

# 5G毫米波赋能8K视频制作



未来移动通信论坛  
FUTURE MOBILE COMMUNICATION FORUM

# 目录

1. 背景、商业需求.....	1
2. 8K 视频用例、协议、需求.....	2
2.1. 8K 视频无线回传用例描述.....	2
2.2. 视频压缩格式.....	3
2.2.1. 视觉无损压缩.....	4
2.2.2. 深压缩协议.....	6
2.3. 8K 超高清视频无线传输的 KPI.....	8
3. 毫米波使能 8K 视频传输.....	10
3.1. 端到端传输方案.....	10
3.1.1. 网络架构选择.....	10
3.1.2. 核心网方案.....	10
3.1.3. 无线网络方案.....	11
3.2. 上行传输技术.....	12
3.2.1. 大上行帧结构.....	12
3.2.2. MU-MIMO.....	13
3.2.3. 高功率终端.....	14
3.3. 协议适配和链路聚合.....	14
3.3.1. 传输协议背景.....	14
3.3.2. ISSP 协议介绍.....	15
3.3.3. ISSP 协议小结.....	17
3.4. 生态链关键企业调研.....	17
3.4.1. 毫米波移动通信产业链成熟度.....	18
3.4.2. 超高清编码器成熟度.....	18
3.4.3. 基于 5G 的超高清视频移动回传成熟度.....	20
4. 典型传输案例.....	20
4.1 基于 5G 毫米波 8K 视频端到端传输演示.....	20
4.2 基于 5G 毫米波网络应用的延展性讨论.....	21



4.2.1. 各类移动直播报道.....	22
4.2.2. 外场制作/车载制作.....	23
4.2.3. 远程制作.....	23
4.2.4. 风景摄像头慢直播.....	24
5. 结束语.....	26
参考文献.....	28
致谢 .....	29

## 1. 背景、商业需求

随着 5G 全方位赋能，“信息视频化、视频超高清化”已经成为全球信息产业发展的趋势。从增长和规模来看，据预测，到 2022 年底，超高清占视频点播 IP 流量的百分比将高达 35%，我国超高清视频产业规模将超 4 万亿元；2021 年东京奥运会，中国央视和日本 NHK 均实现了 8K 赛事转播。2022 年春晚、2022 年北京冬奥会已明确将采用 8K 超高清直播。由此推测，未来最受瞩目的体育赛事直播，包括奥运会、世界杯等，将均采用超高清制作传输。业界对超高清视频业务上行需求的增长不断攀升，中国超高清视频产业发展拥有难得的机遇，同时这也给网络上下行速率及容量带来巨大的挑战。

从产业链角度看，超高清视频产业链条长，发展超高清视频产业将带来芯片、视频制作设备、存储设备、网络传输设备、显示面板、终端整机等产业链各环节产品的升级换代与流程再造。在硬件方面，以 8K 为代表的超高清视频产业发展将推动投影仪、VR/AR、户外大屏等设备成为新型入口；在应用方面，8K+AI、8K+VR/AR、8K+全息、8K+互动等融合技术的发展将带动家庭、文娱等 2C 市场的进一步发展，以及安防、医疗、工业控制、精密制造等 ToB 领域的市场爆发。在我国，超高清终端竞争力、覆盖率持续走高，60 英寸以上大尺寸面板将全面实现超高清化，超高清体验“走进千家万户”的基础终端能力已经具备，良好的基础将强力驱动产业和消费全面升级，超高清市场爆发愈加可期，中国将成为最大的超高清市场。

中央广播电视总台在 2021 年 1 月颁布的《8K 超高清电视节目制播技术要求（暂行）》[1]中规定：

1) 8K 超高清演播室或转播车视频系统中的 8K 设备，直接使用 8K 基带信号或将 8K 基带信号转换为 SMPTE-2110 标准的无压缩 IP 信号在系统中进行制作。其中，送总控的信号按照 SMPTE-2110-20 标准，采用 4 个 12Gbps 的视频 IP 组播信号流方式实现 8K 超高清信号传输。制作域传输采用 SMPTE-2110 定义的 Jpeg XS 等浅压缩协议。

2) 8K 超高清电视播出信号和互动点播编解码压缩技术要求, 采用 AVS3/H. 266/H. 265 标准, 视频编解码率在 80-120Mbps。

通过以上数据可以看出, 广电标准的 8K 无压缩信号虽然能够保证超低延时, 但是无论是采用基带 (12G SDI x4) 或者 SMPTE-2110 标准的 IP 流, 其传输速率要求都是目前无线传输难以承载的, 只能通过光纤传输方式。而 8K 播出和互动点播编解码标准目前采用的 80-120Mbps 左右的传输速率, 基本上接近目前公网环境 5G 上行速率上限; 但是采用现有的互联网视频传输编解码方式, 编解码延时量基本都在秒级以上, 又无法体现 5G 低延时的特性; 另外其码率过低, 难以满足母盘制作的需求。

因此, 采用 JPEG XS 编解码技术, 通过对 8K 视频采用浅压缩到吉比特每秒的码率, 接近于 8K 广播级视频 10bit 记录码率, 比播出端传输 8K 码率显著提高, 可以保留更多的影像细节和画质。同时较低的编解码延时量, 与 5G 网络协同, 可以获得高速 5G+8K 传输能力, 这也是之前的解决方案不具备的特点。

## 2. 8K 视频用例、协议、需求

### 2.1. 8K 视频无线回传用例描述

为了传输高达数百兆甚至数吉比特的视频流, 传统 8K 视频在制作域传输通常采用带宽很大的光纤通道。这种传输技术最大的局限是摄像机和编码器需要提前设定好位置, 无法灵活移动。这一点不适合移动性很强的体育赛事摄制, 特别是移动速度很快, 或是户外大范围移动的项目。

采用毫米波的 5G 技术突破了传输带宽的瓶颈, 可以提供吉比特级别的上行带宽, 通过移动通信上行链路回传 8K 大带宽视频成为可能。下图是 8K 超高清视频通过 5G 链路传输示意图。8K 摄像机将采集到的数据传输到编码器进行编码, 编码后的数据通过路由器和 CPE 作为上行数据发出。信号直接进入边缘计算节点 MEC 的云渲染服务器。

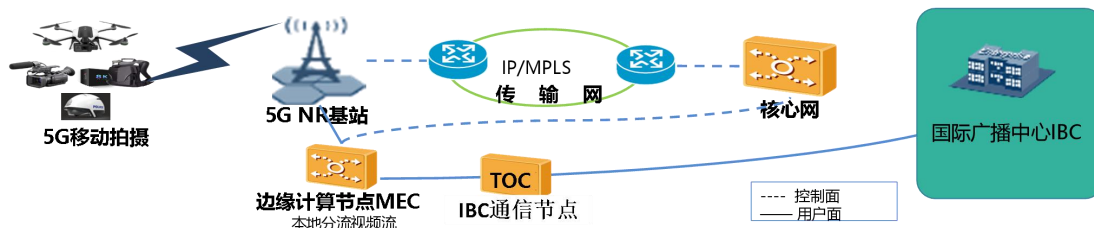


图1 通过5G链路转播回传超高清视频示意图

## 2.2. 视频压缩格式

根据变换域的不同，视频压缩协议通常可分为基于 DCT 变换和基于小波变换两大类。二者技术特点各有不同，目前压缩率较高的 MPEG H. 264、H. 265、H. 266 和国内的 AVS 系列标准都是基于 DCT/DST 变换；而制作域浅压缩标准 TICO、JPEG-XS、JPEG-2000 通常采用小波变换。

8K 摄像机输出的通常是 4 路 12Gbps 的 SDI 信号，通过制作域的浅压缩编码器后转换为 IP 码流通常的大小在数吉比特到数百兆比特每秒，远超出目前 5G 低频（sub-6）商用网络和 4G 商用网络的能力，在 5G 毫米波网络商用之前通常只能通过光纤或以太网传输。8K 等超高清视频信号传输通常采用 H. 265 等深压缩格式传输，为了适配 4G、5G 商用网络能力，通常采用较高的压缩比例将码流速率控制在数十兆比特每秒。

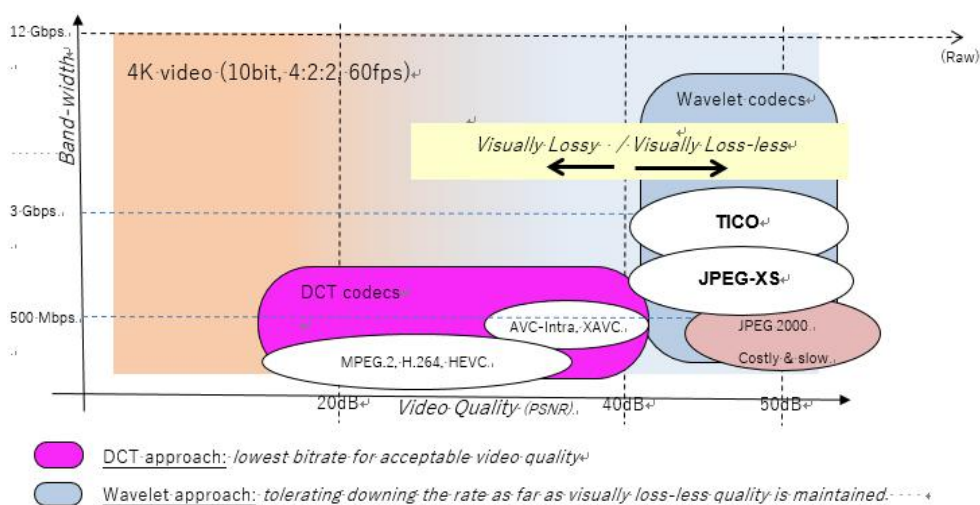


图2 以小波变换和DCT算法基础的初次编解码图像质量对比

## 2.2.1. 视觉无损压缩

随着网络传输带宽不断提升，无论是有线专用网络还是无线网络，包括无线微波技术和 5G 毫米波技术的不断推进和施行，数据传输链路带宽随之增加，业界和用户对尤其是文娱和体育赛事直播和视频传输的质量有了更高的要求，对视频传输的时延要求越低越好。

广电行业在追求 8K 视频的同时，UHD HDR 高动态对比度和 BT.2020 广色域的视频处理成为当下高端专业视频处理的基础，视频高质量也带来了传输链路带宽的高要求。

继 TICO 格式之后，JPEG-XS 成为当前广电和高端视频行业最为合适的 8K 或 4K UHD 视频远程高质量、超低时延传输的最优格式。JPEG-XS (ISO / IEC 29170) 以低复杂度的次帧内离散小波变换和五层水平、二层垂直为基础做图像压缩，结合熵编码，最后按要求进行码率分配。图像编解码可以分别控制在 9~16 条扫描线，并且不需要相关图像组的预测变换，从基本上决定了 JPEG-XS 编解码端到端的时延是目前已知算法格式中最小的。实际可以综合传输带宽和视频质量要求等方面的考量，达到保持视频的整体质量的前提下，适应存储设备或网络传输带宽。

在广电级专业节目制作领域，国际和国内的大型电视台设定的 JPEG-XS 压缩比典型值为 10:1 到 16:1，通过 SMPTE ST2110 协议将 JPEG-XS 视频码流与相关音频和辅助数据分别进行传输，充分体现 RTP 数据组播对高端视音频的灵活性。并且实现以母盘图像质量的端到端时延可以低至 0.3ms，满足演播室等视频节目远程传输和制作的需求。

JPEG-XS 从算法基础上就决定了成型产品的几大特点：

- 1) JPEG-XS 编解码的视频还原度高，尤其多次迭代编解码后的视频质量稳定。根据波视公司的日本用户以典型视频序列测试，实际得出的经过 JPEG-XS 二次编解码的 PSNR 值与第一次相近。这也是相比于基于小波变



换的帧内编码格式 JPEG2000，和其他以 DCT/DST 变换为基础的帧间压缩编码格式最大的优点。

表格 1 JPEG-XS 4K 12G-SDI 迭代编解码图像还原度对比 - PSNR 实际测试值

Item	第一次编解码 PSNR	第二次编解码 PSNR
JPEG-XS 8:1	52.25	52.19 (Almost Same)

- 2) 端到端传输的视频时延小
- 3) JPEG-XS 编解码时延的算法理论值低于 0.1ms，实际成型的链路产品考虑到解码端 Line Buffer，端到端时延可小于 0.3ms。实际的网络传输系统中的时延会产生 3ms~40ms 的不同值，需要根据专用有线、或无线网络的链路状况，和 ST2059 网络时钟和视频传输系统中的参考相位精度而定。
- 4) JPEG-XS 编码数据为恒定码率，对传输链路带宽的需求稳定
- 5) JPEG-XS 视频码流的压缩码率根据图像变换设定后，无需考虑其他相关的预测信息量化和存储，数据占用的带宽是恒定值。通过 SMPTE ST2110-22 协议传输，相比于传统的广电信号传输，超高清 UHD 信号系统的 IP 传输链路带宽降低至几十分之一。大大降低了超高清系统的成本，也为 IP 交互和中央管理系统带来了可靠性和灵活性。随着无线传输可提供的链路带宽增大至几百兆比特每秒甚至 1Gbps，JPEG-XS 编解码数据的高质量、超低时延和稳定性，带来高端视频传输应用耳目一新的效果。
- 6) 8K/4K 超高清信号通过 SMPTE ST2110 协议传输视音频数据流，同时可以采集远程设备、或互动信息，同步进行传输。JPEG-XS 码流和异地设备的同步信息或互动信息都可以通过 ST2110 分别进行同步传输，这种创新可以使 VR 虚拟现实、超高清远程控制等应用更加逼真和具有时效性。



- 7) JPEG-XS 支持 FPGA 硬件和软件基于 CPU 做编解码处理，但是对接口速度和处理资源有相应要求，视频分辨率越高，运算频率越高，处理带宽越大，占用的硬件资源越大。随着支持 JPEG-XS 的软件产品出现，VSI 国际组织针对 JPEG-XS 码流通过 ST2110-22 协议传输出台了更加详细的标准和指导规范，并在不断的更新，涵盖了 JPEG-XS-22 的打包格式和各项数据范围，相对统一了 JPEG-XS-22 的数据格式，促进了基于硬件和服务器基础的软件的 JPEG-XS 编解码的兼容性。

## 2.2.2. 深压缩协议

深压缩协议通常针对传输环境变化较大的公网 IP 链路设计，压缩率高，对链路适应性好。在变化较为复杂的环境中采用深度压缩的视频编码模式，视频压缩应尽可能的采用高效率的视频压缩编码方式，这样可以有效的降低视频码率，降低对网络上行带宽的要求。常用的深压缩编码协议包括 MPEG 制定的 H. 265、H. 266 和国内制定的 AVS3。

### 1. H265 编码

H265 编码又称 HEVC (High Efficiency Video Coding) 是继 H. 264 后的新一代编解码标准，与 H. 264 一样，它由 ISO/IEC 运动图像专家组和 ITU-T 视频编码专家组 (VCEG) 联合制定，压缩效率比 H. 264 高 50%，主要应对当前视频应用不断向高清晰度，高帧率，高压压缩方向发展趋势而发布。HEVC 协议标准第一版与 2013 年 7 月发布，实现了在 H. 264 标准复杂度基础上，将压缩率提升了一倍以上。作为新一代视频编码标准，HEVC 仍然是预测加变换的混合编码框架，但是其相对于 H264 在很多方面进行了革命性的提升，其主要技术亮点有：

#### 1) 灵活的编码结构

在 H. 265 中，将宏块的大小从 H. 264 的  $16 \times 16$  扩展到了  $64 \times 64$ ，以便于高分辨率视频的压缩。同时，采用了更加灵活的编码结构来提高编码效率，包括编码单元 (Coding Unit)、预测单元 (Predict Unit) 和变换单元 (Transform Unit)。

## 2) 灵活的块结构——RQT (Residual Quad-tree Transform)

RQT 是一种自适应的变换技术,这种思想是对 H.264/AVC 中 ABT(Adaptive Block-size Transform) 技术的延伸和扩展。对于帧间编码来说,它允许变换块的大小根据运动补偿块的大小进行自适应的调整;对于帧内编码来说,它允许变换块的大小根据帧内预测残差的特性进行自适应的调整。大块的变换相对于小块的变换,一方面能够提供更好的能量集中效果,并能在量化后保存更多的图像细节。

## 3) 采样点自适应偏移 (Sample Adaptive Offset)

SAO 在编解码环路内,位于 Deblock 之后,通过对重建图像的分类,对每一类图像像素值加减一个偏移,达到减少失真的目的,从而提高压缩率,减少码流。采用 SAO 后,平均可以减少 2%~6% 的码流,而编码器和解码器的性能消耗仅仅增加了约 2%。

## 4) 自适应环路滤波 (Adaptive Loop Filter)

ALF 在编解码环路内,位于 Deblock 和 SAO 之后,用于恢复重建图像以达到重建图像与原始图像之间的均方差 (MSE) 最小。

## 5) 并行化设计

当前芯片架构已经从单核性能逐渐往多核并行方向发展,因此为了适应并行化程度非常高的芯片实现,HEVC/H.265 引入了很多并行运算的优化思路,主要包括 Tile、Slice 及 WPP 级并行,可以充分发挥现代芯片多核并行的优势。

## 2. H.266 编码

H.266 又称 VVC (通用视频编码, versatile video coding), 在目前的超高清视频时代,帧率逐渐从 30fps 向 60fps、120fps 甚至 240fps 进发,视频分辨率也已从之前的 1080P、4K 到目前的 8K 超高清,面对超高清技术的不断发展,VVC 技术应运而生。VVC 由 MPEG 和 ITU 联合开发,全球范围内包括高通、HHI、

华为、三星、索尼、英特尔、诺基亚、爱立信、华为、腾讯、阿里等企业均有参与其中。

VVC 编码器的要求是将包括比 HEVC (H.265 / MPEG-H) 低 30% (或更多) 的比特率, 而不会降低质量。VVC 有望支持沉浸式内容, 分辨率从 4K 到 16K, 以及 360 度全景视频。VVC 压缩视频的方式与 HEVC 相似, 但是在分区、预测和熵编码等方面都有所改进。

### 3. AVS3 编码

AVS (Audio Video coding Standard, 音视频编码标准) 由中国的数字音视频编解码技术标准工作组负责开发制定。工作组制定的 AVS1、AVS2 两代编码, 已分别于 2006 年和 2016 年被颁布为中国国家标准。目前 AVS 标准广泛应用于中国的广播电视领域, 正在进军互联网视频领域和监控领域。AVS3 是 AVS 系列的第三代标准, 关键设计指标与 VVC 对标, 其目标主要是面向 8K 超高清和 VR 应用, 其技术优势主要有两方面体现: 1) 传统的信号处理相关的技术的优化, 如块划分、运动预测等; 2) 利用智能算法来进行的优化和探索, 比如用神经网络来优化信号的预测编码。2019 年 3 月, 数字音视频编解码技术标准工作组完成了 AVS3 基准档草案, 性能超过 AVS2 编码 30% 左右。2021 年 1 月 21 日, 《中央广播电视总台 8K 超高清电视节目制播技术要求(暂行)》正式发布, 明确视频分发的编解码技术采用 AVS3 标准, 互动点播视频采用 AVS3/HEVC/VVC 标准。

## 2.3. 8K 超高清视频无线传输的 KPI

中央广播电视总台在 2021 年 1 月颁布《8K 超高清电视节目制播技术要求(暂行)》, 其中规定:

- 1) 8K 超高清演播室或转播车视频系统中的 8K 设备, 直接使用 8K 基带信号或将 8K 基带信号转换为 SMPTE-2110 标准的无压缩 IP 信号在系统中进行制作, 实现高带宽、低延时处理和传输。其中, 送总控的信号按照

SMPTE-2110-20 标准，采用 4 个 12Gbps 的视频 IP 组播信号流方式实现 8K 超高清信号传输。

- 2) 8K 视频记录方式，压缩编码和封装格式采用 XAVC-I Class 300/480/MXF, 10bit, 码率为 500Mbps X4(Class 300/MXF)或 800Mbps X4(Class 480/MXF)。
- 3) 8K 超高清电视播出信号编码压缩技术要求，采用 AVS3 标准，对 8K 超高清信号 (7680×4320/50P/HDR) 采用基准 10 位档 (profile)、10.0.60 级 (level)，视频编码码率不低于 120Mbps。
- 4) 8K 超高清互动点播技术要求，基于 AVS3/H.266/H.265 进行编码，总码率要求大于 80Mbps。

通过以上数据可以看出，在播出域，采用 AVS3/H.266/H.265 编码标准，码率在 80-120Mbps 之间，基本上接近目前公网环境 5G 上行速率上限。屏到屏的时延低至数秒，远远低于基于 4G 和互联网的时延，可以为观看用户提供很好的体验。在制作域，广电标准的 8K 压缩信号采用 SMPTE-2110 浅压缩标准，可以保留更多的影像细节和画质，并保证数十毫秒的时延。压缩后的速率高达数百兆比特每秒，远高于播出端传输 8K 码率。对 5G 移动通信系统提出巨大挑战，需要采用毫米波技术提升上行容量。

## 3. 毫米波使能 8K 视频传输

### 3.1. 端到端传输方案

为了支持图 1 超高清视频回传架构，网络架构、核心网和无线网络方案选取方面有如下考虑。

#### 3.1.1. 网络架构选择

整体组网架构可以选择 NSA 或者 SA 组网，需要根据商用终端支持能力及组网需求选择。在 NSA 组网方案下，无线基站需要同时支持 LTE 和 5G 毫米波，对应无线网管也需要同时支持 4G 和 5G，核心网选择接入虚拟 EPC。在 SA 组网方案下，无线基站可以选择高低频 NR-DC，也可以选择毫米波独立组网，对应无线网管只需要支持 5G，核心网需要接入 5GC。



图3 组网架构示意图

#### 3.1.2. 核心网方案

核心网需要根据不同的网络架构选择不同的配置。NSA 组网架构下可以选择接入现网 4G EPC，也可以选择新建 EPC，EPC 与传统 4G 网络无差异。SA 组网架构下可以选择接入现网 5GC，也可以选择新建专网 5GC。5G 核心网支持控制/用户面分离架构，实现分布式部署。

基于大型赛事 4K/8K 视频直播要求时延要求，可以考虑引入核心网 MEC 方案，核心网对接 OBS 服务器，系统架构如下图所示。5G 核心网支持 MEC(Multi-access

Edge Computing) 技术, UPF 部署在更靠近用户的边缘数据中心 (Edge DC), 最大程度靠近用户, 就近接入 Internet 等应用网络, 用户面流量从就近 UPF 出口, 进入应用网络, 不再经过骨干网传输, 从核心网出口。可以有效地减少毫米波用户的大带宽应用对我们的网络带来的网络压力和冲击, 同时可以提供更低时延的服务, 进一步提升用户体验。

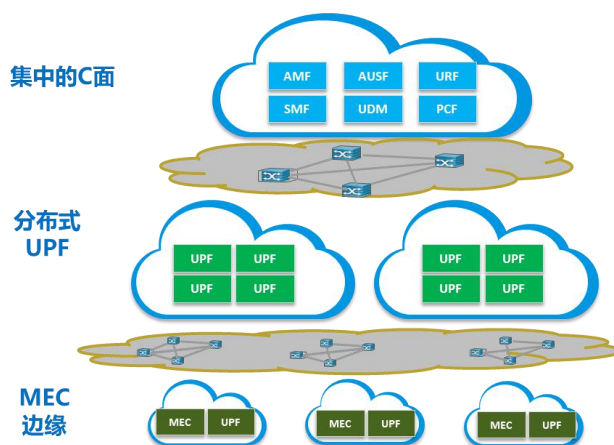


图4 核心网方案示意图

### 3.1.3. 无线网络方案

无线网络根据不同的网络架构成熟度选择不同的配置。NSA 组网架构下, 无线网络需要同时接入 4G 和 5G 无线基站, 可以选择现网 4G 基站上叠加 5G 毫米波基站, 也可以全部新建 4G 和 5G 毫米波基站。SA 组网架构下, 无线网络只需要接入 5G 基站, 如果选择 NR-DC 组网, 可以选择现网 5G 低频基站上叠加 5G 毫米波, 也可以选择全部新建 5G 高频和低频站点。如果选择 SA FR2 独立组网, 应该选择全部新建高频毫米波站点。

基于大型赛事 4K/8K 视频直播要求时延要求, 建议引入基站级本地分流方案, 无线基站 Node Engine 对接 IBC 服务器, 网络架构图如下所示, 适用于 NSA 或 SA 组网。中兴通讯支持基站内置算力引擎 Node Engine, 通过在基站 BBU 机框上提供计算、存储、网络、加速器等资源, 将算力下沉至基站, 采用容器化的微服务架构, 将本地分流、无线网络能力等功能下沉到基站, 提供基于 PLMN、切片 ID 的专网模式, 构建基站级的行业边缘计算, 实现数据不出园区, “空口一跳

直达”。同时辅以 Edge QoS 精细化保障，可满足 VR 类业务所需的低时延性能需求。

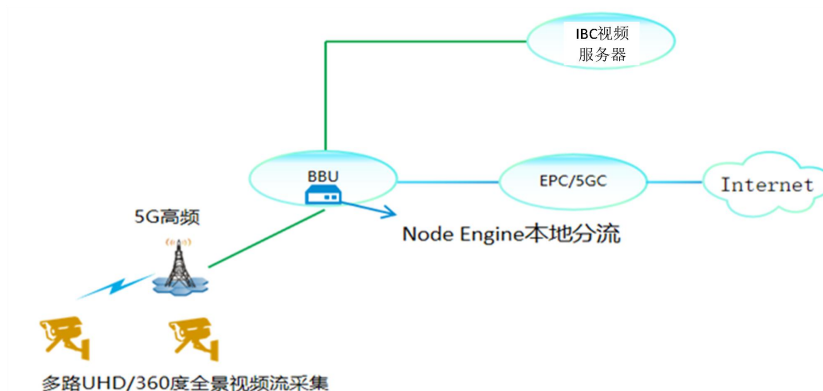


图5 无线网络方案示意图

## 3.2. 上行传输技术

### 3.2.1. 大上行帧结构

为解决毫米波上行容量不足的问题，可采取为上行业务终端分配更多的时隙资源的方式提高网络上行容量，如采用大上行 DSUUU 帧结构技术。大上行 DSUUU 帧结构配置与 DDDSU 帧结构配置中单个 D、S、U 时隙所包含的符号配置相同，如 D/U 时隙分别包含 14 个全下行/上行符号，S 时隙下行符号：特殊符号：上行符号为 10:2:2。分别计算 DSUUU 和 DDDSU 两种帧结构方式的上下行符号占比如下表所示：

表格 2 DSUUU与DDDSU帧结构上下行符号占比对比

总符号数（每五个时隙）	DSUUU 帧结构			DDDSU 帧结构		
	DL	GP	UL	DL	GP	UL
70	24	2	44	52	2	16
符号占比	34.28%	2.86%	62.86%	74.29%	2.86%	22.85%



由表格 2 可知,大上行 DSUUU 帧结构的上行符号占比约为 DDDSU 帧结构符号占比的 2.75 倍,单位时间内可传输更多的上行数据及控制信令。同时可通过下式计算毫米波网络上行峰值速率:

上行速率(Gbps)=上行符号数(一个子帧周期)\*空间复用层数\*调制阶数\*编码率\*PRB 数\*12/子帧周期(ms)\*(1-上行控制开销)/10<sup>6</sup>。

$$\text{data rate (in Mbps)} = 10^{-6} \cdot \sum_{j=1}^J \left( v_{\text{Layers}}^{(j)} \cdot Q_m^{(j)} \cdot f^{(j)} \cdot R_{\text{max}} \cdot \frac{N_{\text{PRB}}^{\text{BW}(j),\mu} \cdot 12}{T_s^{\mu}} \cdot (1 - OH^{(j)}) \right)$$

对于空间复用层数为 2、调制方式为 64QAM 的毫米波终端,可分别计算 DSUUU 与 DDDSU 帧结构的上行理论峰值速率如下表所示。

表格 3 DSUUU与DDDSU帧结构毫米波终端上行理论峰值速率对比

	DSUUU 帧结构	DDDSU 帧结构
终端上行 (200MHz) 理论峰值速率 (Gbps)	1.12	0.81
终端上行 (400MHz) 理论峰值速率 (Gbps)	2.25	1.62

由上表可知毫米波大上行 DSUUU 帧结构技术相较于传统 DDDSU 帧结构可以大幅度提升毫米波网络及终端的上行容量,毫米波网络理论可容纳多路浅压缩 8K (≥600Mbps) 视频,可有效满足演唱会、体育场馆等场景的 8K 视频应用需求。

### 3.2.2. MU-MIMO

多用户 MIMO 可以通过将满足一定条件的终端调度到同一个时频资源上发送,并通过接收端的多用户检测算法区分来自不同用户的信号。理论分析显示,通过在同样的视频资源传输来自不同终端的信号,系统吞吐量虽然不能倍增,但比用户使用不同资源时还是有所增加。

如图 6 所示,单用户 MIMO 的发送端为单个用户生成一个专用的波束,比尽量抑制其他方向的副瓣,以免干扰其他用户。多用户 MIMO 的发送端同时生成多

个主瓣指向服务用户，这时每个用户的主瓣信号被其他用户波束的副瓣的干扰，而导致 SINR 降低，单用户的吞吐量受到一些影响，但由于多个用户使用相同的时间频率资源，系统吞吐量仍然显著提升。

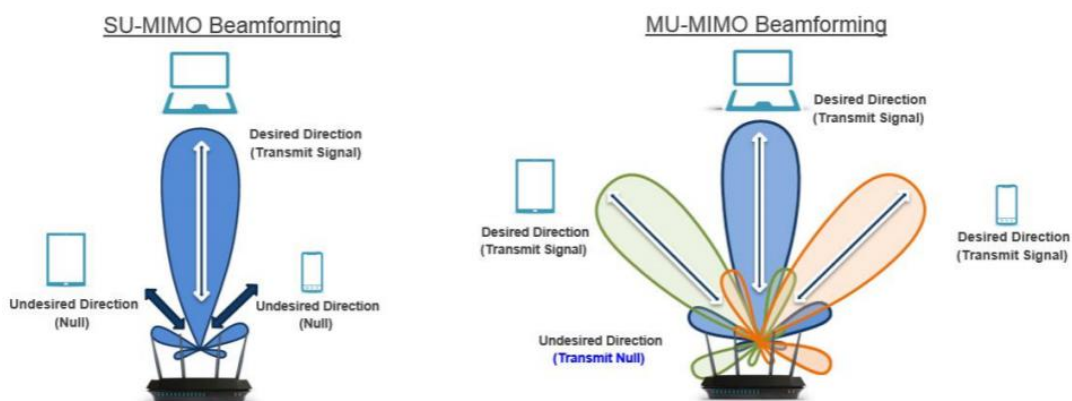


图 6 MU-MIMO 与 SU-MIMO 系统吞吐量比较示意图

### 3.2.3. 高功率终端

小区边缘或者覆盖较差的区域的终端通常链路预算较低，即便采用满功率发送也无法得到理想的 SINR。这时，提高这些终端的最大发送功率就可以有效的提升接收端的 SINR，并相应的提升上行吞吐量。

3GPP 目前基础的终端发送功率是 200mw（23dBm），终端在部分 TDD 频段可以达到 400mw（26dbm）。目前 3GPP 正在制定更高功率等级的标准以提升上行传输能力。

## 3.3. 协议适配和链路聚合

### 3.3.1. 传输协议背景

当前，基于 IP 的视频传输协议成为主流，包括 TS over UDP、RTMP、SRT 等，这些协议有为了保证传输时延基于 UDP 的，也有保证传输正确率基于 TCP/IP 的，但它们共同的特点是：都是针对单条传输链路设计的。在两个网络节点之间只会选择一条传输路径。这种针对互联网 IP 链路设计的传输协议不太适合移动通信这种衰落变化较大的传输通道，原因是移动通信链路变化更剧烈，甚至会在

用户进入覆盖阴影短时链路中断的情况。同时，由于移动运营商为了保证用户的普遍接入，通常会对公网用户限流，这也不利于大数据量的传输。因此，使用移动通信公网传输大带宽的视频需要一种多路聚合的传输协议。在众多协议中，TVU公司设计的ISSP协议（Inverse StatMux Stream Protocol）就是一种有代表性的多路聚合协议。

### 3.3.2. ISSP 协议介绍

ISSP 协议为采用 IS+（Inverse StatMux Plus）技术的传输协议，可以将一个单一的信号源通过反向复用多个信道用于传输，然后在接收端重新聚合。通过将单路信号分成多路，并通过多路通道来传输。也就是说，一个数据流能被分割成多个小的数据包，这些数据包能通过所有可用的网络链路来传输。在实际应用中，监控每个连接的带宽，并根据每个连接的利用率来传输对应数量的数据包，然后数据包将在接收终端经过纠错后重新合并还原到原始数据。然后传输将在接收终端经过排序后重新聚合。

这样在 5G 的波动网络情况下，就可以通过有效的多链路数据负载均衡，让聚合后的数据带宽更加平稳，更高符合广播电视的高稳定直播业务要求。如下面的图 7 和图 8 所示。

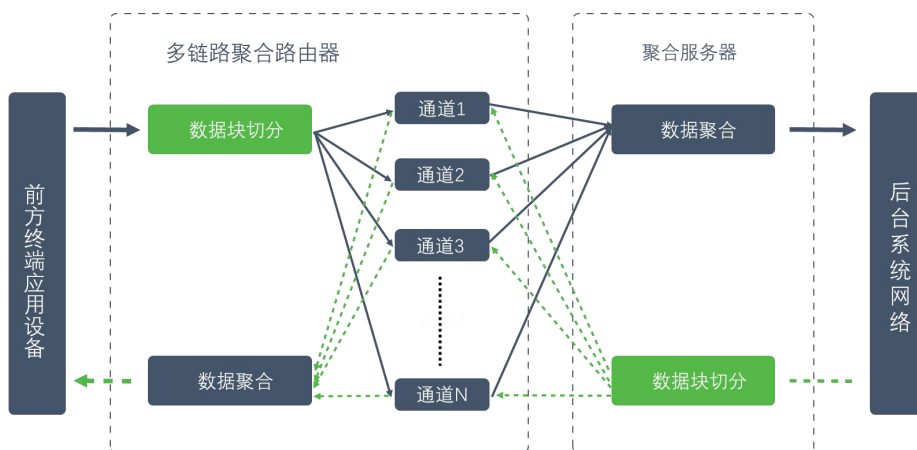


图7 ISSP多路聚合数据传输示意图

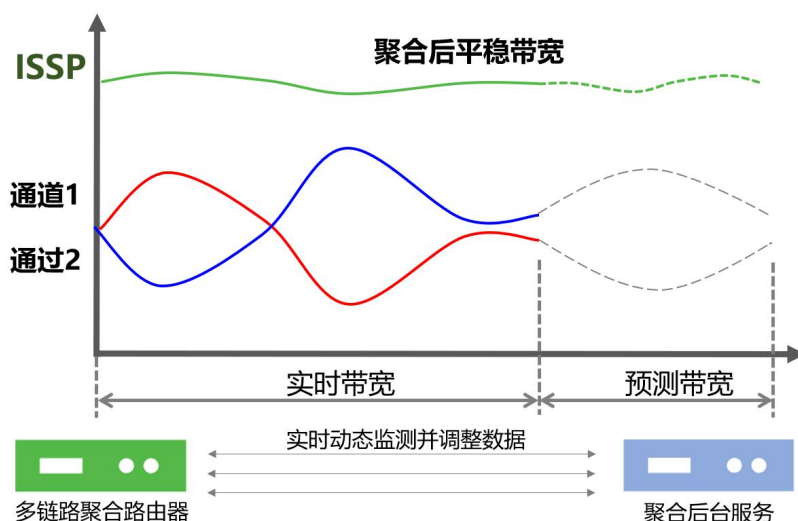


图8 聚合链路平稳带宽

同时，ISSP 协议为一个端到端传输方案，除了基础的多链路复用以外，还加入了更多针对视音频业务在 5G 及互联网的传输优化：

- **AL-FEC**：前向纠错技术，传输端数据加入纠错冗余包，接收端通过冗余包进行丢包纠错，区别于传统 FEC，ISSP 的智能 FEC 可以根据网络情况动态调整冗余包比例，以达到更有效的网络利用率。
- **ARQ**：重传技术，可以再接收端无法还原数据包的情况下，通知传输端，在直播的缓冲时间内，把丢的数据包进行重传，从而不影响直播正常运行。
- **带宽预测**：根据现有的网络情况，进行实时的带宽预测，便于通知前端编码器进行码率调整，同时配合多网聚合技术，进行每个传输链路合理的带宽分配。
- **多网聚合**：ISSP 核心技术，可有效利用所有 IP 链路进行数据负载均衡传输。传输端把数据分割为适合当前不同链路传输的小数据包，在接收端再对这些小数据包进行重新整合。并且还可以结合上述的 FEC、ARQ 等技术一起使用，进一步提高直播质量和稳定性。

- 动态数据调整：ISSP 核心技术，可根据实时网络带宽情况，结合带宽预测，进行动态的数据的分割调整分配到不同的网络 IP 链路中。同样数据包的分配中，会包含上述 AL-FEC 和 ARQ 的数据结合使用。

### 3.3.3. ISSP 协议小结

根据系统性的测试和对比分析，ISSP 相比较其它单路传输协议，具备了多网多路聚合能力，能够动态分配数据，更适合在以 5G 为主的网络波动相对较大的无线网络传输，可以有效的应对 5G 移动通信网络链路波动的各种问题。

- 相比较传统传输协议，加入 AL-FEC 和 ARQ 机制，确保每个传输链路具备抵抗网络丢包和抵抗网络抖动、延时的能力。针对任意 5G mmWave 的网络链路突然小范围波动时，都能有效的进行数据还原，确保直播顺利。
- 通过多链路聚合机制，可以有效的聚合多个 5G mmWave 的网络链路，进行实时的传输数据负载分配。这样在任意 5G mmWave 突然大范围波动（如 5G 信号遇到遮挡），甚至信号丢失时（如运动中切换基站，或者某个 5G CPE/模组故障），都可以进行数据的从传和正常还原，确保直播顺利。
- 自动带宽预测和分配机制，可以保障以上的数据纠错、从传，以及数据聚合，都能根据业务需要自动完成。这样既可以确保各个 5G 网络的有效利用，又可以确保直播业务的自动安全保障。

## 3.4. 生态链关键企业调研

随着 5G 全方位赋能，“信息视频化、视频超高清化”已经成为全球信息产业发展的新趋势。从增长和规模来看，据预测，到 2022 年底，超高清占视频点播 IP 流量的百分比将高达 35%，我国超高清视频产业规模将超 4 万亿元；2021 年东京奥运会，中国央视和日本 NHK 均实现了 8K 赛事转播。2022 年春晚、2022 年北京冬奥会已明确将采用 8K 超高清直播。由此推测，未来最受瞩目的体育赛事直播，包括奥运会、世界杯等，将均采用超高清制作传输。业界对超高清视频业务上行需求的增长不断攀升，中国超高清视频产业发展拥有难得的机遇，同时

这也给网络上下行速率及容量带来巨大的挑战。本章从毫米波通信产业、超高清编码器和基于 5G 的超高清视频回传几个方面调研了产业的成熟度。

### 3.4.1. 毫米波移动通信产业链成熟度

根据 GSA 在 2021 年 5 月的研究报告显示[3]，5G 毫米波网络在全球进展非常迅速。

- 来自 45 个国家和地区的 148 个运营商正在考虑毫米波部署的相关事宜(测试、频率购买和部署)
- 来自 22 个国家和地区的 132 个运营商(包括区域运营商)已经在各自运营的区域获得毫米波频率
- 全球来自 16 个国家和地区的 28 个移动运营商已经正式宣布部署毫米波商用系统。
- 全球 19 个国家和地区已经宣布将在 2022 年底之前正式分配 24GHz 频率。
- 112 款终端宣布支持 24GHz 以上的毫米波频段,其中 70%以上的终端已经商用。

### 3.4.2. 超高清编码器成熟度

随着超高清视频产业的成熟,从 2018 年足球世界杯开始,8K/4K 视频拍摄和制作已经成为更大赛事的“标配”。同时,基于 JPEG-XS 编解码格式的 8K/4K 纯硬件产品已经迭代了几代。例如,波视公司的 VFN28 编码器,在国际上已经有很多的大型赛事实际应用案例。在比赛场馆拍摄的超高清视频经过制作域的编码器压缩,以最低的时延分别经过场馆周边的转播车和远程的 IBC 信号中心,进行编辑、包装后再以 H.265 等格式分发或上星传输。现场与转播车和信号中心间铺设专用的宽带光纤,以达到视觉无损的 8K/4K 视频的几近实时的传输。

图 9 显示比赛现场的 8K 信号传输应用,赛事现场的 8K 摄像机与场外的转播车间距离在 20km,赛场与 IBC 中心的距离超过 50km,经过 JPEG-XS 格式编解码传输后,现场与转播车和 IBC 中心的信号时延控制在 40ms 以内。



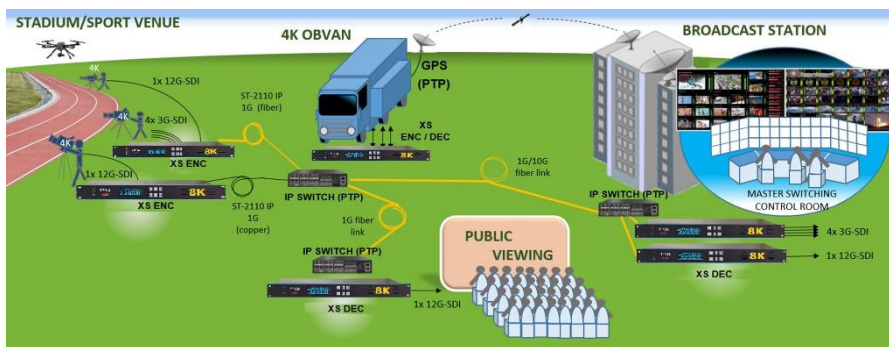


图9 基于 JPEG-XS 8K/4K远程传输产品在大型赛事的应用

中央电视台于 2021 年 4 月进行了 8K 信号的无线微波传输的链路测试，波视公司根据无线微波传输带宽的限制，将 8K 视频以 JPEG-XS 34: 1 或 40: 1 的压缩码率进行不同地点的远程传输，实际测试的整个无线传输系统的最终时延为 50ms。

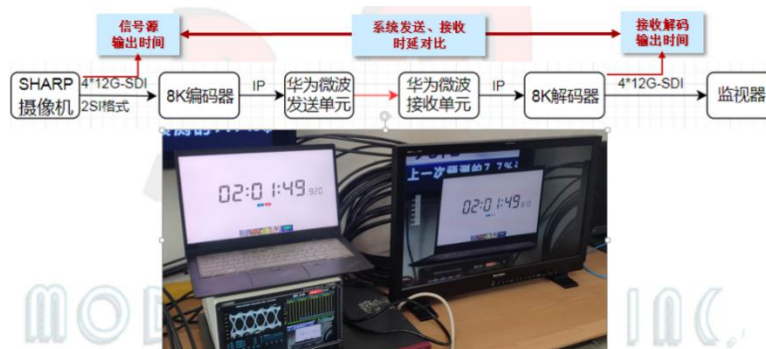


图10 基于 JPEG-XS 8K 无线微波传输的实际应用

目前基于 5G 毫米波商用终端传输可提供的大约 900Mbps 的上行数据带宽，通过将 JPEG-XS 的压缩比率配置为 60: 1，传输信号大约是 600-700Mbps，理论上已经可以通过 5G 毫米波网络承载。

播出域广泛采用 H. 265, AVS 等深压缩协议，目前在移动终端普遍采用 MPEG H. 264、H. 265 等系列协议，在电视和机顶盒等传统广电播出领域，AVS 协议被广泛应用。国内编码器企业目前已具备提供支持 8K 的 H. 265 和 AVS2/AVS3 编、解产品能力，并经过国内市场的检验。



### 3.4.3. 基于 5G 的超高清视频移动回传成熟度

随着 5G 网络的日益成熟，5G 在广播电视和媒体业务的应用也越来越广泛。最常见的 5G 背包直播，已经在各大国家级、省/市级乃至区县级电视台所使用，用于新闻、体育、娱乐、民生等频道，实现各类实时、便携的 5G+4K/HD 的广播级直播。

5G 多网聚合路由器可以提供高质量、高稳定、低延时、可移动的宽带网络，让 5G 网络应用进一步深入到广电媒体的直播体系内部。用于包括车载制作、远程制作、云端制作、风景慢直播等各个领域。

以上的 5G 背包和 5G 多网聚合路由的应用，根据调研统计，已经应用到包括中央广播电视总台、新华通讯社、上海文广集团、浙江电视台、福建电视台、山东电视台、湖南电视台、山西电视台、福建电视台、广东电视台等等各大电视台的制作系统中。

## 4. 典型传输案例

### 4.1 基于 5G 毫米波 8K 视频端到端传输演示

毫米波通过大带宽、MIMO 等诸多增强技术，可以提供吉比特以及更高的上行传输速率。2021 年 5 月，联通、中兴和高通的互操作测试中达到了 920Mbps，这使得 8K 视频通过移动通信链路上传成为了可能[2]。2021 年 5 月，中国联通、中兴、高通、TVU 四方在实验室环境下成功在 26GHz（n258）频段上完成了全球首次基于大上行帧结构（DSUUU）的 5G 毫米波 8K 视频上行传输业务测试。

演示由中兴通讯的 5G 毫米波基站提供现场网络环境，TVU Networks 的 5G 多网聚合路由器通过搭载高通骁龙 X55 5G 调制解调器及射频系统和高通 QTM527 毫米波天线模组的 CPE 形态的测试终端提供的 5G 毫米波连接，将超高清相机实时采集的 8K 视频由超高清编码器进行编码，通过 5G 毫米波连接实现稳定的回传。

此次测试采用高低频协同组网方式，通过将低频和毫米波结合，单用户上行带宽达到数百兆赫兹，通过 UL MIMO、上行 64QAM 调制，上行峰值速率 920Mbps。由于采用了 DSUUU 帧结构，上行占比约 63%，相对于 DDDSU 的帧结构，上行能力提高约 3 倍。同时，空口时隙长度低至 0.125ms，相对于 Sub-6G 网络的空口时延显著降低，能够满足 5G 空口时延小于 1ms 的时延要求，更加适用于 5G 工业物联网、AR/VR，云游戏，赛事转播等场景。同时，下行通过载波聚合技术实现了 800MHz 带宽传输，峰值速率达到了 1.8Gbps。上行和下行均可满足 8K 视频的大带宽传输。

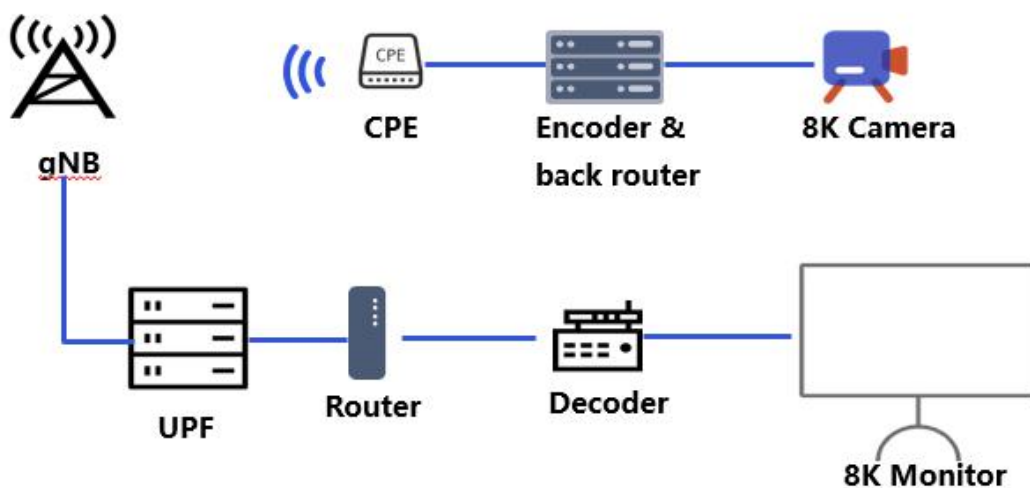


图11 5G毫米波演示系统示意图

## 4.2 基于 5G 毫米波网络应用的延展性讨论

在 5G 商用以来，通过 5G 网络回传目前主流的超高清和 4K UHD 信号已经成为高清、超高清视频制作的热点。随着 8K 编码和制作业务日趋完善，同时待 5G mmWave 正式商用后。可以作为未来 8K UHD+ 5G mmWave 的业务发展方向。

## 4.2.1. 各类移动直播报道

为摄像机、导播台、编码器提供稳定户外移动的大上行带宽网络



已商用 5G 应用的主要业务形态，目前采用 HD/4K 摄像机+编码器+5G 聚合路由的上行模式为主。同时便携式业务会把编码模块和 5G 聚合模块集成，采用 5G 背包和 5G 手机的形式。但限于目前编码技术和 5G 模组工业化，5G 背包和 5G 手机仍以 HD/4K+Sub-6 5G 为主，可作为未来 8K+5G 的延伸参考应用。

### 典型案例：央视全球新闻 PGC 4G/5G 采集传输应用



央视新闻新媒体



CCTV13 新闻1+1



CCTV13 东方时空



CCTV4 今日关注



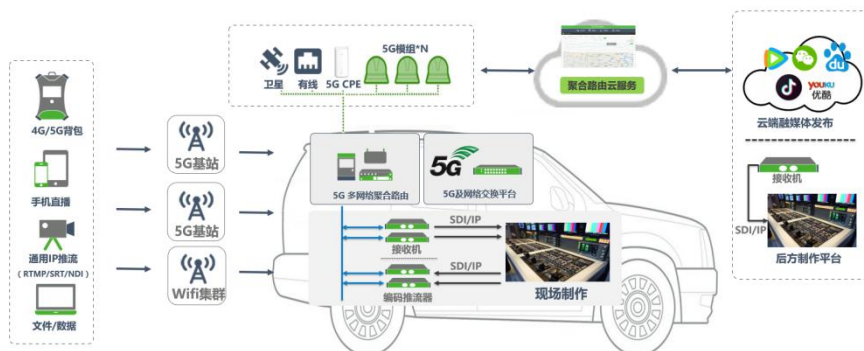
CCTV2 央视财经



CGTN

5G 背包和手机传输在央视各大频道已广泛使用。尤其在疫情期间发挥重要作用。

### 4.2.2. 外场制作/车载制作

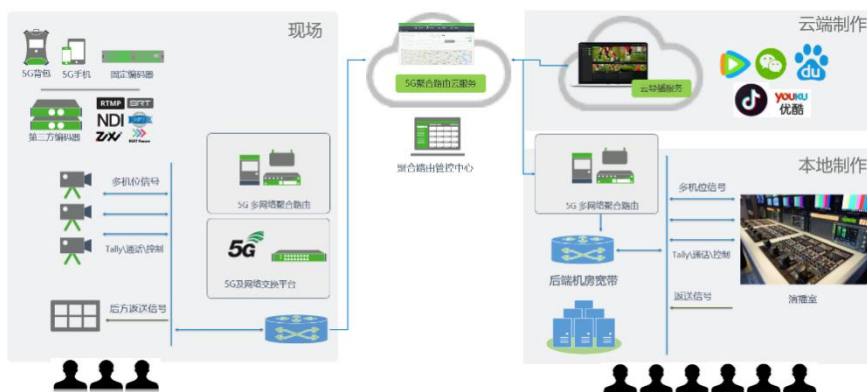


通过 5G 聚合网络，快速现场搭建高速、稳定、低延时的制作网络，提供给车载/箱载系统，用于接收和发送各类 IP 化视音频信号和数据信号，面向各类传统媒体和融合媒体的制作发布。

典型案例：浙江日报天目新闻 5G 直播车-参加活动“沿着高速看中国”



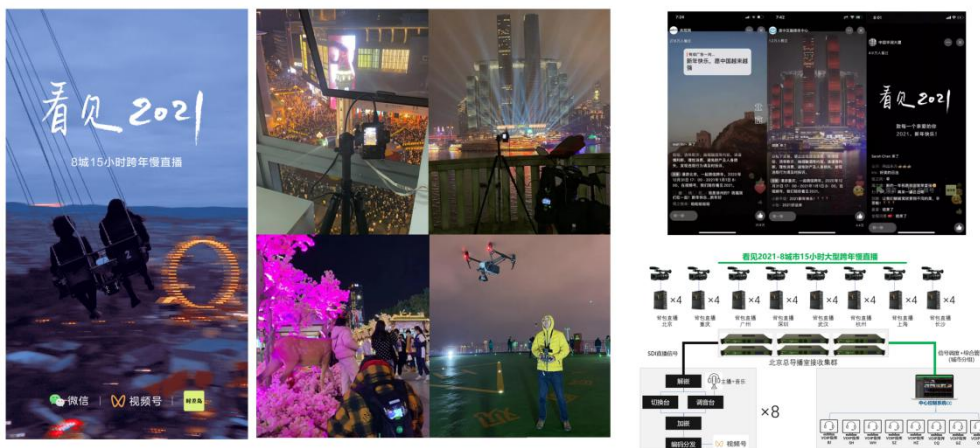
### 4.2.3. 远程制作





通过 5G 网络，快速现场搭建高速、稳定、低延时的网络。用于把现场的各类信号传输到后端制作系统。减轻前方制作压力和成本投入，并可更好利用后方制作资源。

#### 典型案例：时差岛 2020~2021 年，8 城市 15 小时大型跨年活动—全 5G 机位直播



8 个城市长达 15 个小时的慢直播业务，近 30 个机位，全部采用 5G 传输到后方制作。

#### 4.2.4. 风景摄像头慢直播

慢直播类业务最初应用是为了迎合观众足不出户的观赏各地的美景和风情。在 2020 年初的武汉“火神山、雷神山应急医院建设直播”达到了慢直播业务的顶点，大约有两亿人次通过手机等各种终端观看医院建设的直播。



通过 5G 网络，实现 UHD 风景摄像机或 VR360 全景风景摄像的慢直播传输。

### 典型案例：2021 服贸会 5G+4K 首钢园风景摄像慢直播



通过 5G 网络，传输首钢园 4K 风景摄像头到服贸会 IBC 新闻中心

## 5. 结束语

随着 5G 的商业部署逐渐推进，以移动链路传输 4K、高清视频得到了广泛的应用。特别是以 5G 背包为代表的视频回传技术已经成为了视频制作和 5G 移动通信结合的典型案例。被广泛应用到了移动直播报道、外场制作、远程制作和各种专业级直播等领域。5G 毫米波可以提供吉比特每秒的上行带宽，可以预期将会在回传链路提升 4K 视频画质，并解锁 8K 超高清回传、远端制作等先进用例。

本白皮书首先分析超高清 8K 视频业务需求的增长潜能，然后基于毫米波网络提出 8K 视频应用端到端使能方案，并基于当前的 4K 超高清视频应用给出传输案例的预期。为促进以 8K 视频应用为主的超高清直播应用、远端制作、VR/AR 应用为行业提供更多经济、娱乐价值，需要从以下几个方面进一步推动。

**部署应用方面：**现有通过光纤进行 8K 视频直播、转播应用较为成熟，在国内外大型赛事、晚会、演唱会等平台均有部署。但由于位置较为固定，8K 视频制作通常是固定机位。预期未来需要立足 5G 及 5G 毫米波技术，借助科技创新环境，积极探索 8K 创新技术和方案，争取实现 8K 制作“剪辫子”，稳步推进成熟、便捷的 8K 视频端到端方案的应用及部署。

**网络方面：**在本白皮书 8K 视频典型传输案例中，DSUUU 帧结构配置的 5G 毫米波网络支持最大 200MHz 单带宽能力，通过多个载波聚合可以实现超大带宽传输。下一步首选应考虑推动上行速率的进一步提升，可以通过传输较低压缩比的视频改善视频显示效果。同时，预期 8K 视频的大规模应用将对运营商的核心网、传输网、无线网带来容量冲击。需进一步提高网络容量，降低网络端到端时延、抖动。考虑 8K 视频应用的专网为主场景部署，还需结合标准进展，推动毫米波和低频协同部署研发与试验。

**技术方面：**需推动 DDDSU/DSUUU 帧结构的灵活转化与技术成熟度；需提高 UL MIMO 技术的成熟度与应用；需提高 CPE 终端、手机终端、摄像机、VR/AR 等 8K 视频应用重点的移动性能力增强，同时需开发高功率终端（HPUE）。



标准协议方面：现有 8K 视频端到端应用方案采用的是 H.265 和 AVS3 的深压缩编解码协议，具有编码时延较大的问题。下一步可进一步推动浅压缩协议的应用，降低“屏到屏”的时延，推动 5G 在超高清视频制作域的应用。

8K 超高清视频产业发展目前仍主要处于产品早期研发以及小规模试用阶段，尚未有明确的规模化商业需求产生。近两年的 8K 应用示范以展示型案例为主，8K 超高清全面落地仍然需要时间。8K 超高清应用存在内容制作成本居高不下，家庭级 8K 终端数量少，且下游变现渠道窄的问题。这进一步导致了制作方和传播方的投入积极性都较弱的局面。从产业链各方的基本共识来看，基于大型事件型短路径直播带来的商业机会将成为早期阶段的主流，如 8K 影院直播、8K 体育直播、8K 综艺直播等，另外 2022 年北京冬奥会和杭州亚运会也将进一步加速 8K 超高清视频应用落地。不过，总的来说，各方仍需要在短期内产业链各环节成本相对较高的基础上，探索相对可靠的商业模式和盈利闭环。

根据研究视听产业发展历程可以推断，4K、8K 两种超高清视频模式在相当长一段时间内，不会是相互取代的简单迭代关系，而是各有所长、在 5G 时代并存，并将逐渐在各自的领域衍生出丰富的应用场景。但是相比之下，8K 在大尺寸屏幕观看、对临场感和沉浸感要求更高、对追求极致视听感受以及寻求更精密影像数据等方面，有无可比拟的优势。此外，目前 VR 内容制作相对成熟，VR 的应用场景，包括：VR 游戏、VR 购物、VR 教育、VR 社交、VR 直播、VR 旅游、VR 医疗、VR 工程、VR 房产等；可以预见，基于 8K VR 内容会率先形成规模商用，而前期 VR 的终端呈现则通过 FOV 等方式展示 4K 或 1080P 内容，待 8K 内容拍摄及终端呈现设备均具备 8K 能力后，才能实现真正的 8K VR。

同样在 ToB 行业领域，如 8K 视频监控、8K 远程医疗、8K 视频会议、8K 机器视觉巡检等应用场景被不断提及，超高清视频技术通过提供超高精细显示、多视角/全景呈现，与行业专业技术结合，可大大提升各行业领域能力水平，进而带动 ToB 领域的规模商用。

## 参考文献

- [1] 中央电视台总台，《8K超高清电视节目制播技术要求（暂行）》，2021年1月21日。
- [2] 2020年5月21日，IMT-2020（5G）推进组5G毫米波测试计划取得里程碑进展 成功完成5G毫米波大上行帧结构的8K视频回传业务，  
<https://www.qualcomm.cn/news/releases-2021-05-21-0>
- [3] mmWave Bands 24.25 GHz: May 2021,  
<https://gsacom.com/paper/mmwave-bands-24-25-ghz-may-2021-executive-summary/>
- [4] Yiqing Cao: "Live 8K production using 5G mmWave",  
<https://www.5g-mag.com/post/follow-up-workshop-media-production-over-5g-npn-deep-dive-into-protocols>

## 致谢

本报告在撰写过程中收到来自以下高校，研究机构和公司专家的大力支持和贡献，在此报告完成之际，表达诚挚的感谢。

4K Garden - 4K 花园	于路 (Lu Yu)
ABS - 广播电视科学研究所	张宇 (Yu Zhang)
Arcvideo - 当虹科技	陈家兴 (Jiaying Chen) 石小明 (Xiaoming Shi) 竺科迪 (Kedi Zhu)
B&M - 波视	王兆春 (Violet Wang)
CU - 中国联通	张忠皓 (Zhonghao Zhang) 高帅 (Shuai Gao)
Qualcomm - 高通	曹一卿 (Yiqing Cao) 李俨 (Yan Li) 李永刚 (Richard Li) 李震宇 (Zhenyu Li) 张文涛 (Wentao Zhang) 杜志敏 (Zhimin Du) 关向凯 (Xiangkai Guan) 朱泽瑞 (Robin Zhu) 陈波 (Bo Chen)
TVU Networks - 上海通维	武智 (Zhi Wu) 王静 (Jing Wang) 李博文 (Pokemon Li) 申欣 (Xin Shen)
ZTE - 中兴	郝瑞晶 (Ruijing Hao) 刘耀东 (Yaodong Liu) 沙俊杰 (Junjie Sha) 尹芹 (Qin Yin) 王金东 (Jindong Wang)

