 CTU。`slice_segment_address` 表示的是当前切片在整幅图像中的以 CTU 为单位的起始地址。由于图像中包含了 7 200 个 CTU, 为了描述每个 `slice_segment_address`, 就至少需要 13 byte, 因此在原码流中, 读取 `slice_segment_address` 语法元素值时, 需要读 13 byte。

由于目前单独提取出的一个块码流的分辨率只有 640×640 像素, 也就是只包含了 100 个 CTU, 因此 `slice_segment_address` 的比特长度只能保留 7 byte。同时, 由于在当前单独提取出的块码流中, 只包含一个切片, 因此 `slice_segment_address` 的值都修改为 0。

3.2 基于多种分辨率和多分块的 CDN 分发方案

CND 即内容分发网络, 其基本思路是通过网络流量和各个节点的负载情况以及对用户请求的响应时间重构链接用户到最近的服务节点上^[19]。提升内容传输的速度和稳定性, 具备高吞吐量和速度的 CDN 对于提升沉浸感的全景视频体验是十分必要的。

超高分辨率全景视频比普通平面视频的码率高出 10 倍以上, 基于块划分的编码方式也会导致编码文件比普通平面视频高出数十倍。如果采用传统分发方式, 寻址块文件全部传输将对 CDN 形成很大的压力。为了解决这些问题, 可以采用基于分块的优化分发方法, 该方法的主要思



路如下。

- 对超高分辨率全景视频按照 MCTS 进行编码，CDN 只发送用户请求的分块视频，降低全景视频网络传输的浪费，并减轻对 CDN 的冲击。
- 提供多种分辨率格式给终端自适应请求，网络拥堵、质量下降时，终端请求低分辨率视频减少卡顿现象，避免视频流畅度受到影响。
- 采用多块预拼接技术，通过将用户索引的分块进行预拼接，减少查询和读取 CDN 服务的次数，因为这种频繁小文件查询和读取对 CDN 性能影响非常大。
- 引入大数据处理和深度学习等技术，获取用户观看的兴趣区域，并预估用户的观看内容，提前准备需要发送的内容，降低发送与请求之间的时延。

利用合适的预处理技术以及针对性的优化 CDN 的分发方法，现有 CDN 具备处理 8K 分辨率全景视频的能力。通过结合新兴存储和处理技术，处理更高分辨率的视频分发在技术上也是完全可能的^[20]。

3.3 基于超高清全景视频的混合分辨率 VR 显示方案

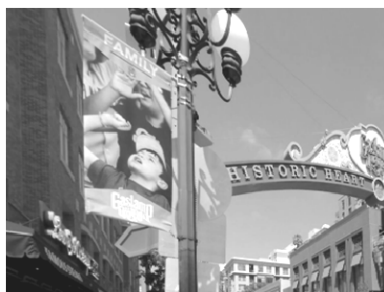
部分解码超高分辨率全景视频主要受限于解码器的解码能力与网络传输性能，为了获取最佳的体验效果，可以建立如下的目标函数：

$$\max f(x) \quad \text{s.t. } x \in \Omega \quad (1)$$

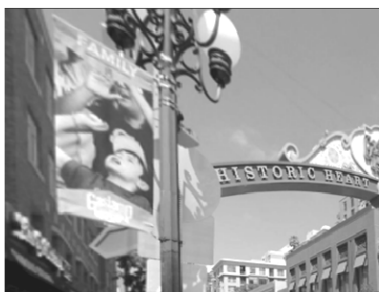
其中， x 表示解码的分块， Ω 表示超高频视频，比如 8K 视频划分的全部分块。 $f(x)$ 表示基于 FOV 的呈现方式，该函数值越大，表示通过解码这些分块获取的用户体验越好。为了获取目标函数的最优值，可以从如下 4 个方面考虑：

- 在解码条件允许的下，获取更多 FOV 内高清晰分块；
- 在网络允许的条件下，解码高清分块用于 VR 显示；
- 在传输能力和解码能力相同的条件下，采用合适的补偿帧技术，降低头部运动到显示的延迟；
- 在传输能力和解码能力相同的条件下，通过合适的 Unwrap 方法及几何失真校正方法，呈现失真度更小的画面。

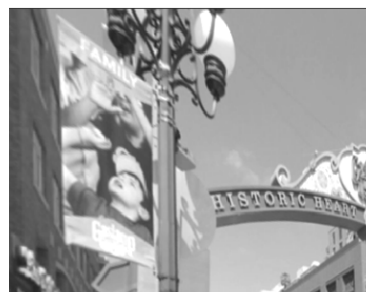
在提供 8K 和 4K 两种分辨率视频的条件下，图 3 展示了利用 3 种解码策略得到的结果。图 3(a) 表示全部图得到的 FOV 显示内容图，图 3(b) 为采用了混合分辨率解码得到的 FOV 显示内容，图 3(c) 为全部采用低分辨率分块解码得到的 FOV 显示内容。在观看过程中，图 3(a) 的用户体验明显高于图 3(b)，但是图 3(b) 的体验又优于图 3(c)。这说明在网络环境和解码能力都允许的情况下， x 采用全部高分辨率分块， $f(x)$ 尽可能全部解码高分辨率分块可以获取最佳的用户体



(a) 全部采用高分辨率分块解码得到的 FOV 结果



(b) 左上方采用低分辨率分块解码，其余部分采用高分辨率分块解码得到的 FOV 结果

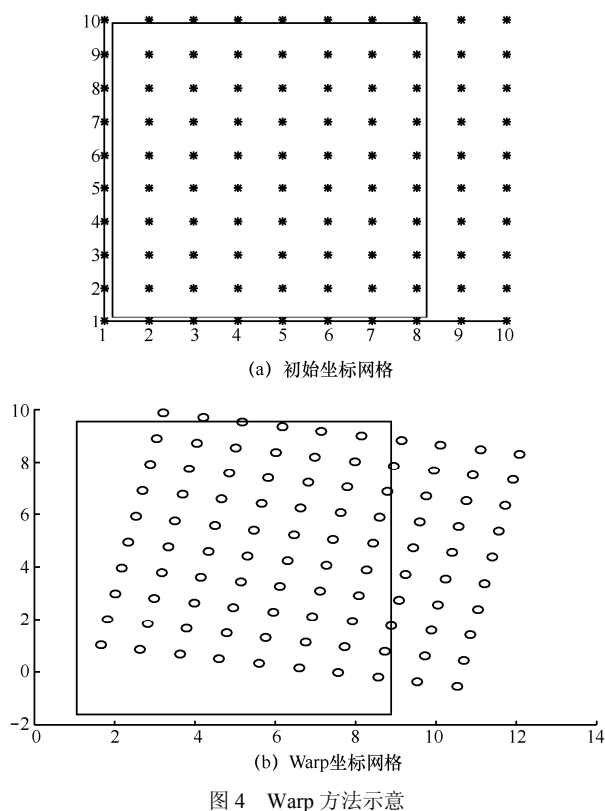


(c) 全部采用低分辨率分块解码得到的 FOV 结果

图 3 基于不同分辨率分块解码显示的结果

验。如果二者不能同时满足,比如网络条件不满足时, x 可以选择部分高分辨率分块,部分低分辨率分块传输, $f(x)$ 混合解码多种分辨率得到的用户体验也将明显高于全部传输和解码低分辨率 tile 的方案的用户体验。

补偿帧方法可以采用扭曲(Warp)技术,及时体现头部的运动信息。如图4表示头部移动导致坐标网格的变化,图4(a)为上一帧的坐标网格,图4(b)为头部移动之后坐标网格相对上一帧的变化。借助Warp技术可以合成补偿帧,提升VR视频的显示帧率。



HMD设备播放同时存在需要对输出视频进行几何失真校正(graphic distortion correction, GDC)。这是由于HMD设备通常包含了一个凸透镜系统,视频内容透过凸透镜送给用户使用,在穿过凸透镜的过程中存在多种失真,包括镜头失真和颜色失真,前者是由于凸透镜系统对光线的折射效应引起,后者由于不同颜色的光线的折

射率不同。通过对每帧图像施加一个逆向预失真可以有效地抵消由于凸透镜系统带来的失真。针对LDC的两个原则为:距离观察中心较远的位置失真更明显;图像像素的相对位置不应发生变化,具体表现在,上侧的像素经过较真之后应该仍位于上侧,左侧的像素点经过校正之后依然位于左侧。CAC的校正与镜片系统有更明显的依赖,建议通过不断调整参数并利用标准网格图片进行校准。在IPTV机顶盒设备中,通过设计专门的VPU、GPU和DPU的硬件处理框架实现上述显示后处理算法,可以在保证超高清全景视频体验的同时极大的降低其呈现的成本。

4 结束语

全景视频为智慧家庭用户提供了新的视频观看方式,为了提高用户的体验,全景视频对分辨率的要求高于传统平面视频,通常需要不低于8K,这种超高分辨率的全景视频对IPTV系统的编解码、网络传输、终端都提出了全新的要求。IPTV系统在网络分发,视频编解码以及用户规模上都具有独特的优势,基于IPTV庞大的4K终端规模可以克服目前VR终端消费技术门槛高、用户群数量不足的问题。通过IPTV的网络QoS保障和端到端标准化能力,有针对性地设计全景视频传输方法并结合多分块、多分辨率混合编解码这些关键技术,IPTV可以成为率先支持超高分辨率全景视频,引领创新型VR业务的载体,促进产业超高分辨率全景内容制作、全景视频预处理、CDN分发、网络带宽升级到VR显示设备升级,最终带动整个智慧家庭VR视频业务的产业链升级。

致谢

本文的研究工作在中国电信智慧家庭开放实验室完成,同时得到中国智慧家庭产业联盟4K极客工作组、VR/AR工作组成员的帮助和支持,在此表示衷心的感谢!



参考文献:

- [1] 徐俭. IPTV 机顶盒技术浅析[J]. 有线电视技术, 2007, 14(4): 54-57.
XU J. Analysis of IPTV set top box technology[J]. Cable Television Technology, 2007, 14(4): 54-57.
- [2] 金伟. IPTV 机顶盒现状与趋势的研究[J]. 电信科学, 2006, 22(3): 28-31.
JIN W. Study on IPTV STB: status and trends[J]. Telecommunications Science, 2006, 22(3): 28-31.
- [3] 黄海峰. 全面推广 100M 接入中国电信成为宽带提速先锋[J]. 通信世界, 2013(26): 19.
HUANG H F. Fully promote 100M access China Telecom become broadband pioneer[J]. Communications World, 2013(26): 19.
- [4] 贺甜甜, 刘彦凯, 宋利. 视频用户体验理论与实践[J]. 电信科学, 2017, 33(8): 1-10.
HE T T, LIU Y K, SONG L. Theory and practice of quality of experience in video services[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(8): 1-10.
- [5] JUNG T, DIECK M C T, MOORHOUSE N, et al. Tourists' experience of virtual reality applications[C]//2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics, January 8-10, 2017, Las Vegas, NV, USA. New Jersey: IEEE Press, 2017.
- [6] VASENEV A, HARTMANN T, DORÉE A G. Employing a virtual reality tool to explicate tacit knowledge of machine operators[J]. ISARC Proceedings, 2017: 1-7.
- [7] 李科, 熊自明, 杜琳. 基于全景视频的虚拟地理环境建模技术研究[J]. 系统仿真学报, 2013, 25(8): 1871-1875.
LI K, XIONG Z M, DU L. Research for visual geographic environment model design based on panorama video[J]. Journal of System Simulation, 2013, 25(8): 1871-1875.
- [8] XU J, LEE Y H, TSAI W T, et al. Ontology-Based smart home solution and service composition[C]//IEEE Computer Society International Conference on Embedded Software and Systems May 25-27, 2009, Hangzhou, China. New Jersey: IEEE Press, 2009: 297-304.
- [9] 张超, 王劲林, 单明辉, 等. IPTV 机顶盒业务自动部署方案设计[J]. 电视技术, 2007, 31(5): 31-33.
ZHANG C, WANG J L, SHAN M H, et al. Design of automatic deployment solution for services of IPTV set-top box terminals[J]. Video Engineering, 2007, 31(5): 31-33.
- [10] 谢卫华, 王永滨. 基于 AVS 解码芯片 DS1000 的 IPTV 机顶盒设计[J]. 电视技术, 2009, 33(1): 51-53.
XIE W H, WANG Y B. Design and realization of IPTV STB based on AVS decoding chip DS1000[J]. Video Engineering, 2009, 33(1): 51-53.
- [11] 尹芹, 华新海. 基于融合 CDN 构建未来智能内容管道[J]. 电信科学, 2015, 31(4): 33-37.
YIN Q, HUA X H. Building of future intelligent content pipeline based on unified CDN[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(4): 33-37.
- [12] 罗小琴, 朱晓荣. 基于多终端协同的高清视频多流并发自适应传输控制方法[J]. 电信科学, 2015, 31(9): 35-43.
LUO X Q, ZHU X R. An adaptive concurrent control method for high definition video transmission based on multi-terminal cooperation[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(9): 35-43.
- [13] 林枝叶. 面向全景视频拼接的图像融合算法及其 GPU 实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2016.
LIN Z Y. Algorithm and GPU implementation of image fusion for panoramic video mosaics[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2016.
- [14] 陈立栋, 徐玮, 张茂军, 等. 基于四拼图的嵌入式全景视频实时生成系统[J]. 信号处理, 2009, 25(12): 1946-1950.
CHEN L D, XU W, ZHANG M J, et al. Embedded real-time panoramic video generation system based on four-channel mosaic[J]. Signal Processing, 2009, 25(12): 1946-1950.
- [15] 温江涛. 全景视频为 VR/AR 带来技术挑战[J]. 电子产品世界, 2016, 23(6): 12-14.
WEN J T. Panoramic video brings technical challenges for VR/AR[J]. Electronic Engineering & Product World for Engineering Managers & Desingers, 2016, 23(6): 12-14.
- [16] 19th MPEG Meeting. Text and test vectors for a viewport-dependent profile with tile streaming: ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2017/M40803[EB]. 2017.
- [17] CONCOLATO C, FEUVRE J L, DENOUAL F, et al. Adaptive streaming of HEVC tiled videos using MPEG-DASH[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2017(99): 1.
- [18] SODAGAR I. The MPEG-DASH standard for multimedia streaming over the internet[J]. IEEE MultiMedia, 2011, 18(4): 62-67.
- [19] 孙晓亮, 杨晓鸣, 赵文兵. 运营商 IPTV CDN 节点部署策略探讨[J]. 电信技术, 2017, 8(4): 36-39.
SUN X L, YANG X M, ZHAO W B. Discussion on deployment strategy of carrier IPTV CDN node[J]. Telecommunications Technology, 2017, 8(4): 36-39.
- [20] 董振江, 张东卓, 黄成, 等. 虚拟现实视频处理与传输技术[J]. 电信科学, 2017, 33(8): 45-52.
DONG Z J, ZHANG D Z, HUANG C, et al. Technology of virtual reality video processing and streaming[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(8): 45-52.

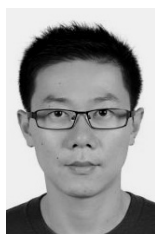
[作者简介]



罗传飞 (1978—), 男, 博士, 中国电信股份有限公司上海研究院高级工程师, 主要研究方向为视音频信号处理。



孔德辉（1988-），男，博士，深圳市中兴微电子技术有限公司多媒体算法工程师，主要研究方向为计算机视觉、AR/VR。



徐科（1978-），男，博士，深圳市中兴微电子技术有限公司多媒体芯片技术总监、人工智能首席科学家，主要研究方向为计算机视觉及人工智能。



刘翔凯（1986-），男，博士，深圳市中兴微电子技术有限公司多媒体算法高级工程师，主要研究方向为视频编解码、AR/VR。



杨浩（1975-），男，博士，深圳市中兴微电子技术有限公司产品总工程师，主要研究方向为多媒体产品集成及方案。