

5G视频上行传输 应用与挑战

WHITE PAPER V8.0
2021.08



5G 视频上行传输应用与挑战

目录

前言	5
1 5G 视频上行传输的应用场景	6
1.1 视频上行传输的场景分类	6
1.2 广电级内容生产	6
1.2.1 专业内容生产制作领域的常见传输方式	6
1.2.1.1 基带有线传输	7
1.2.1.2 IP 有线传输	8
1.2.1.3 无线传输与 5G 带来的改变	9
1.2.2 5G 技术与专业制作领域应用结合	10
1.2.2.1 制作域的高码率要求与 5G 视频上传的局限性	10
1.2.2.2 5G 技术与云制作流程的结合	12
1.2.2.3 5G 技术在转播领域的应用	13
1.2.3 广电融媒体领域的创新	15
1.2.3.1 县级融媒体的快速发展	15
1.2.3.2 5G 技术在移动采编上的应用	15
1.2.3.3 5G 技术与融媒体产品的创新	17
1.2.4 5G 技术在广电领域的面临的机遇与挑战	18
1.3 移动互联网直播	19
1.3.1 5G 技术在互联网直播领域的发展	19
1.3.2 5G 技术在电商直播领域的应用	19
1.3.3 5G 技术在企业级直播领域的应用	20
1.3.4 互联网流量时代 5G 面临的商机与挑战	21
1.4 行业视频应用	22
1.4.1 5G 技术垂直行业的应用	22
1.4.2 5G 技术与无人机的应用	23

1.5 5G 视频应用场景总结.....	24
2 5G 视频传输相关技术.....	24
2.1 5G 视频传输系统架构.....	24
2.2 5G 无线网络上行传输技术.....	26
2.2.1 5G 无线上行能力综述	26
2.2.2 5G 700MHz 对上行的能力增强与 26GHz 的应用探讨.....	28
2.2.3 5G 网络切片能力	30
2.2.3.1 无线网络切片能力.....	30
2.2.3.2 5G 承载网络切片能力	31
2.2.3.3 5G 核心网切片能力	32
2.2.4 5G MEC 边缘计算技术的 QoS 控制方案	32
2.3 流媒体协议与回传技术	35
2.3.1 流媒体回传综述.....	35
2.3.2 RTMP (Real Time Messaging Protocol, 实时消息传输协议)	36
2.3.3 WebRTC (Web Real Time Communication, 网页实时通信)	37
2.3.4 NDI (Network Device Interface, 网络设备接口)	38
2.3.5 SMPTE ST2022-6 和 ST2110	40
2.3.6 ZIXI 协议.....	43
2.3.7 RIST (Reliable Internet Stream Transport, 可靠的互联网流传输协议)	45
2.3.8 SRT (Secure Reliable Transport, 安全可靠传输)	47
2.3.9 GB28181 协议	48
2.3.10 ONVIF 协议.....	51
2.3.11 RTMP, WebRTC, ZIXI, RIST 和 SRT 的对比分析	52
2.3.12 5G 视频上行传输技术总结	54
3 5G 视频传输技术的挑战.....	55
3.1 视频在无线网络传输中的“痛点”	55
3.2 视频在无线网络传输中的“痛点”对策	56
4 5G 视频上行传输实测案例简析	65

4.1 SRT 协议在无人机图传应用案例.....	65
4.1.1 无人机地面 2C 的公网下 RTMP 协议和 SRT 协议的时延对比.....	67
4.1.2 无人机空中 2B 的专网下 RTMP 协议和 SRT 协议的对比.....	68
4.1.3 无人机“单航线” SRT 协议测试;.....	69
4.1.4 RTMP 协议与 SRT 协议对比结论:	71
4.2 RTMP 和 SRT 在移动网络传输性能比较 (5G 融媒联创实验室测试数据)	71
4.3 5G 毫米波 (26GHz) 8K 视频上行传输测试	72
5 5G 视频上行传输应用总结与展望	73
缩略语	74
参考文档.....	77
致谢	79

前言

3GPP TS 22.261[1]描述了 5G 系统的业务和操作一般要求，包括对非公共网络的要求。3GPP TS 22.263[2]描述了通过 5G 系统(包括 UE、NG-RAN 和 5G 核心网络)，面向视频、图像和音频(VIAPA)的专业应用服务和性能要求。3GPP TR 22.827[3]描述了大量媒体制作不同应用场景的不同用例，描述了相关的使用案例，并针对 5G 系统提出了相应的潜在服务需求，以支持视听内容和服务的生产。同时，先前的工作评估了本地应用程序的某些方面，例如，超可靠的低延迟和时间同步需求。

2015 年以来直播平台兴起，带来消费者行为和电商营销方式的巨大变革。2020 年中国在线直播用户规模达到 5 亿余人，涵盖了游戏直播、秀场直播、生活类直播、电商直播，教育直播等等，观看直播逐渐成为人们的上网习惯之一。受 2020 年的新冠病毒疫情影响，远程教育和远程办公用户数量增加。其中移动用户数量占比不仅较大，而且对视频业务上行需求的增长也在不断攀升。另外，一些 2B 的行业的专业用户对视频“大上行”的需求也在不断上升。同时，随着 5G 通信网络的建设和应用场景的探索，视频传输和机器视觉等是行业的典型应用场景，均存在着对“大连接”和“大上行”能力的需求。视频清晰度从标清，高清到超高清，上行速率也将从 1.5Mbps 达到 25Mbps，甚至到 80Mbps 以上。视频回传在大部分场景应用中是多点并发，因此对小区总体的上行容量也将呈指数级上升。

在机器视觉应用场景中，为提升更高的机器视觉的辨识度并保障安全性，对图像低时延要求苛刻且不能有图像质量损失，同时图像精度和帧率要求也在提升，因此，对上行能力的总体需求也将逐步提升。

由于各个运营商的 RF 频谱带宽相对有限，通常以下行能力为主，上行为辅，不能满足某些应用场景的“大上行”视频上行需求。业界除通过在 SUL 上行增

强[4]，上行载波聚合等来提升上行能力。同时，还可以从多频段组网、小区分裂以及毫米波组网等方式来进行上行能力提升。

本白皮书主要阐述 5G 视频上行传输的应用场景和系统架构、MEC 应用、视频压缩编码与流媒体传输协议等关键技术，实测案例分析与应用展望。

1 5G 视频上行传输的应用场景

1.1 5G 视频上行传输的场景分类

通常，5G 视频上行传输的应用场景可以分为广电级内容生产、互联网直播和行业视频应用。

表 1 5G 视频上行传输的场景分类

场景分类	典型应用
广电级内容生产	影视拍摄及制作，赛事转播，新闻采访；
移动互联网直播	新媒体直播、电商直播，互联网主播，网红直播，旅游文化休闲直播等；
行业视频应用	视频监控，无人机测绘拍摄，机器视觉的工业应用等；

视频上行业务场景种类繁多，各场景下的业务特性、视频编码方式，封装与传输方式，QoE 等均有所不同，与之相对应的技术实现方案及组网架构也有所不同。同时，对网络带宽和时延要求也有所不同。

1.2 广电级内容生产

1.2.1 专业内容生产制作领域的常见传输方式

目前在专业内容生产制作领域，广电内容制作和信号处理设备之间的连接，主要有三种方式：基带有线传输、IP 有线传输和无线传输（微波、卫星，4G/5G 等）。

1.2.1.1 基带有线传输

基带有线传输，是广电领域从标清时代就开始采用的传输和连接方式，通过采用 BNC 接口的同轴电缆，传输非压缩的 SDI 信号（SDI: Serial Digital Interface, 串行数字信号，由 SMPTE 组织制定的一种数字视频接口标准，用于传输未压缩、未加密的数字视频信号）。按照传输速率，SDI 接口通常可分为以下几类（只列举最常见的）：

标准	接口	发布时间	传输速率	最高支持视频格式	传输距离
SMPTE 259M	SD-SDI	1989	143 Mbit/s, 177 Mbit/s 270 Mbit/s, 360 Mbit/s	625i50,525p59.94 480 60i, 576 60i (SD)	<560m
SMPTE 292M	HD- SDI	1998	1.485 Gbit/s, 1.485/1.001 Gbit/s	720p60,1080p30 720 60P, 1080 60i (HD)	<180m
SMPTE 424M	3G-SDI	2006	2.970 Gbit/s, 2.970/1.001 Gbit/s	1080p60 1080 60P (HD)	<120m
SMPTE ST- 2081	6G-SDI	2015	6 Gbit/s	2160 30P (4K)	<170m
SMPTE ST- 2082	12G- SDI	2015	12 Gbit/s	2160 60P (4K)	<110m

表 2 SMPTE 数字视频接口标准

注：上表传输距离参阅 BELDEN 公司[5]的 SDI 电缆性能，SD-SDI 传输距离仅列出了 360 Mbit/s 时的最大传输距离。

基带信号传输，通常对原始视频采用 4:2:2 亮色采样及 10bit 量化，但不信号进行数字压缩处理。因此，在视频信号处理链路中，即便是对于高数据量的 4K 视频制作，设备间也不会对视频压缩和解压缩增加延时，从而保证了信号传输处理的高效性。

随着视频分辨率的不断提升，基带信号和 SDI 传输方式的传输速率普遍被认为趋近于物理极限，即 12Gbps。当前单线缆最多支持到 4Kp60 标准，而 8K 内容的制作系统，则需同时采用 4 根 12G-SDI 线缆来传输一路 8K 信号。基带传输能力的限制，增加了系统连接和调整的复杂度，也导致系统风险系数升高。（传输距离有限，对电缆要求高，且容易接线顺序错误等）。

另外，基带结构，基本上都是单向传输，设备间如果存在多种信号的交换需求（视频、音频、控制、同步等），就需要多线缆连接。随着目前大型现场节目的复杂度越来越高，对于转播制作系统调整和机动性的要求也越来越高。

1.2.1.2 IP 有线传输

随着数字技术的发展，以 IP 网络传输取代 BNC 线缆传输，采用 IP 网络架构替代传统的基带系统连接，是专业内容制作领域的发展趋势之一。IP 传输结构的好处是一方面可以简化基带结构和连线的复杂度，借助 IP 网络技术实现多种信号的复合与双向传输；另一方面，IP 结构相较于传统基带展现出更为优异的带宽性能，比如传输性能高达 100Gbps 的交换机已作为新一代视音频系统路由终端替代传统的基带视音频路由矩阵，可应对单链路 8K 信号的传输需求。在此之上，甚至可以考虑提升视频采样率和比特深度（如 4:4:4、12bit 等），以实现内容制作质量的进一步升级。

IP 系统带来的另一改变，是实现了高质量远程制作的可能。不同于目前的云制作概念，这里的 IP 远程制作，是借助于专线的高带宽，实现在现场的摄像机信号，可以通过 IP 专线传给远端或异地的演播室转播系统，所有的制作和技术调整，都在远端来完成，这样同样能够大大提升现场制作的效率。

目前广电领域采用的 IP 系统，基于 AV over IP 的理念、遵循 SMPTE 发布的 SMPTE-ST2110 标准协议，将 SDI 的 AV 信号（视频和音频）转换成 IP，并同时 will 音频、视频、数据三种信号区分形成三路独立的 IP 数据流进行传输，在传输过程中可分别对每种信号进行处理。三种信号的分开与重新合并需要做到高精度的同步，为此，SMPTE-ST2110 采用 PTP 协议进行时钟校准，以确保所有音视频流的同步转换。

1.2.1.3 无线传输与 5G 带来的改变

卫星和微波，是广电领域使用最多的无线传输方式。

卫星传输，常用于播出链路，一般是负责将演播室或现场转播系统制作完成的基带节目信号，通过地面卫星车内编码器压缩编码后，再通过卫星链路实现上行转发。

微波传输，更多用于现场制作过程中，将需要移动拍摄的摄像机信号（如综艺晚会中的无线斯坦尼康摄像机，马拉松比赛中在移动拍摄马车上的无线摄像机）通过摄像机加载的微波发射适配器，借助周围高点的微波中继转发，通常由转播系统来接收使用。

考虑到发射功率、带宽、时延等因素，卫星或微波一般不会用于传输高码率视频。例如，高清 1080i 传输码率约为 8-15Mbps，而 4Kp50 约为 30Mbps。考虑到时延和现场环境的要求，微波的传输码率可能会比卫星更低。由于传输码率的局限对画质产生影响，在高要求的广电专业制作域，无线机位一般不会作为核心机位来使用，而更多是起到锦上添花的辅助作用。

5G 技术的高速率和低延时特性，使其在出现之初就已经受到内容制作域的

高度关注。特别是对于当前的有线制作系统而言，在复杂的制作现场，若采用无线技术实现高质量、低时延的信号传输，将可以大大简化线缆架设和预埋工作、节省人力成本；若搭配移动机位使用，无线传输则可以进一步丰富节目拍摄形式，解决或部分解决现实内容制作中遇到的问题，甚至可能改变现有现场制作形态。

当前 5G 网络的上行传输速率已接近 80-100Mbps。相比传统卫星和微波，5G 在传输速率及使用成本方面展现出更佳的适用性及更高的性价比。随着 5G 基站在国内的快速布设，5G 信号的覆盖范围和信号强度将逐步提升，切片等新兴技术的运用也预期将为广电信号传输的高可靠性要求提供精准的服务质量保障。

另外，视频编解码技术的不断升级，特别是针对编码效率及编码时延的进一步优化，为超高清视频信号在制作域借助 5G 进行传输提供了先决条件。在高码率和高画质得到保障的前提下，综合考虑编码延时和 5G 信道延时，对于方案设计和实际应用而言将非常重要。

1.2.2 5G 技术与专业制作领域应用结合

1.2.2.1 制作域的高码率要求与 5G 视频上传的局限性

在传统转播和现场制作域，采用基带非压缩信号进行传输可以保证最大信息量和低延时；而广电制作素材的录制，则通常会采用基于 4:2:2, 10bit 标准或更高要求的压缩编码，比如广电总局 4K 制作标准中规定的编码方式 XAVC-I, 500Mbps@4Kp50，是基于 MPEG-4/H.264 High Profile, High 4:2:2 Intra Profile, Level 4.2 or more 进行封装。虽然制作域的后期流程中，并不需要使用非压缩状态下的极高码率素材，但为了保证制作过程中高质量的数字处理精度，通常也需要采用经过浅压缩的 RAW 格式视频文件（2Gbps 及以上@4Kp50，多用于电影、广告等），或是 4:2:2, 10bit 以上的压缩编码文件。而制作完成

的 4K 成品母版，考虑到也可能用于今后的二次加工，一般也会采用制作域的存储码率来保存（如广电总局制定的 4K 母版存储标准也为 XAVC-I，500Mbps@4Kp50）。

受限于 5G 无线网络的上行带宽，未经压缩或仅经过浅压缩的视频文件难以实时回传。而压缩至 100Mbps 甚至 50Mbps 以下码率的 4K 码流，虽可通过 5G 网络稳定回传，但因采用了高压缩比的视频编码，难以再被用于高精度内容的专业制作或高效率的主机渲染。故通过 5G 网络回传的超高清码流通常会作为最终播出域的高压缩信号来使用，或仅根据需要少量用于内容制作。

根据央视总台在 2021 年 1 月发布的《8K 超高清电视节目制播要求(暂行)》中，规定了 8K 超高清电视播出信号编码压缩技术要求，视频采用 AVS3 标准，对 8K 超高清信号(7680x4320/50P/HDR)采用基准 10 位档(Profile)、10.0.60 级(Level)，视频编码码率不低于 120Mbps；超高清电视节目分发技术要求，8K 超高清电视互动点播文件的格式参数要求，编码方式采用 AVS3/H.265/H.266 Main 10，总码率大于 80Mbps。

在满足该标准的条件下，无论是针对 8K 直播信号，还是基于 8K 分辨率的 VR 直播信号，普通 5G 上行链路的实际速率，可能已经比较接近极限，对于稳定性、可靠性有一定挑战，且仅仅是满足于 8K 传输码率的下限要求。

针对更高质量的 8K 信号直播要求，运用毫米波提供更高传输速率，同时借助 MEC 提供定制化的服务需求保证，可以认为是今后 5G+8K 面向高端客户服务的标准配置。

另外，针对 4K 级别的内容，通过进一步提升 4K 码率标准，如达到 100Mbps 的 4K 蓝光盘画质级别，同样可以为高端用户提供“高端家庭影院”级别的专属服务。

毫米波所提供的高码率传输能力（100Mbps 以上上行能力及更高规格的下行能力），可以为超高清分辨率下的高端直播和内容传送服务，提供强有力保证，特别是面向商用需求，借助切片和 MEC 提供区域化的高质量服务保障，为高端院线、公共场所的新型视频服务体验，提供了强有力保证。

1.2.2.2 5G 技术与云制作流程的结合

区别于 1.2.1.2 章节中提到的远程制作，云制作通常指将节目的后期制作流程（即音视频素材的剪辑、调色、包装、渲染等环节）由本地迁移到云端。一方面，云制作可以发挥云计算的强大能力和算力，帮助提升各制作环节渲染和输出的效率；另一方面，云制作能够更好地支持多地协同作业，让更多专业人士打破空间地域的限制，达成快速、敏捷、机动的合作形态。

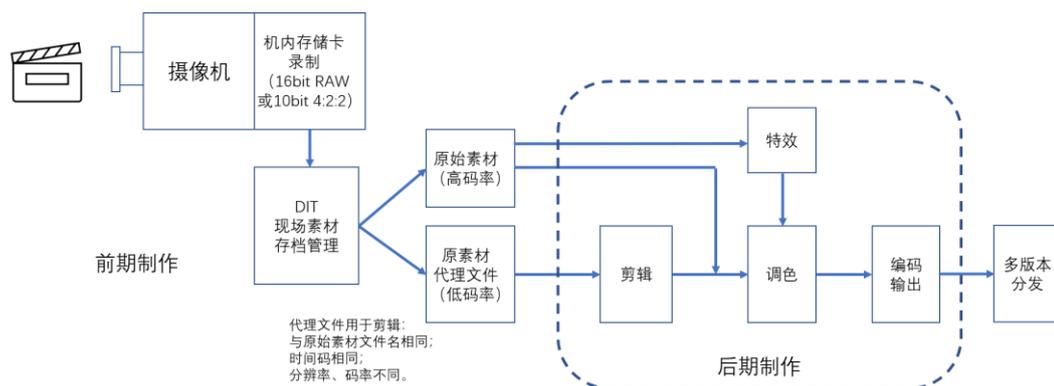


图 1 原始素材前后期制作流程

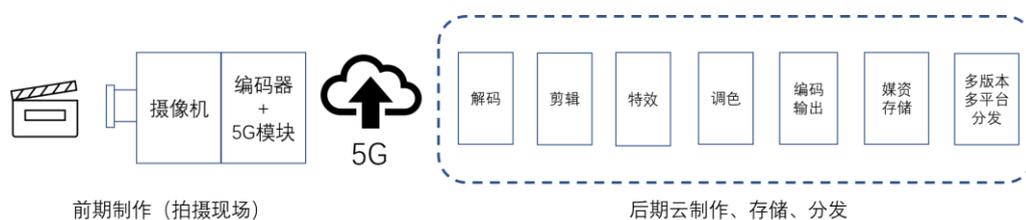


图 2 基于 5G 技术的内容云制作流程

如何将素材上传到云端，是云制作流程的第一个环节。如 1.2.2.1 章节所述，制作域特别是特效和调色环节，需要对原始素材做极高精度的控制和处理。比如，电影和广告等高级别内容制作，往往必须采用达到 12bit 到 16bit 量化级别的

RAW 格式素材，而即便是高清的 RAW 格式文件，码率通常都高达几百 Mbps，而 4K、8K 视频的 RAW 格式文件则动辄数以 Gbps 计量。

基于目前 5G 网络实际传输能力，若上行链路的实时传输速率需达到几百 Mbps，则可能需要采用毫米波段提供传输服务。以此建立起的 5G 上行传输通道，理论上可以将现场摄像机拍摄到的原始高码率素材即时回传至云端进行存储，并且直接进入云后期制作流程。但考虑到实际建设成本，为此类应用单独建设毫米波基站的方式适用性不高，采用常规 5G 链路提供传输服务将更易于应用落地与推广。在使用常规 5G 链路的方式下，一般建议将原始素材的代理文件（建议采用 50Mbps 或以下码率@1080i，用于剪辑）先传输到云端，以便即时开展远程剪辑工作。待原始高码率素材通过线上或线下方式传输到位后，再将剪辑好的工程文件用原始素材回套，得到高码率剪辑版本，并进入调色等后续制作环节。

1.2.2.3 5G 技术在转播领域的应用

在当前绝大多数的现场转播场景中，摄像机与转播系统（转播车或 EFP 制作系统）是基于固定方式布设的。诸如广播级制作中通常采用的符合 SMPTE 标准、支持供电和信号传送的摄像机光缆，可支持数公里距离内的可靠传输，是现场制作、尤其重大场合的首选传输方式。而对于游击拍摄、马车（马拉松）、水上和空中等特殊机位，采用 5G 无线传输则可摆脱有线布设的制约，丰富内容拍摄形式。

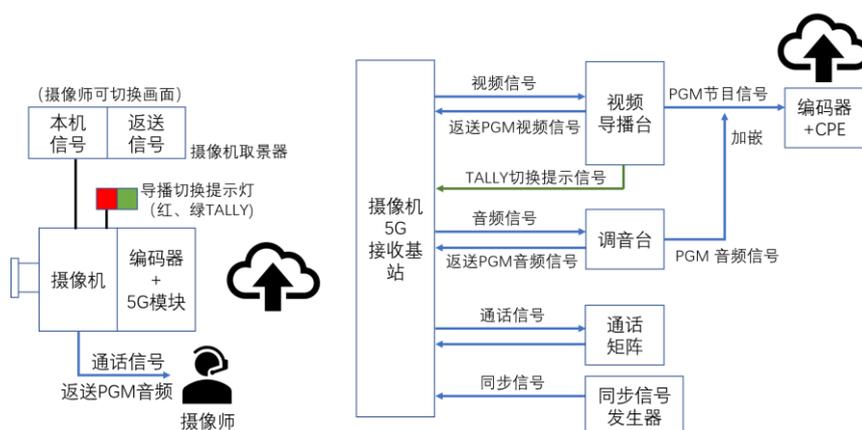


图 3 5G 转播系统信号流程图

在采用 5G 网络无线传输的情况下，考虑到现场往往存在多机位同时传输的需求，直播若采用 4K p50 的制作规格，则建议将单链路（单机位）的码率控制在 50Mbps-100Mbps 左右（10bit H.265）；若制作规格低于 4Kp50（如 4K p25/30），则码率可将至 20-30Mbps（H.265），5G 公网的上行通道资源应可基本满足要求；若制作规格为 8Kp50，则单链路码率需达到 120Mbps-200Mbps，普通 5G 公网将难以满足此类需求，需考虑使用 5G 毫米波段或修改传输网络的上下行配比。除此之外，在多机位回传的情况下，必须确保所有回传信号之间的同步，且尽可能缩短端到端时延。对于专业现场制作而言，制作的精确度对于系统延时的要求极高，后端控制不滞后于前端反应是进行远程制作的基础。与此同时，在大型转播系统中，还需考虑工种间的实时沟通、摄像师与导播之前的调度控制信令及返送信号需求，通过“互联互通”与“可调可控”，保障远程制作团队的步调统一。

面向未来 5G 应用平台，超高清现场转播近年来陆续出现了一些新型业务形态。比如，大型赛事的 4K 多视角互动直播，允许观众在不同于以往导播视角的多个 4K 视角影像中自由选择。此类新型业务形态可以充分借助 5G 网络的优势来进行机位的布设和信号回传。在多视角场景下，单个 4Kp50 的机位当前采用的主流码率约为 35-50Mbps，一般 5G 网络可满足单路回传需求；如需同时进

行多路多视角的并行传输，则需对拍摄现场进行 5G 上行的特殊保障，比如四路 4Kp50 的多视角回传，约需 200Mbps 的上行带宽，并且需要保证不同视角间画面切换时的同步性（前后画面无缝衔接）。

1.2.3 广电融媒体领域的创新

1.2.3.1 县级融媒体的快速发展

2018 年 8 月的全国宣传思想工作会议上,习总书记发表重要讲话,首次在中央级会议上提出县级融媒体中心的概念,掀起了县级融媒体中心建设热潮。2018 年 9 月 20 至 21 日,中宣部浙江长兴县级融媒体中心建设现场推进会对县级融媒体中心建设做出部署,要求 2020 年底基本实现全国全覆盖。以这样的规模进行部署,全国县级融媒体中心数量预计将达到 2300 多个。而随着媒体行业的迅猛发展,激增的数据量以及融媒体应用的多元化,5G 或将与融媒体应用相结合,成为助力融媒体业务发展的加速器。

1.2.3.2 5G 技术在移动采编上的应用

为了满足新闻发布“移动优先”的特性,当前县级融媒体中心的新闻采编普遍采用了“精编”+“快编”的模式。“快编”主要使用移动端进行采编,比如通过手机中的快编软件将图像内容直接发回到融媒体中心的视频存储服务器,再快速编辑后进行审发。快编具备内容发布快、及时性好的优点,能够满足大多数手机用户的新闻阅读需求。但因现场手机回传的视频分辨率不高,难以对视频素材进行高精度的制作,无法满足高清晰度视频内容生产的需求。因此为满足大屏端发布的高清晰度内容的生产“精编”模式的需求,需要通过高精度摄像机进行内容的采集,再通过有线或无线方式传送至后台进行专业编辑。

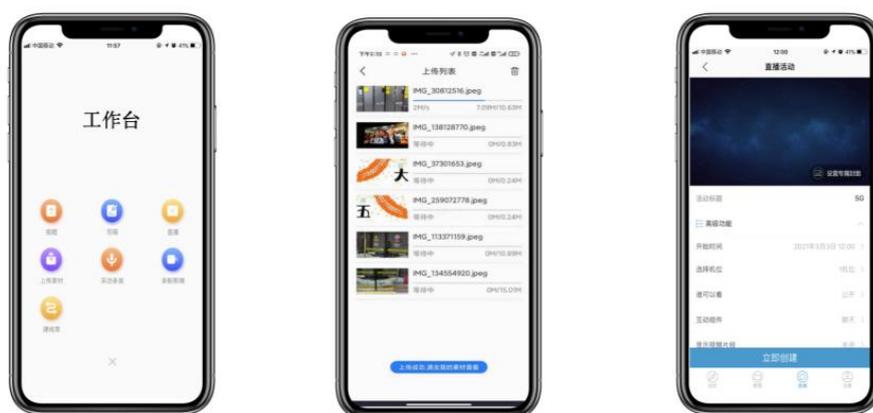


图 4 移动采编示意图



图 5 移动采编示意图

目前,新闻记者在外出采过程中进行移动采编时,主要依托**4G**网络进行拍摄、通过**RTMP**回传到省平台云空间,县级融媒体中心用户注册到系统中以后,把内容下载到本地后进行编辑。编辑后送审,审核后通过省平台或自有云平台发布。受限于**4G**网络的上行速率,高清/超高清视频的采编制作难以通过此类移动采编进行,往往还需要直播车的助力。但直播车在户外直播场景下存在灵活性、易用性的限制。**5G**网络因此被期望能在移动采编、尤其是高清/超高清视频的移动采编场景中发挥更大的优势。比如,**5G**相较于**4G**更高的上行速率,能较好地承载满足新闻播出需求的高清/超高清视频流,上行速率若从**3Mbps**提高至**20Mbps**及以上,将可有效提升当前“快编”内容的分辨率,并为终端用户带去观感上的体验升级。**5G**网络更低的传输时延,也可助力“快编”的编辑和协同效率提升。

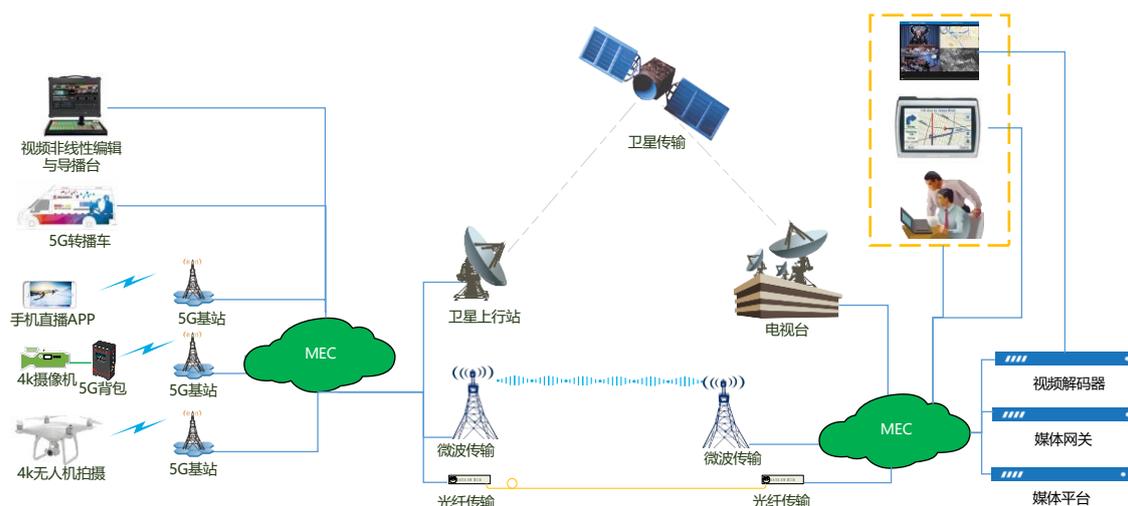


图 6 5G 超高清移动采编系统架构图

综上所述，在移动采编领域，5G 技术的应用有望解决 4G 网络上行传输性能不足、有线传输布线不便、微波传输时延过大、卫星传输成本过高等问题，其带宽、时延、容量、可靠性等方面的优势将可为高清、超高清视频的移动采播提供便利。在移动采播内容上云的基础上，通过融媒体中心的云制播实现渲染上云、运算上云，可加速制播设备云端化和人员服务远程化，降低制播门槛的同时缩减制播成本，进而提供多样化的综合融媒体服务，促进视频制播向全媒体、智能化、轻量化的方向发展。

1.2.3.3 5G 技术与融媒体产品的创新

面对日益复杂的媒体需求，传统线上线下的单机体验已不再新奇，媒体的内容展现形态在新技术的引领下不断创新与发展。VR 内容在电视端与移动端直播中同步播出、通过全息影像实现远距离全息场景隔空交互、通过无人机吊装全景相机进行多维度拍摄与实时回传、对现场高质量画面进行快速制作与发布等，这些融媒体直播中的创新，对回传网络的传输能力提出了严峻考验。例如，对于提供沉浸式体验的 XR 和全息技术来说，全方位、高帧率、低时延的内容输入是采集制作的刚需。当前的 5G 公网虽具备空间布设上的灵活性，但在超大上行、超低时延与超高稳定性方面，距离为沉浸式视频提供理想的业务体验仍有一定差距。

在直播场所相对固定的前提下,可对内容拍摄区域的 5G 上行网络进行独立保障,以达到相对高的稳定传输速率,或相对低的空口传输时延。

虽然 5G 技术与广电融媒及专业内容采编的应用结合尚处于探索期,但不可否认的是,5G 新技术的出现,正在切实推动融媒及内容制作领域的业务创新与更新迭代,为节目的制作带去了更多可能性,为技术与艺术的结合提供了契机。

1.2.4 5G 技术在广电领域的面临的机遇与挑战

广电直播格外强调安全与体验兼顾。直播过程中必须保证画面高质量、传输高稳定性,基于影视工业流程的严谨性、重要性及效率,也已经形成了成熟的工作体系,任何一个环节的演进和更替都可能对其他环节产生关联性影响。5G 所带来的优势、以及制作成本的降低,对比于流程调整可能带来的潜在风险,都可能对实践者尝试新技术的勇气和信心产生影响。因此,5G 作为一项新技术引入,一方面需要足够的论证和技术实践;另一方面,需要传统广电及影视行业的支持和推动,使得两个产业能够更加紧密地结合。

目前,在 5G 技术的引入与广电创新业务的体验要求方面,行业尚缺乏统一的标准。例如,沉浸式视频业务的时延对用户体验会产生关键影响,但时延指标会受到编码格式、传输协议、网络质量与码率大小等多个因素的综合影响,难以采用单一的网络传输指标作为考量。

虽然 5G 技术与广电融媒及专业内容采编的应用结合尚处于探索期,但不可否认的是,5G 新技术的出现,正在切实推动融媒及内容制作领域的业务创新与更新迭代,为节目的制作带去了更多可能性,为技术与艺术的结合提供了契机。而伴随 AI 技术的快速发展,在云制作领域基于人工智能开发自动粗剪、镜头检索归档等剪辑辅助功能、智能镜头匹配校准等调色辅助功能、以及智能审核校验功能等,都可能在未来加速推动视频制作流程走向云化,“5G 视频上云”的趋势是势不可挡的。

1.3 移动互联网直播

1.3.1 5G 技术在互联网直播领域的发展

伴随移动网络的发展与网速的提升，信息传递的载体由图文逐渐向视频演进。一方面，视频和直播承载着更高维的信息密度，具有实时性和互动性的特点；另一方面，伴随淘宝直播、抖音、快手等互联网直播平台的快速崛起，以短视频和直播为代表的内容形式更容易实现用户流量的汇聚，可以充分调动用户的碎片化时间。在技术条件上，随着 4G 网络的发展，视频技术已经逐步成熟，用户流量成本逐渐降低，为互联网直播的兴起提供了基础。而 2020 年的新冠疫情，则进一步加速了线下业务转型线上的趋势。

移动互联网的碎片化特性，促使应用场景成为互联网流量入口的核心。电商直播与移动企业级直播，是当前互联网直播的两大典型场景。

1.3.2 5G 技术在电商直播领域的应用

相较传统的线下营销，由图文转向视频直播模式的电商营销正在成为互联网和商家重要的营销手段和获客方式。电商直播具有可以同时兼顾 B 端和 C 端的商业模式，既结合了大众娱乐性，又能让链条上的商家、平台、主播、MCN 机构等从中盈利。采用视频直播模式的线上营销通常具有更低的营销成本、更快捷的营销覆盖、更直接的销售效果、及更有效的营销反馈。直播带货的“转化率”和“流量”，促使各大互联网公司争相入局。电商直播本质上具有三个特点：时间占比长、粘性高、具有使用排他性。增加用户时长、提升单位时间的商业价值，逐渐成为互联网下半场的迫切需求。

直播带货近年来快速发展，具有流量结构性红利。消费者从依赖于搜索的目的性消费，到导购和互动，再到“云逛街”式的无目的性消费，从“人找货”到“货找人”，消费体验日趋视觉化、情感化和互动化。每个电商直播间都是一个线上门店，视频化的呈现、主播和用户的实时互动，在带来高转化率的同时也提升了交易效率。

电商直播不仅是互联网流量的入口，也可助力 5G 网络与互联网紧密结合。当前电商直播的平均码率约为 1-2Mbps，直播呈现形式相对单一。业务的高速发展对直播分辨率的提升、直播呈现形式的多样化、直播场所的多元化及直播过程中的 SLA 保障都提出了更高诉求。当直播带货需要同时覆盖高码率输入、传输可靠性、移动性及临时性接入等现实或未来需求的时候，5G 技术便可发挥其他现有传输方式所不具备的优势。比如，在“双 11”、“双 12”等电商购物节期间，电商直播往往呈现出爆发式增长，对网络接入的需求会在短周期内激增，5G 网络在此时能有效解决有线接入的周期不灵活、4G 网络的上行速率不足等问题；再比如，越来越多的直播带货正由直播间拓展至户外、产品制造基地甚至是田间，5G 网络的广覆盖可在很大程度上为户外直播提供“第一公里”的保障。

1.3.3 5G 技术在企业级直播领域的应用

企业级直播通常指通过移动或有线网络，基于云端视频直播系统，为企业级用户提供视频直播服务。企业级直播的服务场景覆盖广泛，可包括大型活动、会议论坛、课外培训、品牌营销、婚庆宴会等，直接客户群体以 B 端行业用户为主。也因此，企业级直播有着直播质量要求高、视频采集设备相对专业的特征。根据第三方咨询机构预测，2025 年，中国企业直播的行业企业用户总数将超过 270 万家，市场规模将达 250 亿，复合增长率约 37%。

直播画质不高、传输稳定性不佳、端到端时延较长是当前用户使用企业级直播业务的共性问题。此类问题在移动场景、临时活动场景中更为突出。当前在企业级直播的过程中，较高分辨率的视频回传往往依靠背包。但背包厂商间的互通性及设备成本等问题，在一定程度上限制了直播生态的进一步拓展。

相较于企业级直播服务的现有技术实现方式，5G 不仅可打破直播服务场地的限制，也使得服务租用周期更为灵活，由此为企业级直播的移动接入、短期接入提供便利，并对直播质量起到有效保障。

与此同时，企业级直播业务有助于 5G 能力的服务型转化。企业直播的本质是以线上的方式为企业解决传统的需求。比如，传统的线下会销的本质是一对多的销售行为，而平移到线上，营销场景可涵盖广泛，云展会、云峰会、云培训、云带货等等，与各大垂直行业均可产生结合，进而覆盖各类浅层应用场景。随着企业直播的商业价值被不断挖掘，目前已在教育、金融、信息技术、传媒、电商、医疗、汽车等行业得到广泛应用。而与 1.3.2 章节中电商直播有所区别的是，企业级直播通常面向不具备任何直播能力及直播资源的垂直用户提供服务，服务必须覆盖直播全链条的前中后各阶段。以此，企业级直播重在通过聚合场景、渠道、数据，实现网络和云服务能力的商业转化。根据垂直用户对直播服务的 SLA 需求，企业级直播的服务提供商可制定不同的商业策略，实现网络及服务能力的分级化、差异化销售。

1.3.4 互联网流量时代 5G 面临的商机与挑战

4G 时代，受限于上行网络资源及技术的发展，采用移动通信网络进行互联网直播时的视频服务质量普遍不高，网络运营商在过程中也大多仅扮演管道的角色。5G 网络作为移动传输的高性能纽带，可为互联网电商直播、企业级移动直播提供更为可靠、易用性更强、服务质量更高的上行回传保障，而边缘云、切片等技术的同步发展，也将进一步推动 5G 上行业务的发展和商业模式的创新。

不同于广电直播，互联网直播强调面向全网用户的“普适性”。依托于互联网平台孵化出的直播业务种类繁多，市场规模巨大。5G 网络的建设和应用对互联网视频业务的发展可产生驱动作用，并分别体现在上行和下行两方面。其中，5G 下行网络对视频直播的驱动主要体现为流量的增加，表现方式包括：更高清（如标清到高清、4K 乃至 8K）、以及更多表现形式（如 XR、自由视角等沉浸式体验）；而 5G 上行网络将为视频内容的即时生产和回传创造极大便利，催生大量本地化、移动化、准专业化的视频直播生成，进而形成区别于 4G 的差异化

增量领域。

对移动网络运营商而言，5G 与互联网的结合，将可为网络运营商汇聚大量上行流量，并在上行领域为运营商创造能力运营、服务运营的可能；从行业生态的角度而言，5G 上行与互联网庞大流量的结合，将能加速视频上行生态的标准化和规范化。

与此同时，不同于传统广电直播，电商直播或是在线教育等典型互联网直播场景，往往需要面对百万甚至千万级在线并发、以及低至百毫秒级的超低时延交互响应的挑战。除此之外，当前公有云的传输链路及服务成本，在一定程度上制约了部分对带宽、存储需求大的直播业务实时“上云”，转而以录播、点播方式代替直播。5G 技术与互联网流量业务的结合，将会面对来自用户体验及商业模式等各方面的挑战，需要移动网络运营商与互联网云服务提供商在竞合中共谋发展。

1.4 行业视频应用

1.4.1 5G 技术垂直行业的应用

5G 商用进程的全面开启为行业数字化转型提供了强劲的驱动力。行业客户在从信息化、自动化向数字化、智能化转型的过程中，都在积极拥抱 5G 技术。GSMA 预测，2025 年 5G 连接将达到 17 亿，占连接总数的 20%；行业应用将占整个蜂窝连接的 54%，其中行业专网部署预计将达到 25-40%。5G 与垂直行业的融合应用将成为移动网络运营商和行业未来发展的业务蓝海和新经济增长点。

视频在垂直行业的数字化转型中应用广泛，但各行各业的差异性决定了其对网络的需求存在较大差异，在网络覆盖、移动性、时延、带宽、安全可靠、隔离性、部署环境等方面均存在不同需求。统一的网络架构、性能要求和物理形态，难以满足行业应用对网络的高度定制化需求。而 5G 专网可按需下沉部署在园区

机房、调整上下行配比、或将数据在本地分流和处理，为行业应用提供超大带宽、超低时延和超高可靠性的保障。

以当前典型垂直行业应用为例，在智能电网输电领域，通过无人机和 5G 视频回传进行 AI 巡检，可将原先 15-20 天的人工巡检缩短为 2 小时；在智能矿山领域，井下巡检、综采面和掘进面无人操作，均需采用超大上行 5G 专网对 4K 超高清视频进行无线回传；在工业互联网领域，实时感应、安全识别、智能决策，均可能涉及到视频数据的实时采集、回传与分析。

1.4.2 5G 技术与无人机的应用

无人机为垂直行业的视频信息采集提供了极大便利，应用空间大。电力线路巡检、交通管制和陆空协同、物流运输等各行各业都可能与无人机产生交集。

表 3 无人机的应用领域

应用领域	应用方向
公共服务	边境巡逻、森林防火、河道监测、交通管制等
能源通信	电力巡检、基站巡检、石油及天然气管道巡检等
国土资源	城镇规划、铁路建设、线路测绘、考古调查、矿山开采等
农林牧渔	农药喷洒、辅助授粉、农情监测等
应急救援	灾害救援、应急通信保障等
商业娱乐	新闻采集、电影拍摄、三维建模、物流运输等

无人机与地面的通信通常有三种目的：图传、数据和遥控。其中，图传对无人机通信能力的要求最高。传统无人机的点对点通信多采用 Wi-Fi 或蓝牙，Wi-Fi 通信通常只能控制在 300-500 米的视距范围以内，蓝牙则更短。Wi-Fi 和蓝牙的有限通信距离制约了无人机的飞行范围。网络无人机利用蜂窝通信网络即移动基站来连接和控制无人机。相较于 Wi-Fi，蜂窝基站拥有更广阔的覆盖范围，从而使得无人机的通讯更加灵活、可靠。在采用 Wi-Fi 点对点通信的

情况下，图传能力最高可达 1080p/30fps；在采用 4G LTE 网络回传的情况下，图传能力以 720p 为主。但无论是 1080p 或是 720p，在无人机航拍的场景下仍无法为用户提供足够清晰的分辨率，在应用方面受到限制。

采用 5G 网络进行无人机通信，不仅可将无人机图传的分辨率从高清提升至 4K 超高清，也使得无人机吊装 360 度全景相机、进行多维度拍摄成为可能。相较 4G 和 Wi-Fi，5G 专网在无人机的飞行数据安全保障方面也具备明显优势，数据传输信道不易被干扰或入侵。

1.5 5G 视频应用场景总结

5G 网络的建设和应用，为广电专业内容生产领域、互联网视频领域、垂直行业专网领域提供了 5G 技术与高清、超高清视频回传结合应用的可能。在回传带宽、稳定性、画质、时延等方面，相较于 4G 或 Wi-Fi 通信，5G 无疑展现出更为优异的性能；而相较于有线网络，5G 则可带来灵活接入、移动性佳的独特优势。

高清及超高清视频的稳定上传需要通信网络、视频编码与解码、流媒体传输、视频业务平台等多方面的协同。

2 5G 视频传输相关技术

2.1 5G 视频传输系统架构

随着视频业务的快速发展，众多视频流媒体传输协议不断涌现，并被用于不同的视频 workflow。在 2B 和 2C 的 5G 视频上行传输方面主要以 RTMP, Web RTC, SRT, RIST 和 ST2110 协议为主。对于视频低延迟回传与分发场景，RTMP 实时消息传递协议是最广泛使用的协议，其基于 TCP 的丢包重传能力和可调缓冲区

而享有可靠的声誉，尽管它存在着累积延迟和加密方面的问题。而伴随着互联网视频低延时，高质量的要求逐渐提升，相对而言，以 UDP 为核心的流媒体视频方式成为新的选择。SRT 安全可靠传输协议将接管许多 RTMP 使用案例在视频交付方面。RIST 和 ST2110 协议在广播级的内容制作领域越来越广泛。

对于 2C 的 OTT 视频服务，HLS 和 MPEG-DASH 最受欢迎。由于 CMAF 支持 HLS 和 DASH，如开源低延迟 HLS 项目、LHLS 或苹果自己的版本 LL-HLS，它在与其他低延迟交付协议的竞争中发挥着重要作用。

对于 2B 场景要求的低时延，高可靠，大带宽视频传输可以采用 RB 资源预留，QoS 优先级调度，专属频段等无线网络切片技术，承载网硬切片技术，核心网切片技术等，并进行 MEC 边缘云的下沉部署，实现视频的本地上传、存储、转码和分发等需求。

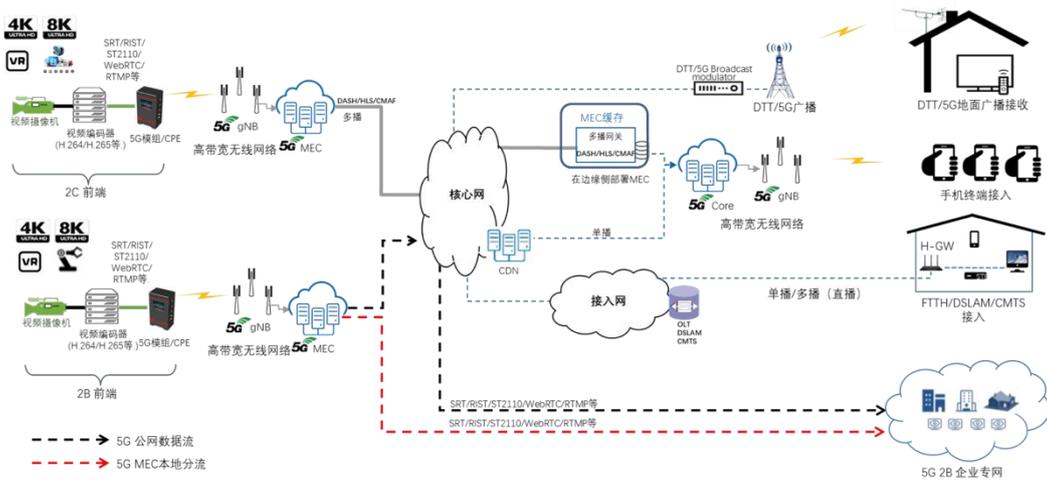


图 7 基于 5G 技术的无线视频传输架构图

根据 5G 视频内容上传与分发,考虑各项业务特性和对 QoS 的需求,5G 下的典型 eMMB 视频业务场景可归纳为三类:

视频上行传输场景：指内容生产过程中，将视频内容拍摄上行传输至制作端的场景。在该场景中如果考虑视频的高效率压缩和降低对传输带宽的需求，对时延要求相对较低，可以考虑 SRT 安全可靠传输协议。如果考虑超低时延“母盘”级的视频编辑，存储和制作，可以

考虑 RIST, SMPTE ST 2110-20 和 ST 2110-22 的传输协议。

在线直播互动场景：以基于互联网的大规模互动型在线直播为特征的在线培训、云游戏等场景，可以考虑 WebRTC 传输协议。

超高清视频点播和直播：对播出画质有一定要求的超高清沉浸式内容点播直播，包括赛事直播、VR 等。由于该场景用户数量较多，视频内容码率较高，对时延相对较低，因此可以考虑 CMAF 做为统一的视频封装传输协议。

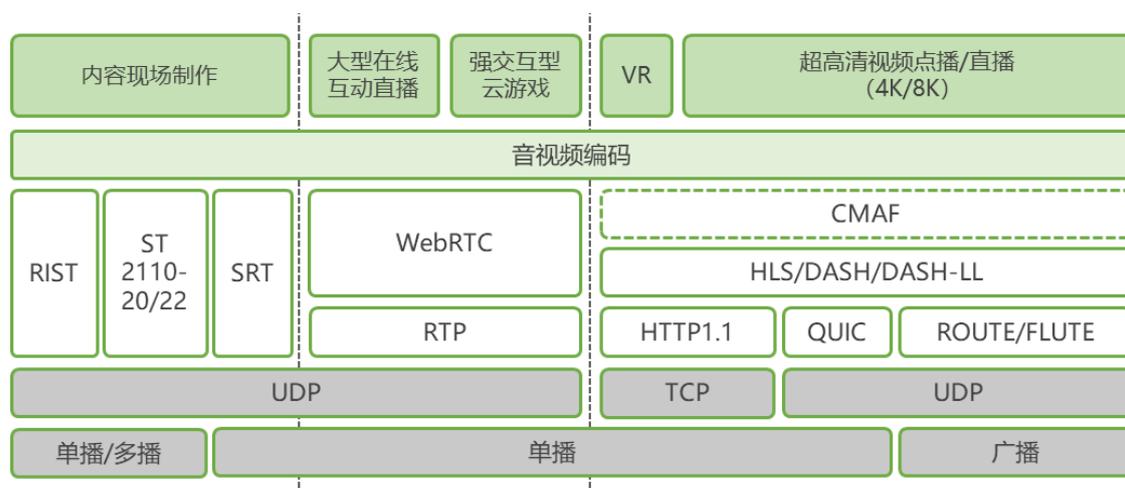


图 8 无线视频传输技术协议栈

2.2 5G 无线网络上行传输技术

2.2.1 5G 无线上行能力综述

随着 5G 通信网络的建设和应用场景的探索，视频传输和机器视觉等是行业的典型应用场景，均存在着对大上行能力（包括单 UE 上行速率以及单小区上行容量）的需求。

从现在已经部署的 Sub-6G 低频 5G 网络能力来看，单一 TDD 系统通常采用 5ms 周期的帧结构或者 2.5ms 双周期的帧结构，在实际的测试中上行峰值速率可以达到 250-375Mbps，仅可以满足部分场景的上行需求。同时，随着行业

数字化应用的快速推进，例如：体育赛事，演唱会视频直播等大上行的需求将逐步提高，因此，5G 网络需持续提升上行能力，更好的支持行业的数字化应用。

3GPP Rel-15 和 Rel-16 版本中对多种上行增强技术都进行了定义和增强，例如提升终端的发射功率，引入 Long-PUCCH 等技术。针对 5G 上行能力的提升，当前主流的方向，一方面通过调整 TDD 频段的上下行时隙配比，增加上行时隙资源，例如：采用 2.5ms 单周期的帧结构，下行与上行配比为 DSUUU（简称：1D3U）的方式来增加上行资源的调度，提升上行容量。目前多家终端厂商已支持 DSUUU（1D3U）的帧结构配置，上行峰值速率可达到 747Mbps。



图 9 帧结构配置图

表 4 TDD 上下行时隙不同配置的对比

时隙配比	5ms 周期的帧结构	2.5ms 双周期的帧结构	2.5ms 单周期的帧结构
上行峰值速率	250Mbps	375Mbps	747Mbps
单用户上行平均速率	250Mbps	242Mbps	482Mbps
上行边缘速率	14.4 Mbps	2.8 Mbps	5.6 Mbps

另一方面，通过在上行通道的基础上聚合更多频谱，提供更大的带宽，来提升上行能力，主要技术包括 SUL 上行增强、上行载波聚合等。同时，还可以从多频段组网、小区分裂以及毫米波组网等方式来进行上行能力的提升。

2.2.2 5G 700MHz 对上行的能力增强与 26GHz 的应用探讨

值得一提的是，随着 NR 新频段不断释放，可获得的频段更丰富，另一方面终端硬件能力演进后处理能力更强，针对不同组网场景和不同应用需求，会有更多的上行增强方案产生。尤其是中国广电与中国移动“共建共享”的 700MHz 频谱，更有优势。

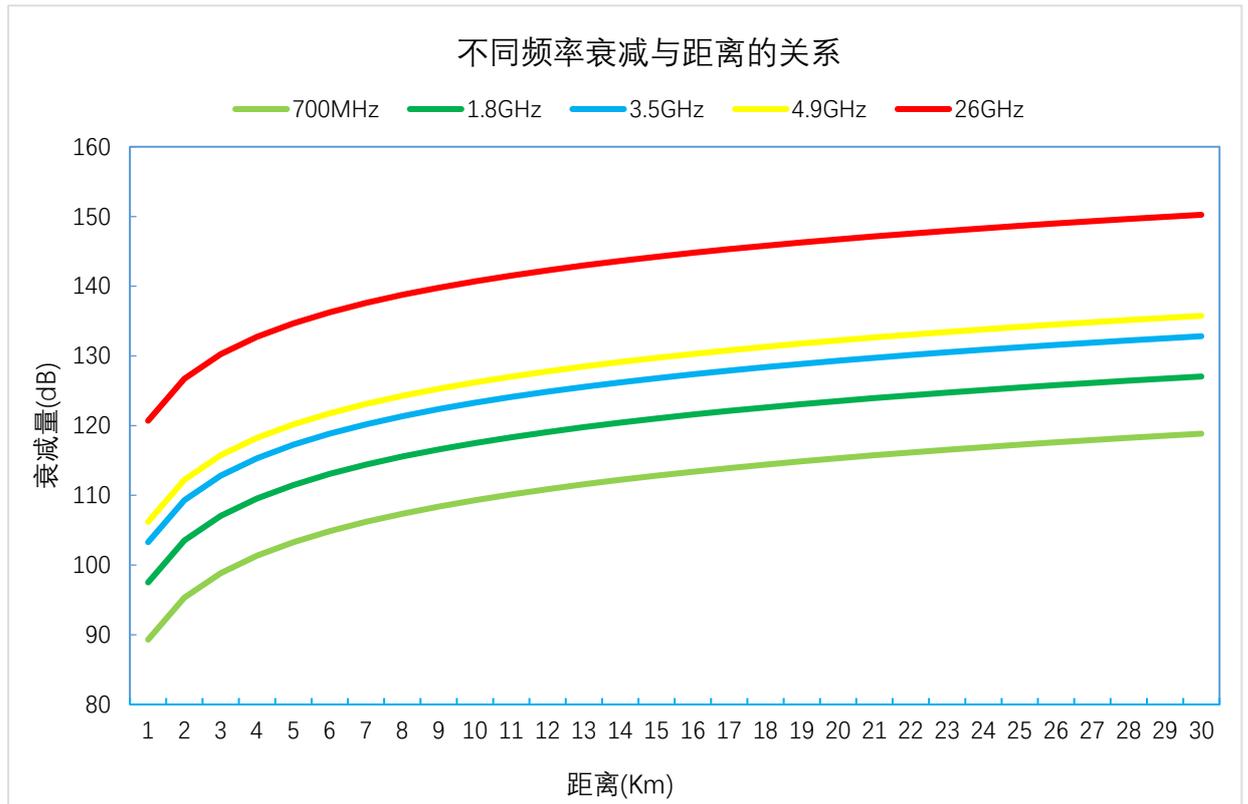


图 10 信号衰减与频率和距离的关系

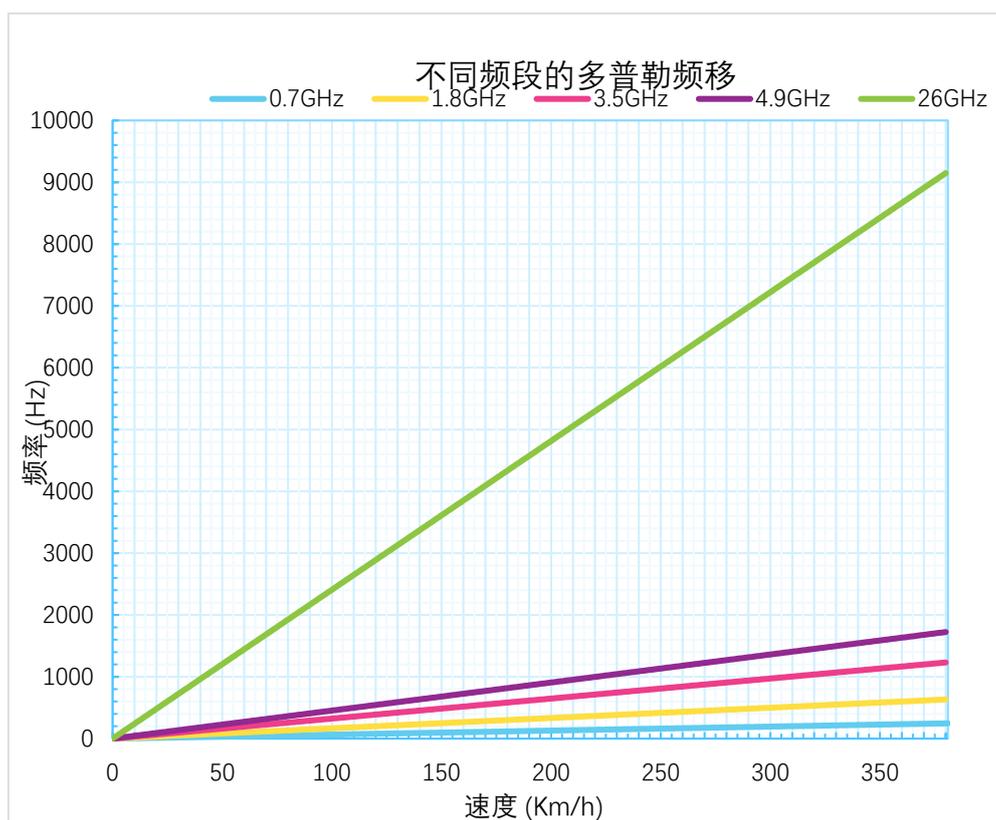


图 11 不同频段的多普勒频移

在相同距离下 LOS 传输的 700MHz 自由空间损耗较 1.8 GHz 低 8.2 dB 左右，较 3.5 GHz 低 14 dB 左右，较 4.9 GHz 低 17dB 左右，较 26GHz 低 31.4dB。同时，700MHz 频段有着较好的抗多普勒频移能力，衍射能力和穿透能力。700MHz 频段对不同物体的穿透损耗相对于其它频段比较低，尤其在暴雨等恶劣天气时，表现更为突出。700MHz 频段优异的电磁波传输特性，将有利于终端低功耗设计和进一步提升远距离的上行能力。加入 700MHz 的 5G 上行增强，将会极大的提升视频节目直播与内容制作能力。

5G 毫米波技术具有频谱资源丰富、可用带宽大、峰值速率高、容量大和时延低的特点，这是 5G 毫米波系统相对于 Sub-6G 的优势。2019 年 12 月结束的世界无线电通信大会（WRC-19）确定了 24.25GHz-27.5GHz、37GHz-43.5GHz、66GHz-71GHz 为 5G 全球毫米波统一工作频段，同时 45.5GHz-

47GHz 和 47.2GHz-48.2GHz 为区域性毫米波频段。

基于大规模 MIMO 的 5G 毫米波无线传输技术能够深度利用空间维度的无线资源，可以显著提高系统频谱效率和功率效率，提升信道容量和改善系统性能。5G 毫米波的波束管理技术可以提升基站和 UE 的信号传输增益，降低干扰，从而提升系统的数据传输速率，增强覆盖。

5G 毫米波系统通过波束赋形技术不但可以提高信号增益，还可以利用波束定向赋形的特点将信号能量聚焦在特定方向来减小对其它非目标用户的干扰，保证邻近链路或邻近小区信号质量。与 5G 中低频系统相比，5G 毫米波系统更容易实现密集小区的部署，提高小区的用户数量。

对于 26GHz 连续 800MHz 的频谱带宽，目前单用户可以支持下行 8*100MHz 或 4*200MHz、上行 2*100MHz 或 2*200MHz 的 SU-MIMO 载波聚合传输，小区可以支持上下行 800MHz 4 流 MU-MIMO 传输[6]。5G 毫米波技术拥有较高的用户峰值速率和小区峰值吞吐率，尤其是帧结构采用 DSUUU 的时隙配比，更加适用于大量 4k/8k 视频上行的业务场景。

由于 5G 毫米波技术空口的时隙设计可以低至 0.125ms，相对于 Sub-6G 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，适用于 5G 工业物联网、AR/VR 和云游戏等低时延场景。

2.2.3 5G 网络切片能力

提供 E2E 网络的切片能力，主要包括无线网络切片能力，承载网切片能力和核心网切片能力。

2.2.3.1 无线网络切片能力

无线网络切片被视为视频回传业务提供高可靠传输保障的最有效方式之一。

根据业务等级和应用场景从 QoS 优先级调度，RB 资源预留和专用频段等 3 个层面提供无线网络侧切片能力。

a) QoS 优先级调度：共享频谱，采用切片级 QoS 优先级调度机制，区分业务优先级和应用场景分别进行资源调度管理。

b) RB 资源预留：共享频谱，采用基于切片的 RB 资源预留，不同业务和应用场景享有专有的 RB，增强业务保障能力。

c) 专用频段：针对不同用户、不同业务和不同场景采用不同频段建设专网，实现物理级的频谱硬切片能力。

通过 QoS 优先级调度，RB 资源预留和专用频段等无线网络切片技术，可有效提升 5G 网络的上行能力，为上行业务提供可靠保障。另外，随着毫米波技术成熟与商用，采用毫米波频段组建 5G 专网，实现物理级频谱硬切片，能更加有效地对超高清视频的 5G 回传形成保障。

2.2.3.2 5G 承载网络切片能力

5G 承载网络除了考虑大带宽承载技术，还要考虑业务的端到端，业务物理隔离和低时延，以及网络保护等电信级的网络需求。5G 承载网络需要提供层次化的网络切片能力，支持硬件隔离和软件隔离。例如，在 uRLLC 用户业务，远程医疗，UAV 测绘和拍摄等要求高可靠性，低时延和独享资源的专线提供基于 L1 TDM 的网络硬切片；在 eMBB 的互联网接入用户，针对于大带宽，时延不敏感的特点，提供基于 L2 或者 L3 层的逻辑隔离软切片技术。OIF 制定的以 FlexE[7]为核心的以太网切片技术满足带宽扩展，网络切片和低时延的承载要求。同时，FlexE 支持 IEEE 1588V2 的时间同步，实现超高精度时间戳打印，去除链路不确定性延迟等因素的干扰，能够对移动回传应用场景进行更好的支撑。

FlexE 的带宽扩展技术通过时隙控制，保障业务严格均匀分布在 FlexE Group 的各个物理接口上，并且可以通过动态增加或减少时隙数量实时调整网络带宽资源占用，应对业务流量的实时变化，确保业务所需的带宽。

FlexE 技术不仅可以实现带宽的扩展，同时可以实现根据业务速率进行接口精确划分，实现不同速率的业务在不同的时隙中传输，相互之间物理隔离。任意子速率分片，物理隔离，实现端到端硬管道。融合 FlexE 子管道特性和物理层时隙交叉特性，承载网络上可以构建跨网元的端到端 FlexE Tunnel 刚性管道，中间节点无需解析业务报文，建立基于中间节点的物理层交叉转发硬通道，做到真正严格的物理层业务隔离。

另外，FlexE 技术通过时隙交叉技术实现基于物理层的用户业务流转发，用户报文在网络中间节点无须对数据包进行 MAC 层和 MPLS 层的解析，业务流转发过程近乎实时完成，实现单跳设备转发时延小于 $1\mu\text{s}$ ，确保承载网络的低时延。

2.2.3.3 5G 核心网切片能力

统一云化部署，根据不同业务需求建设虚拟核心专网，实现不同业务核心网切片功能。5G 核心网支持切片的智能选择和能力开放，同时也支持 NFVI 层、切片层、管理层等多层安全隔离。

2.2.4 5G MEC 边缘计算技术的 QoS 控制方案

为了满足 5G 网络大带宽和低时延的应用场景特性要求，MEC 的建设与应用可在一定程度上为 5G 网络的大带宽和低时延接入需求提供“第一公里”保障。MEC 边缘云在部署时将与 5G 网络架构深度融合，其业务分流、策略控制、QoS 保证等功能，都将通过标准的 5G 网络功能实现。基于 5G 核心网的 C/U 分离式架构，控制面功能网元如 SMF 则在中心 DC 集中部署，便于统一控制部

署在 MEC 的 UPF，统一配置和下发分流策略。用户面功能 UPF（User Plane Function）需要下沉到网络边缘部署，以减少网络传输时延，实现数据流量的本地分流，缓解核心网的数据传输压力，提升数据处理效率，满足垂直行业对网络大带宽，低时延，安全可靠的要求。

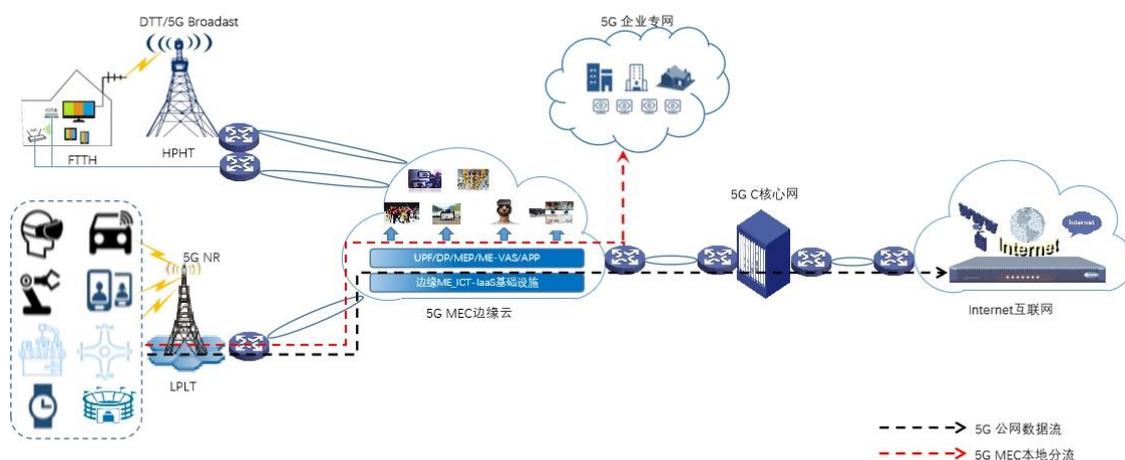


图 12 5G MEC 边缘云

本地 MEC AF 将 UPF 分流规则通过 N5/N33 接口告知 PCF，PCF 将分流策略配置给 SMF，SMF 对所有流量进行集中调度，可采用 LADN（Local Area Data Network）、UL-CL（Uplink Classifier）分流或 IPV6 Multi-Homing 分流等方案实现边缘 UPF 的分流选择，并将需要分流的本地流量通过本地边缘 UPF 卸载。对于非本地流量则通过本地 UPF 发送到中心 UPF 处理。这样可避免所有流量都迂回到中心网络，减轻骨干网传输的压力和降低传输时延，提升网内分组数据的承载效率与用户业务体验。

LADN 方案

LADN 是和区域服务或应用相关联的 DN 设计，当用户使用该应用时，是通过 LADN 进行访问。AMF 跟踪 UE 终端的位置信息，并通知 SMF UE 终端位置和 LADN 服务区的关系，通常包括：服务区内，服务区外和无法确定等。当用户位置不在 LADN 的服务区内时，不能接入 LADN，即通过 LADN PDU 会话

接入 DN 只在特定的 LADN 服务区有效。LAND 服务区用一组 TA 标识。支持 LADN 是 5G 支持边缘计算的一种会话管理机制。使用 LADN 用于边缘计算流量分流时，通常 LADN 和单一边缘计算平台的服务区域是一一对应的。

UL-CL 分流

对于类型为 IPv4、IPv6、IPv4v6、Ethernet 的 PDU Session，SMF 可以在该 PDU 会话的数据传输路径中插入一个上行分类器（Uplink Classifier）（简称为“UL CL”）。支持 UL-CL 功能的 UPF 通过匹配 SMF 提供的流过滤器，根据流过滤规则（例如 UE 发送的上行 IP 数据包的目的 IP 地址/前缀等）将某些特定的流量进行分流。

IPV6 Multi-Homing 分流

一个 PDU 会话可能关联多个 IPv6 前缀，这就是 IPV6 Multi-Homing PDU 会话。IPV6 Multi-Homing PDU 会话提供通过多个 PDU 会话锚点到 DN 的接入。各个 PDU 会话锚点对应的数据通道最后都会汇聚于一个公共的 UPF。这个公共的 UPF 被称为支持分支点（Branching Point）功能的 UPF。分支点 UPF 根据 SMF 下发的过滤规则，通过检查源数据包 IP 地址，将不同 IPV6 前缀的上行业务流转发到不同 PDU 会话锚点 UPF，并聚合发送到 UE 的下行流量，即聚合从链路上的不同 PDU 会话锚点 UPF 的下行业务流合并到 5G UE。

5G 移动通信技术在天然的系统架构上能更好地支持 MEC，UPF 可以灵活插入到网络的各个节点，使得架构更灵活、更动态。通过“MEC+切片”网络协同，可以针对视频上行的不同业务场景实现端到端 SLA 服务等级协议，并使企业可定制的虚拟专网。同时，为满足满足 5G 视频大带宽，低时延场景的商用部署要求，可以考虑采用 FPGA、GPU、NPU、ASIC、SOC 等相结合

的软硬件加速方案。甚至于对 5G 用户面 UPF 采用智能网卡硬件加速，进一步卸载对于 CPU 的流量压力，以获得更高的转发性能。

2.3 流媒体协议与回传技术

2.3.1 流媒体回传综述

随着视频业务的快速发展，众多视频流媒体协议不断涌现，并被用于不同的视频 workflow。根据 Haivision 的调研报告[13]，大多数受访者使用不止一种流媒体协议。对于视频低延迟回传与分发场景，基于 TCP 的 RTMP 实时消息传递协议仍然是最广泛使用的协议，尽管它的效用即将结束。RTMP 的缺乏加密引起了安全问题，许多 CDN 提供商，包括 Akamai，已经宣布他们不再支持它。而伴随着网络与视频应用的发展，以 UDP 为核心的流媒体视频传输逐渐成为新的选择，SRT 的安全可靠传输、WebRTC 的实时互动性能，在诸多场景下展现出更为优异的适用性，进而逐步取代 RTMP。SRT 安全可靠传输协议将接管许多 RTMP 使用案例，47%的受访者在用它。在被调查者中，RTP 协议也继续被一半的人广泛使用。对于专有协议 ZIXI 继续在约 16%的视频 workflow 中发挥作用，而相对较新的 RIST 迄今只有较低的采用率。

在视频上行传输方面，RTMP，SRT 和 Web RTC 协议占比较高。

在视频交付方面，对于 OTT 服务，HLS 和 MPEG-DASH 是最受欢迎的，目前广受关注的 CMAF 只有 3.57%的受访者使用。由于 CMAF 支持 HLS 和 DASH，如开源低延迟 HLS 项目、LHLS 或苹果自己的版本 LL-HLS，它在与其他低延迟交付协议的竞争中发挥着重要作用，预测使用者数量会逐步上升。

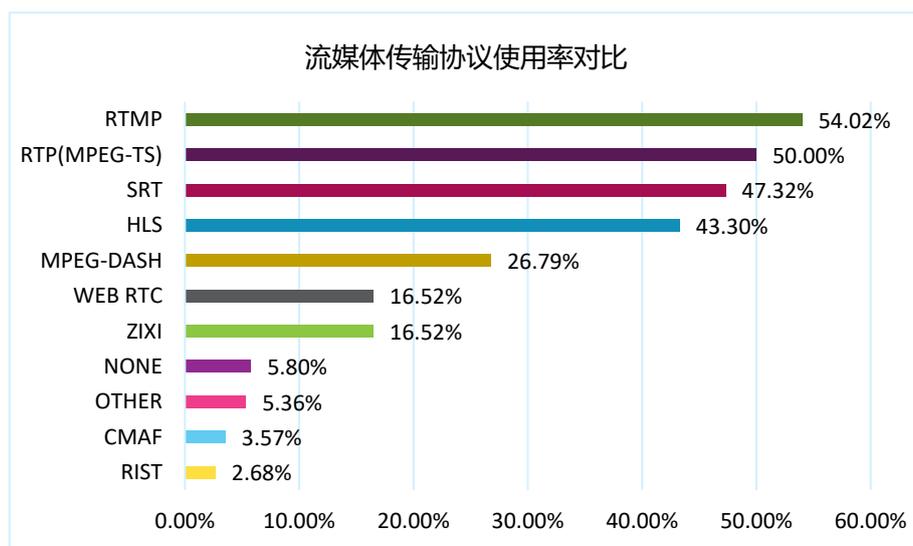


图 13 Haivision 调研报告的流媒体传输协议占比

TCP 协议是传统的可靠协议，也是 RTMP、HLS、DASH 等传统流媒体协议的传输基础。TCP 适合文件传输和可靠传输，但通常在出现丢包时传输效率会降低。

UDP 是不可靠的数据传输协议，在传输过程中可能发生丢包，因此可采用 FEC 或 ARQ 解决丢包问题。FEC 是前向纠错机制，会增加一定的系统开销。在传输速率较低的情况下，FEC 会引入较大的时延。ARQ 是自动重传机制，发生丢包后，接收端通过返回 NACK，发送端重新发送丢失的数据包。ARQ 需要在每个包上附加时间戳和序列号，因此会增加 RTT 的延迟。

2.3.2 RTMP（Real Time Messaging Protocol，实时消息传输协议）

RTMP（Real Time Messaging Protocol，实时消息传输协议）协议最初是由 Macromedia 为通过互联网在 Flash 播放器与一个服务器之间传输流媒体音频、视频和数据而开发的，基于 TCP 协议传输，并由 Adobe 采纳，为其 Flash 技术服务，并成为类似 RTP 等复杂机制的替代。但很长时间以来它都是闭源的，

因此从 2005 年开始，人们前赴后继的逆向此协议并发布了若干开源版本。最终 Adobe 在 2012 年发布了 RTMP 标准，但仍保留了部分技术，如 H.264 先经过一种加密的握手方式才能进行解码播放。随着视频直播领域的兴起，也成为业内广泛使用的协议。由于其基于 TCP 的丢包重传能力和可调缓冲区而享有可靠的声誉，但其也存在着累积延迟和加密方面的问题。由于 Adobe 还构建了专利和法律的保護，这些都使得其逐渐远离了潮流。

RTMP 协议的弊端：

1.协议比较古老，最后更新日期是 2012 年，最高只支持到 H.264，对 HEVC/AV1，VP9 等视频格式没有定义，很多都是各 CDN 厂家定义地；

2.RTMP Over TCP 连接时间过长，TCP 需要 RTMP c0/s0 到 c2/s2 三次握手，除此之外，其本身又存在 c0/s0 到 c2/s2 的三次握手，再加上 Connection，Createstream，Play/Publish，总地来说 RTMP 完成一次建连需要进行 9 次会话，因此 RTMP 传输时延通常至少会在 2 秒多。

3.RTMP 的传输完全依赖传输层的算法来进行拥塞的管理；

4.不能实现自适应带宽编码，由于基于 TCP 协议，无法提供实时带宽数据对可变码率的支持；

2.3.3 WebRTC (Web Real Time Communication, 网页实时通信)

WebRTC (Web Real-Time Communication) 即“网页即时通信”是一项在网页浏览器内部进行实时视频和音频通话的技术，于 2011 年 6 月由谷歌开源。WebRTC 允许开发人员使用 HTML 和 JavaScript API 来创建实时应用，而无需下载安装任何插件。

作为典型的浏览器之间的协议，WebRTC 最大的特点是低延时和无卡顿。

WebRTC 可以提供点对多点的安全连接，使得多个音频合视频流可以在其连接上流动。WebRTC 提供了视频会议的核心技术，包括音视频的采集、编解码、网络传输、显示等功能，并支持跨平台（Windows, Linux, Mac, Android）。2020 年的疫情驱使视频通信需求剧增，也驱动 WebRTC 面向更大规模的在线并发会议场景演进。与此同时，去噪、用户隐私、打洞等功能逐步完善，大量新发布的规范也逐步涵盖了 WebRTC 传输、安全、数据通道、拥塞控制等方面。2021 年 1 月 26 日，W3C 和 IETF 同时宣布赋能无数服务的 WebRTC 发布成为正式标准[8][9]。

WebRTC 因传输速度快、延迟低，适合应用于对实时性、互动性要求高，但对画质要求不严苛的应用场景。当前在音视频会议、在线教育、即时通讯、游戏及人脸识别等领域，WebRTC 正被广泛采用。与此同时，WebRTC 的兼容性和浏览器不断升级带来的维护成本是使用者需要考虑的问题。2020 年，谷歌在 WebRTC 及其关应用上进行了大举投资，以进行代码优化和加强功能集合，使其在多个平台和设备上的运行更加高效和稳定。

2021 年伊始，大量关于 WebRTC/SIP/RTP/SDP 相关的规范（例如：RFC8830-34, RFC8836, RFC8858）密集发布。这些发布的建议规范涵盖了 WebRTC 传输，安全，数据通道，拥塞控制，SIP/SDP 和 RTP 的支持。

2.3.4 NDI（Network Device Interface，网络设备接口）

NDI 是 Network Device Interface 的简称，是种 IP 网络设备接口协议。NDI 协议技术是美国 NewTek 基于局域网研发的视频编码传输协议，NDI 是一种网络接口协议，是由 NewTek 开创的高质量、低延迟、多通道的 IP 视频传输标准。音视频信号在进行 NDI 编码后，能实时通过 IP 网络对多重广播级质量信

号进行传输和接收，同时具有低延迟、精确帧视频、数据流相互识别和通信等特性。

NDI 世界上有两个版本，FULL NDI®和 NDI | HX。FULL NDI ®是 I 帧帧内高比特率压缩协议，具备超低延迟（1 帧或更少）和质量几乎无损的优势特点，可取代复杂的 SDI/HDMI 连线，但是需要占用一定带宽，比如单个 1080p60 的 NDI 流可能需要 140Mbps，单个 4Kp60 的 NDI 流则需要 250Mbps。对于视频传输有高质量要求的，需采用 FULL NDI ®进行编码和传输。如果想同时流式传输多个 NDI 源，则受本地网络带宽的限制，如千兆以太网仅能同时传输数个 NDI 源。

NDI|HX 是 NDI 的低带宽版本，是一种压缩版的长 GOP H.264 变体，优点是低带宽要求，允许简单千兆网络承载多个视频流，而不会占用大量网络流量，如单个 1080p60 的 NDI 流仅需 10 Mbps 左右。低带宽的优势允许 NDI| HX 采用 WiFi 无线连接，或速度低于千兆位的网络链路，部署十分方便。需要注意的是，与 FULL NDI ®相比，NDI| HX 会产生一点延迟，但仍然可以接受，仍优于现有的 RTSP 传输延时。延时大小取决于所采用的设备、帧速率、视频分辨率和网络条件。随着 NDI 技术的火热应用，很多实时流媒体制作软件及设备均已支持 NDI，如 Wirecast, vMix, LiveStream Studio, OBS, xSplit, StreamStar 和 NewTek Tricasters 等。

另外，还有一种 NDI|HX2[10]，NDI|HX2 是下一代高效的 NDI 协议，它即可以使用 H.264，又可以使用 H.265（HEVC）。与 NDI|HX 相比的主要区别在于，NDI|HX2 是真正的原生 NDI 流，从源设备一直到目的地。由于有了更高的比特率和 HEVC 的选择，NDI|HX2 可以通过 WiFi 提供类似 Full NDI 的画面质量。NDI|HX2 共享 NDI 所有的一般特性，具备业务发现（mDNS、NDI 访问轮

询和 NDI 4 发现服务器) 和对低级网络传输的相同控制 (TCP、UDP、多播和 mTCP)，具备承载任意 NDI 元数据的能力，可以提供更可靠、更低延迟和更灵活连接。

NDI 解决方案与 WiFi6 结合，摄像机则可以通过编码器设备，直接将输出的 SDI 转换成 NDI 信号，通过网线或 Wifi 传输到局域网中的导播电脑。这样就可以不依靠昂贵的图传设备，也能实现摄像机的自由移动，并确保视频高清、低延时、无卡顿传输，减少布线成本和部署时间，很好地满足演播室、现场多机位视频制作等需求。

2021 年 6 月 2 日 Vizrt 集团旗下品牌 NewTek 推出了 NDI 5 版本[11]，NDI 5 借助于 NDI Bridge 和 NDI Remote 技术，可以完美地实现跨互联网的视频传输应用。NDI5 是其 IP 视频技术的一次飞跃升级，本地的演播室可以连接到云端的演播室，高效地将远程视频制作本地化。

2.3.5 SMPTE ST2022-6 和 ST2110

全链路 IP 化的专业媒体基础架构对广播视频节目制作行业的发展至关重要，因为它为新的图像和音频格式以及相关的辅助数据应用奠定了基础，并且允许在构建 workflow 时采用更加灵活和便捷的方法。”双向“，”复用“，”互联“是传统 SDI 没有的 IP 化优点。全链路 IP 化为部署在商用硬件上运行的软件应用程序铺平了道路。当媒体设施转向纯软件解决方案时，它们可以虚拟化这些解决方案，或者将它们打包到容器中以供数据中心或云端使用。

SMPTE (The Society of Motion Picture and Television Engineers) 电影和电视工程师协会制定了一系列的视频技术相关标准。ST2022-6 和 ST2110[17]都是支持 SDI over IP 的技术，两者最主要的差别在于，ST2022-6 是 ST2110 的前代技术。ST2022-6 只是单纯地把 SDI 信号封装进了 IP 包里，

视频部分、音频部分、辅助数据部分都在同一个包里进行传输，而 ST2110 把 SDI 信号中的视频、音频、辅助数据分开，分别封装进不同的 IP 包里单独传输。在 ST2022-6 系统中，当某台设备需要单独处理音视频业务数据的时候，需要对装着 SDI 信号的 IP 流进行解嵌，然后处理完了再加嵌回去。而 ST2110 由于音视频业务和辅助数据流分开传输，这样就免去了例如 ST2022-6 系统里的解嵌/再加嵌流程。因此，ST2110 传输系统不但提升了系统的可扩展性，而且系统的带宽限制也更富有弹性。但 ST2110 传输系统对同步提出要求，与 ST2022-6 系统的单一流相比，同步三种不同的流要困难一些，因此，在 ST2110-10 中采用了 PTP（Precision Time Protocol，精确时间控制协议），协议与 RTP 时间戳等方式同步。

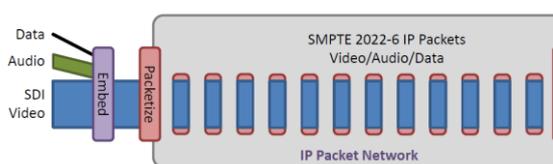


图 14 音视频业务和数据在 ST2022-6 中的传输

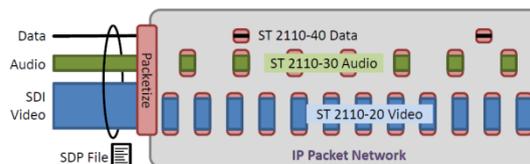


图 15 音视频业务和数据在 ST2110 中的传输

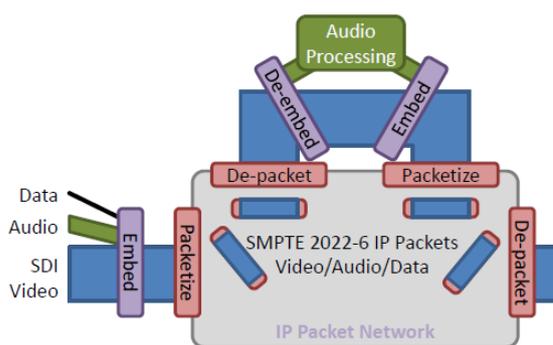


图 16 ST2022-6 音频流的解嵌和加嵌

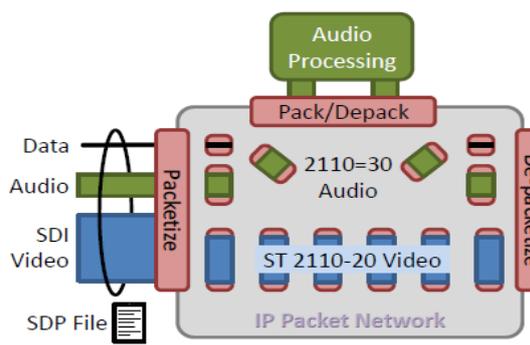


图 17 ST2110 音频流的解嵌和加嵌

SMPTE ST2110 标准套件[18]指定了用于实时生产，播出和其他专业媒体应用程序的在 IP 上独立基本流的传输，同步、描述、发现/注册/认证，流控制以及质量评价等。

借助新的 SMPTE ST2110 标准套件，促进了专业媒体行业向一种通用的基于 IP 的机制的迁移，它可以在 IP 领域将不同的流关联到所需的媒体组，并建立基于网络的注册，发现设备，流和媒体等功能。与 IP 基础架构设施一起使用，可以实现比传统的 SDI 接口更高的密度，并且具有固有的双向连接优势。SMPTE ST2110 标准套件可以构建一个与其中所携带的特定音视频格式无关的系统，不用管理不同格式的 SDI，也无需考虑分辨率，位深度，帧速率，通道数等。更好的促进 IP 上的媒体和相关数据传输，并且更加灵活，效率更高，成本更低。

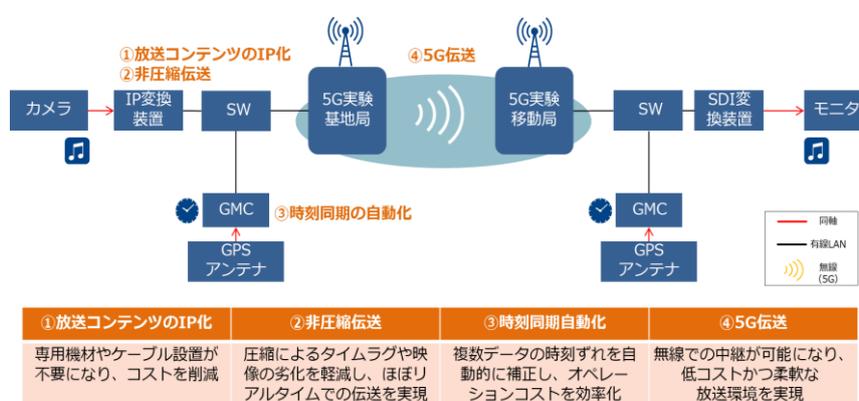


图 18 NTT Com 验证 SMPTE ST 2110 标准经由 5G 网络传输示意图

SMPTE ST2110 标准套件可以应用于电影后期制作，发行，播出，广播和 OTT 服务；现场活动制作等。目前，很多演播室系统均支持 ST2110 标准套件。另外，在 2019 年 7 月 3 日 NTT 官方消息，NTT Com 宣布全球首个成功利用 5G 网络传输 SMPTE ST2110 标准的实时语音数据，这是世界上首次向 5G 下无损低时延的非压缩影像的传输实用化迈出的第一步，具有非凡的意义。在本次试验中[19]，从摄像头和麦克风获取的音频信息由 SDI 转换为 ST2110 标准的 IP 数据，而无需压缩处理，并将其与通过 GMC（Grandmaster Clock）获得的准确时间信息相结合，在 5G 环境中进行传输，无需人为干预即可实现同步。该技术未来可应用于现场应急救援，赛事直播等难以灵活安装专用设备和电缆的场景中。

2.3.6 ZIXI 协议

ZIXI 的传输流协议是一种内容和网络感知协议，可动态调整以适应不断变化的网络条件，并采用纠错技术实现 IP 上网络上的无差错视频流传输。这种动态机制以最小的物理带宽开销，提供低端到端低时延传输。并将实时消除抖动，恢复和数据包重新排序，平滑视频传输，并将视频重新生成为其原始形式。

ZIXI 提供可预测的低延迟、无数据包丢失的卓越可靠性和广播级视频质量 (标清、高清和 UHD)，没有延迟、分辨率或断断续续的折中。从一个支持 ZIXI 的设备/服务器到另一个支持 ZIXI 的设备/服务器的数据流保护数据流免受路径上质量下降的影响。它能够在任何距离上传输高质量的视频，同时克服公共互联网不断变化的网络条件，在公共互联网中，网络错误、数据包丢失、抖动和无序数据包的数量“每秒”都会波动。

ZIXI 的传输流技术通过网络感知、动态去抖动、MPEG 特定的优化、Z-ARQ 误差恢复、Z-FEC-动态内容感知、主动多路径错误恢复、UDP 单播或多播的自适应比特率控制以实现最高质量和可靠性。并通过基于 DTLS 标准的保护提供一流的安全性，采用了包括加密和密码保护在内的多层方法的 256 位 AES 传输加密。

ZIXI[20]发端将数据流封装在 ZIXI 传输协议中，并通过标准的 IP 连接进行点对点或多点传输。ZIXI 可以部署在本地或云中，能够监控路径上任何地方的流。对于管理、处理和更大规模的分发功能，ZIXI 可以支持复杂的实时内容生产制作，并能够支持可靠的和可扩展的集群环境中的转码、录制等。

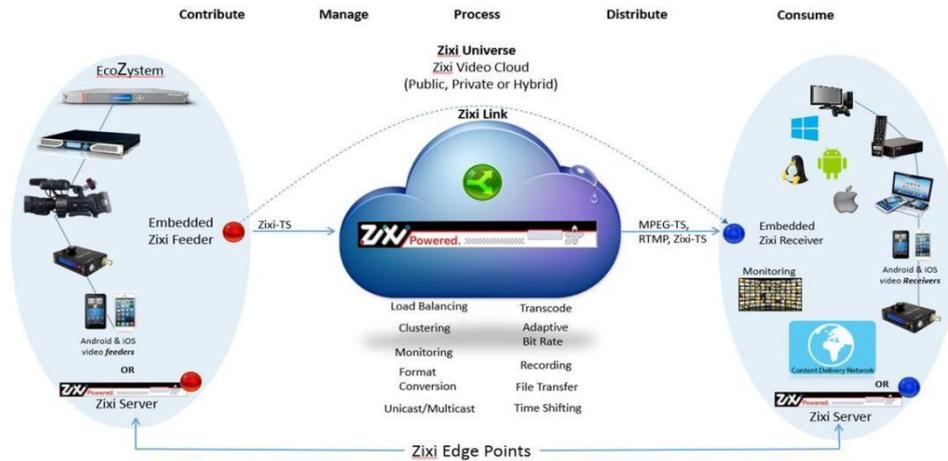


图 19 ZIXI 协议应用示意图

另外，ZIXI 集成了 17 个协议:NDI、RIST、RTP、RTP+FEC、UDP、HLS、CMAF HLS、低延迟 HLS、DASH、RTMP、SRT、多路径 TCP、TCP BBR、RTSP、HTTP、WebRTC。

目前很多摄像机，编码器和解码器支持 ZIXI 协议。

2020,11 月 17 日，ZIXI 宣布与谷歌云(Google Cloud)结盟，允许媒体、电信和娱乐垂直行业的公司使用谷歌云提供端到端的实时广播质量视频解决方案。在与谷歌的创新合作中，ZIXI 软件开发平台已经与谷歌云集成，利用了独特的谷歌云基础设施和平台功能以及广泛的 ZIXI 应用编程接口。用户现在可以使用 ZIXI ZEN Master 部署 ZIXI Broadcasters，并可以访问网络、传输、云内交付和端到端工作流程中相关边缘设备上的全面遥测数据。强大的 ZEN Master 控制平面使用户能够管理大规模配置，以协调、分析、监控、警报和报告实时视频流以及由客户、集成设备和平台以及标准化在 ZIXI 上的服务提供商组成的 ZIXI 支持网络上的设备。

ZIXI SDVP 还与谷歌计算引擎存储进行了本机集成，以经济高效地促进向内容和广播合作伙伴的贡献和分发。谷歌云由企业级云解决方案组成，这些解决方案利用谷歌的尖端技术来帮助公司更高效地运营和适应不断变化的需求，为客户

的未来奠定基础。ZIXI 软件开发平台接受 17 种行业协议，包括 ZIXI、NDI、RIST、SRT、BBR 传输控制协议、多路径传输控制协议和网络传输控制协议等。ZIXI 拥有唯一的平台和协议，可以通过互联网、光纤、卫星和蜂窝等混合 IP 网络，利用正在申请专利的顺序无中断和绑定无中断故障转移，提供 99.999%和 99.9999%的可用性。

2.3.7 RIST (Reliable Internet Stream Transport, 可靠的互联网流传输协议)

Video Services Forum (VSF) 于 2017 年初成立了可靠的互联网流传输协议 (Reliable Internet Stream Transport, RIST) 小组，为协议创建了通用规范。视频压缩技术的进步和互联网基础设施的普及，使得流媒体在互联网上广泛传输。但是网络丢包一直是一个困扰人们的问题。市面上已经有许多私有的解决方案用于解决流媒体传输的丢包问题，但是由于是私有协议，各个厂商的设备之间无法实现互操作性。RIST[12]旨在解决在公共网络上的丢包问题，同时解决各厂商设备之间缺乏互操作性的问题。

从 2018 年 10 月推出的 tr06-1 规格，到将在 2021 年推出的 tr06-3 规格，RIST 一直在进行更新调整，紧随着时代变化的脚步，产品随着最新的网络技术，压缩技术等保持更新换代，更加贴合时代的需求。现在 RIST 有两种配置文件：主要配置文件 main profile 和简易配置文件 simple profile，另有高级配置文件 advanced profile 预计在 2021 年发行。

简易配置文件 simple profile 的基础流是基于标准 RTP 协议的，且与非 RTP 设备也可适配，其余特性还包括：基于 ARQ 的数据包恢复；非常好的性能（接近 50%的丢包率）；支持多链接支持；且其他公司可以自由地创新并改进的同时不丢失兼容性。



RIST Roadmap

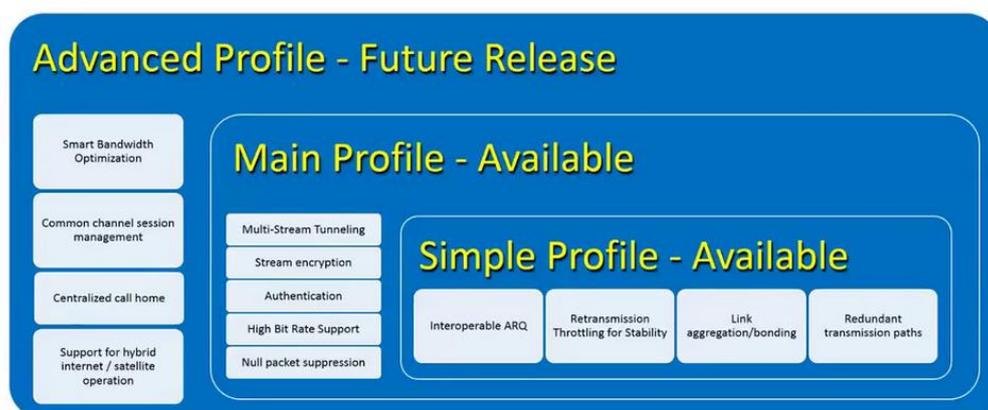


图 20 RIST 协议路线图

主要配置文件 **main profile** 在传输时可以将多个流结合到单个 UDP 接口，这简化了许多的 IT 调试，且连接可以在任一终端进行初始化，同时对于任何类型的 IP 数据也有可支持选项，另外，在加密时，主配置文件相较于简易配置文件还提供可调试的 AES 加密。这些之外，RIST 还有着一些其他特性：通过删除空包来进行频带最优化，支持高比特率的操作。

目前正在开发的高级配置文件 **Advanced profile**，它可以自动调试网络参数，并动态地根据网络环境的变化进行修正，可以进行拥塞控制，VPN 隧道，在有多流时的进行时间控制，IGMP 侦听，支持 VBR，NAT 穿越防火墙，以及因特网/卫星混合模式等。

开源的 RIST 接口在 Upipe, libRIST, FFmpeg 中都有支持。RIST 可将数据流分为多个流来进行传输，并支持无缝切换和双向传输。

RIST 的技术建议已经通过类似的标准化过程达成一致，目前已经有 40 余个支持成员，并且在快速增长。鉴于这是迄今为止唯一一个团体开发的开放解决方案，有理由相信 RIST 将是许多广播公司的强制性要求。此外，RIST 还允许通过以仅实时传输协议模式运行与非 RIST 接收器的互操作性，有效地使其与

SMPTE2022-1 和 SMPTE2022-2 接收器兼容。

2.3.8 SRT (Secure Reliable Transport, 安全可靠传输)

SRT (Secure Reliable Transport) [14]安全可靠传输协议是新一代低延迟视频传输协议，是一种开源、免费和应用灵活的规范，它的性能与专用的协议一样优秀，同时能够在不同制造商生产的产品之间工作。SRT 最初由 Haivision 和 Wowza 开发，目前联盟成员超过 450 个，包括 Bitmovin, Brightcove, Canal Cable, Comcast Technology Services, Cinergy, Deluxe, Ericsson, Huawei, Harmonic 和 NGCodec 等少数知名公司以及数十家小型供应商。

SRT 使用 UDP 协议，旨在利用有损网络来确保可靠性。它通过使用“高性能”发送器和接收器模块来实现这一点，该模块不会通过握手确认来阻塞网络。这允许它扩展并最大化可用带宽。SRT 保证发送的分组节奏（压缩视频信号）与解码器接收的分组节奏相同。SRT 增加了专为高效安全的视频流而设计的其它功能：

- 128/256 AES 加密，通过公共网络在链路级提供安全性；
- 内容不可知，并在单个 SRT 流中汇集多个视频，音频和数据（元数据）流，使其能够轻松支持高度复杂的工作流程；
- 支持发送和接收模式（与仅支持单一模式的 RTMP 和 HTTP 相反）；
- 在发送器/接收器模块内，可以检测网络性能，并使用一种自适应比特率和纠正延迟，丢包和抖动；
- SRT 协议具有良好的丢包重传机制，同时支持 ACK,ACKACK,NACK；
- 基于时间的报文发送，防止流量的突发；
- 丰富的拥塞控制统计信息，RTT, Lost rate,inflight, Send/receive bitrate,

利用这些信息做拥塞控制，或自适应 **Bitrate**；

- SRT 是开源的，免版税的，可在 **Github** 平台上使用；
- 可支持当前和下一代压缩技术，即 **H264 (AVC)**，**H265 (HEVC)**，**AV1**，

VP9；

SRT 开发了许多新功能，包括传输大文件、小的对话数据等等。但是 SRT 的“传统优势领域”还是实时的视音频传输，SRT 本质上是一个点对点的传输协议（单播而不是组播）。SRT 的亮点在于能够克服有损网络中的抖动和丢包。SRT 目前还是专注于节目的制作和分发，而不是交付。

SRT 是一种能够在复杂网络环境下实时、准确地传输数据流的网络传输技术，它在传输层使用 **UDP** 协议，具备 **UDP** 速度快、开销低的传输特性，支持点对点传输，无需中间服务器中转，可实现低至 **120ms** 的低延时传输。

SRT 协议基于 **UDP** 协议，虽然 **UDP** 协议是一种不可靠传输协议，在互联网抖动与丢包的网络环境下不稳定，但是凭借 SRT 强大的丢包重传的数据恢复能力，前向纠错技术(FEC)应用等，可将网络丢包的可能性降到最低，确保了 SRT 传输稳定性。同时 SRT 还可以进行 **AES** 加密，从而确保数据在传输过程中的信息安全。

此外，针对公司或组织运用防火墙保护私有网络安全的策略，SRT 使用的握手过程支持出站连接，而不需要在防火墙中打开危险的永久外部端口，从而维护了公司的安全策略。

2.3.9 GB28181 协议

GB/T-28181 协议[15]是在国际上通用的 **SIP** 协议进行私有化定制，流媒体方面就是在国际最流行的编码上进行封装。既然是国际上通用协议，联网系统的

信息传输、交换、控制方面的 SIP 监控域互联结构见图 20，描述了在单个 SIP 监控域内、不同 SIP 监控域间两种情况下，功能实体之间的连接关系。功能实体之间的通道互联协议分为会话通道协议、媒体（本标准主要指视/音频）流通道协议两种类型。

区域内的 SIP 监控域由 SIP 客户端、SIP 设备、中心信令控制服务器、流媒体服务器和信令安全路由网关等功能实体组成。各功能实体以传输网络为基础，实现 SIP 监控域内联网系统的信息传输、交换和控制。在若干个相对独立的 SIP 或非 SIP 监控域以信令安全路由网关和流媒体服务器为核心，通过 IP 传输网络，实现跨区域监控域之间的信息传输、交换、控制。

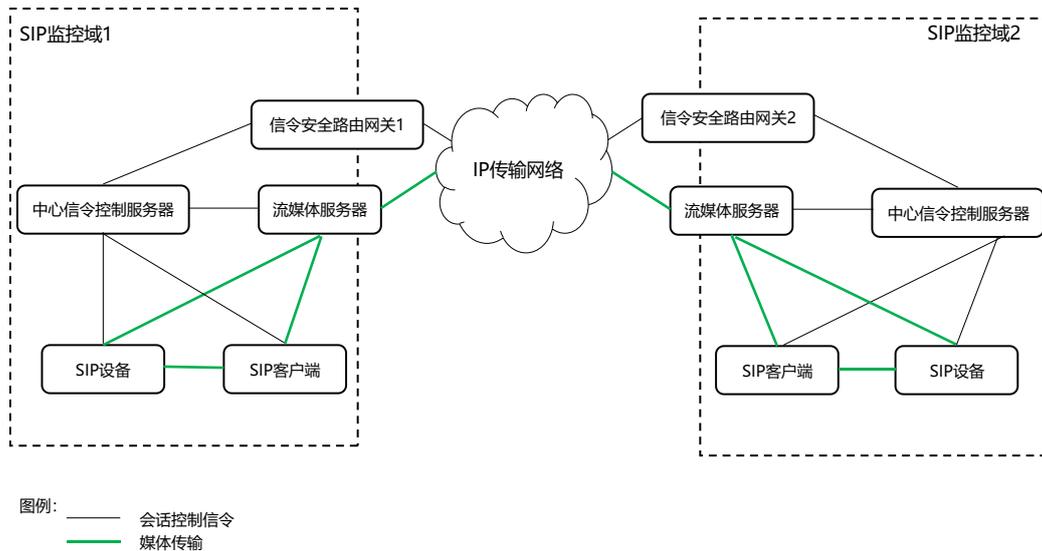


图 21 监控域互联示意图

联网系统在进行视音频传输及控制时应建立两个传输通道：会话通道和媒体流通道。会话通道用于在设备之间建立会话并传输系统控制命令；媒体流通道用于传输视音频数据，经过压缩编码的视音频流采用流媒体协议 RTP/RTCP 传输。媒体流在联网系统 IP 网络上传输时采用 RTP 传输，RTP 的负载应采用如下两种格式之一：基于 PS 封装的视音频数据或视音频基本流数据

A. 基于RTP的视音频数据PS封装

基于 RTP 的 PS 封装首先按照 ISO/IEC 13818-1:2000 将视音频流封装成 PS 包, 再将 PS 包以负载的方式封装成 RTP 包。PS 包的主要参数设置一般规定的几种视音频格式为: MPEG-4 视频流, H.264 视频流, SVAC 视频流, G.711 音频流, G.722.1 音频流, G.723.1 音频流, G.729 音频流和 SVAC 音频流。

PS 包的 RTP 封装格式参照 RFC2250。

B. 基于RTP的视音频基本流封装

该方式直接将视音频数据以负载的方式封装成 RTP 包。

C. MPEG-4视频流的RTP封装

MPEG-4 视频流的 RTP 封装格式应符合 RFC3016 协议中的相关规定。MPEG-4 视频流 RTP 包的负载类型 (Payload Type) 标识号选定: 从 RFC3551 协议的表 5 中的动态范围 (96-127) 中选择, 建议定为 97。

D. H.264视频流的RTP封装

H.264 的 RTP 载荷格式应符合 RFC3984 中的相关规定。H.264 视频流 RTP 包的负载类型 (Payload Type) 标识号选定: 从 RFC3551 协议的表 5 中的动态范围 (96-127) 中选择, 建议定为 98。

E. SVAC视频流的RTP封装

SVAC 视频流的 RTP 载荷格式可参照 RFC3984 中的相关规定。SVAC 视频流 RTP 包的负载类型 (Payload Type) 标识号选定: 从 RFC3551 协议的表 5 中动态范围 (96-127) 中选择, 建议定为 99。

F. 音频流的RTP封装

语音比特流宜采用标准的 RTP 协议进行打包。在一个 RTP 包中, 音频载荷数据应为整数个音频编码帧, 且时间长度在 20ms~180ms 之间。

通过该协议可实现监控设备之间的级联和互联两种方式，级联是信令安全路由网关之间是上下级关系，下级信令安全路由网关主动向上级信令安全路由网关发起注册，经上级信令安全路由网关鉴权认证后才能进行系统间通信。

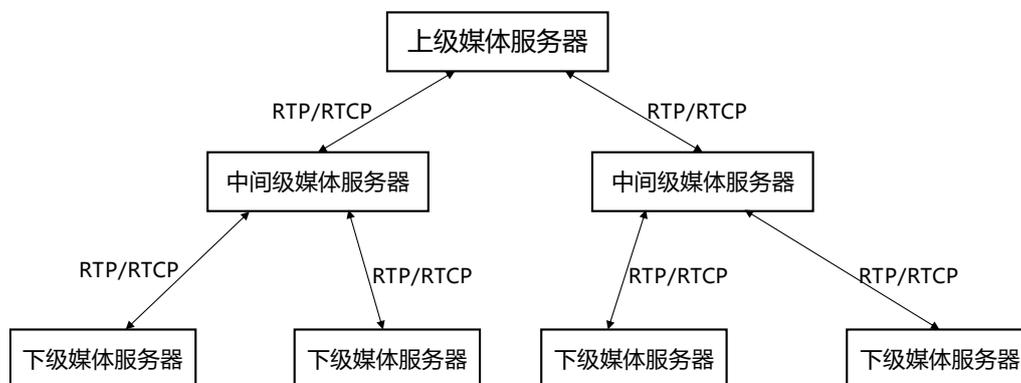


图 22 媒体级联结构示意图

互联是信令安全路由网关之间是平级关系，需要共享对方 SIP 监控域的监控资源时，由信令安全路由网关向目的信令安全路由网关发起，经目的信令安全路由网关鉴权认证后方可进行系统间通信。

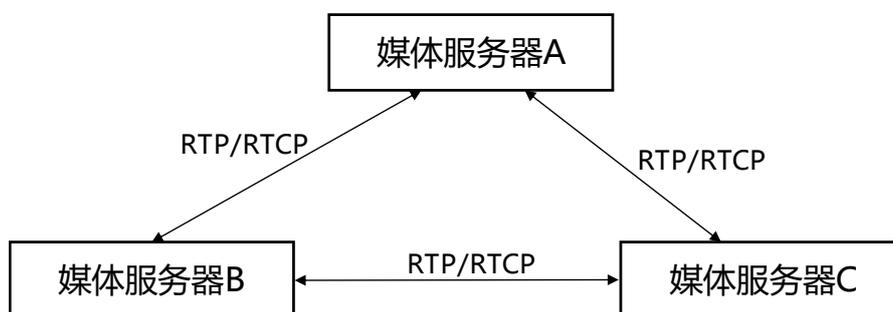


图 23 媒体互联示意图

2.3.10 ONVIF 协议

ONVIF[16]是基于网络视频的使用案例，适用于局域网和广域网。规范始于一个核心套接口函数配置和通过定义它们的服务类接口实现控制网络视频设备。网络视频设备包括 NVT、NVD、NVS。该框架涵盖不同网络视频环境下的各个阶段，从网络视频设备部署和配置阶段到实时流处理阶段。这个规范涵盖了设备发现、设备配置、事件、PTZ 控制、视频分析和实时流媒体直播功能，以及搜索，

回放和录像录音管理功能。所有的服务使用同一种的 XML schema（XML 文档的结构）。

ONVIF 标准将为网络视频设备之间的信息交换定义通用协议，包括装置搜寻、实时视频、音频、元数据和控制信息等。ONVIF 规范中设备管理和控制部分所定义的接口均以 Web Services 的形式提供。ONVIF 规范涵盖了完全的 XML 及 WSDL 的定义。每一个支持 ONVIF 规范的终端设备均须提供与功能相应的 Web Service。服务端与客户端的数据交互采用 SOAP 协议。ONVIF 规范的目标是实现一个网络视频框架协议，使不同厂商所生产的网络视频产品（包括摄录前端、录像设备等）完全互通。ONVIF 中的底层流媒体协议主要还是通过 RTP/RTSP 实现。

2.3.11 RTMP, WebRTC, ZIXI, RIST 和 SRT 的对比分析

在 4G 时代，RTMP 协议以低延迟著称并被广泛应用。作为基于 TCP 的标准协议，RTMP 兼容性极佳，对用户来说，在现有单向直播架构上，接入成本较低。但随着网络技术的发展，RTMP 协议开始显得相对老旧，不支持 H.265。在缓冲器固定的情况下，当 RTMP 客户端播放端距离服务器越远（RTT 越大），它从服务器获得的流吞吐量就越少。同时，由于 RTMP 基于 TCP 协议，不会丢包，所以当网络状态差时，服务器会将包缓存起来，导致累积的延迟，延迟时间一般在几秒到几十秒。RTMP 无法提供实时带宽数据来动态调整视频编码的 Bitrate，无法实现 NAE 网络自适应带宽编码。因此，逐渐被 WebRTC、SRT 等新进协议取代。

WebRTC 作为 Google 公司的开源技术，降低了音视频通信的接入门槛。WebRTC 使用 UDP 作为传输层协议，它的显著优势在于用户体验好，且仅通过

分享链接即可观看视频，非常适合应用于大规模在线并发、有互动性要求的互联网在线直播、培训、会议等场景。许多实时音视频服务专业厂商通过采用 WebRTC 技术，可实现毫秒级的低延迟，远远低于传统 RTMP 的分发延迟。

GB28181 和 ONVIF 都是为了确保安全防范视频监控联网系统信息传输即网络视频在安防市场的应用接口标准的不同，使不同厂商生产的网络视频产品具有互通性的接口标准，其底层流媒体数据传输协议主要还是基于 RTP（实时传输协议），并通过 RTCP（实时传输控制协议）进行数据传输质量控制。在网络传输层，其媒体数据传输可以采用 UDP 或者 TCP，以适配不同的网络组网环境，满足视频监控中各种复杂的应用场景。

ZIXI 协议进入市场较早，目前很多摄像和编解码设备支持 ZIXI 协议。ZIXI 提供卓越的性能(可预测的低延迟)、卓越的可靠性(无数据包丢失)和广播级视频质量(标清、高清和 UHD)，没有延迟、分辨率或断断续续的折中。

SRT 协议建立在开源的 UDT 协议上。它强制输入数据加密，可以保护数据安全。它允许在一个连接上混合多个 SRT 流。SRT 试图加快重传速度。SRT 在防火墙的情况下也可以很好地工作。

RIST 需要两个端口，第一个端口用于传输媒体流，并在第二个端口上使用 RTCP 创建了一个控制界面。RTCP 协议是双向的。RIST 的技术路线图分为三种，分别是简单配置、主要配置和先进配置。其中简单配置包括交互 ARQ、重传限制、连接聚合和冗余传输路径。它兼容普通的 RTP 协议，利用 RTCP 协议进行丢包恢复。

RIST 的主要配置包括流加密，多流隧道，高比特率支持等。RIST 的加密采用 DTLS，它和网站采用的 TLS 类似。它还采用预分享的密钥，不需要证明。RIST 采用了 GRE 隧道，非常适合 IPv6 穿透。GRE 隧道消除了额外的端口，并且允许在一个连接中多流复用。GRE 隧道也支持双向流等。RIST 的先进配置包括智能

带宽优化，公共通道会话管理，集中呼叫和因特网/卫星混合操作功能。

表 5 ZIXI,SRT 和 RIST 协议的对比

协议	防火墙穿越	ARQ	FEC 前向纠错	加密	链路保护	空包压缩
ZIXI	支持，两端	支持	支持，专有的	AES 128/256&DTLS	支持 (SMPTE2022-7)	支持
RIST	支持，发送方 (计划两端)	支持	支持 SMPTE 2022-1	支持(可调试的 AES&DTLS)	支持	不支持 (计划)
SRT	支持，两端	支持	支持	AES 128/256&TLS1.3	不支持(计划 SMPTE2022-7)	支持

ZIXI, RIST 和 SRT 均基于 UDP 协议，支持高码率的分发能力，具有 ARQ 丢包重传，FEC 前向纠错和 AES 加密功能。

使用 ZIXI, SRT 和 RIST 协议的场景很丰富，包括摄影机到基站的转播、体育场转播、新闻报道和云转播等等。后期我们将会进行基于 5G 网络的 SRT 和 RIST 传输性能对比测试分析。

2.3.12 5G 视频上行传输技术总结

在通过 5G 无线网络进行高清、超高清视频的上行场景中，音视频数据流的稳定、高质量、低时延传输是多方面因素协同的结果。在无线侧，频谱的选取、组网方式、上行增强、载波聚合等方式均能不同程度的提升上行网络传输能力；切片技术的应用，可以按需对视频的回传起到不同程度的有效保障；流媒体协议的选用，则与业务场景直接相关，并能在弱网环境下通过丢包补偿等机制，对视频回传的稳定性进行内容传输层面的保障。除此之外，编解码压缩技术、MEC 的应用等等，也是需要考量的重要因素。

3 5G 视频传输技术的挑战

5G 无线网络“大连接”，“大带宽”和“低时延”的特点给高清、超高清视频的无线传输带来较大的便利性和灵活性，但视频的传输也面对着 5G 无线网络的传输覆盖质量的挑战。

3.1 视频在无线网络传输中的“痛点”

由于无线数字信号具有“悬崖效应”，即接收地点离基站愈远时，接收信号就愈弱，超过终端（基站）的最低接收场强，视频画面会产生“马赛克”现象，“静帧”甚至急剧“画面消失”的情况。而 UE 由于经常处于相对较低的地面高度，发射功率较低，天线增益相对较低，同时会受 LOS 传输的视线遮挡，人体感应造成的附加损耗，因此上行覆盖范围相对较低。

毫米波视距传输，如果因为雨雪等严重恶劣天气的原因或者其它人为遮挡的原因，会导致链路传输损耗急剧加大，影响视频的传输。尤其是在暴雨的情况下，毫米波的传输损耗急剧增大，很可能导致上传距离缩短，甚至中断。

无人机拍摄场景，UAV 的高速移动和“转向”会产生多普勒频移和“遮挡”，可能影响无线网络信号的传输质量，严重时可能会造成视频的卡顿或者中断。

同时，由于小区内多用户分享带宽，单 UE 的上行速率会受到一定的影响。在带宽不足和“弱网”的情况下进行“低时延”“高码率”的视频安全可靠上行传输成为挑战。

当前视频直播行业的趋势是以更强的观众互动性为中心的，包括任意设备的接入、移动性、Web 应用、交互性等。互动性的直播应用场景有直播带货、拍

卖、体育直播、游戏等。同时，COVID-19 “新型冠状病毒”肺炎又催生了全球大量的视频会议广播、圆桌论坛等应用场景。这些场景均要求极低的延迟、观众数量的高可扩展性、以及观众的互动性。为满足高带宽 UHD 和 HDR 视频直播服务的需求，常采用 H.264,H.265 等视频压缩编码技术，但这种视频编码采用复杂的帧间预测编码技术，存在着很大的视频质量损失，同时较大的编解码时延成为视频节目直播制作领域的“瓶颈”。

3.2 视频在无线网络传输中的“痛点”对策

在 5G 视频的“大上行”应用中，除通过在 SUL 上行增强，上行载波聚合，以及多频段组网、小区分裂、毫米波组网等方式来进行上行能力提升外。还可以采用 MEC 应用，视频压缩编码与封装传输等方式来优化补充 5G 视频业务“大上行”的上行能力和进一步降低图像的时延。

对策 1：采用高效视频压缩编码技术

针对于 5G 网络上行带宽能力不足的情况，在确保相同图像画质的水平，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。建议采用 H.266 或 H.265 高效视频压缩编码，减轻对 5G 无线传输系统的上行带宽压力。下表为在相同图像画质水平情况下，几种视频压缩编码的效率对比

表 6 视频压缩编码效率对比

视频压缩编码	VVC(H.266)	EVC	HEVC(H.265)	AV1	AVC(H.264)
VVC(H.266)		-17.5%	-41.2%	-39.3%	-62%
EVC	21.3%		-28.9%	-26.3%	-54.1%
HEVC(H.265)	70.2%	44.4%		1.3%	-35.4%
AV1	66.3%	36.9%	-0.8%		-25.4%
AVS3(HPM11.0)	7.48%	-11.11%	-36.8%	-36.29%	-59.0%
AVS3(HPM11.0-ModAI6.0)	-1.04%	-18.14%	-41.8%	-41.3%	-62.3%

注:

①4K 2160P 画面, CBR 测试数据的典型值;

②负值, 表示节省的比特率;

③AVS3(HPM11.0-ModAI6.0)环路滤波模块增加了 AI 滤波模块, 该标准还没有定稿发布;

表 7 不同视频压缩编码的推荐码率

编码	2K 1080P (Mbps)	4K 3840*2160P (Mbps)	8K 7680*4320P (Mbps)
AVC (H.264)	8-10	28-38	110-160
HEVC (H.265)	4.5-6.5	18-25	72-100
VVC (H.266)	3.5-5	11-15	43-60
AVS3	3.5-5	11-15	43-60

注:

①以上视频采样格式: 4: 2: 0, 帧率均为 30 帧;

对策 2: 采用 SRT 高可靠传输协议

视频传输协议, 采用 SRT 安全可靠传输协议。主要由于如前所述, SRT 基于 UDP 的传输协议, 并引入新的拥塞控制和数据可靠性控制机制; 良好的丢包 ARQ 自动重发重传机制, 同时支持 ACK,ACKACK,NACK; 基于精密时间戳的时间报文发送, 防止流量的突发; 富的拥塞控制统计信息, RTT, Lost rate,inflight, Send/receive bitrate, 利用这些信息做拥塞控制, 或自适应 Bitrate; 支持 FEC 前向纠错等。SRT 现在开发了许多新功能, 包括传输大文件、小的对话数据等等。但是 SRT 的“传统优势领域”还是低时延的视音频传输, SRT 本质上是一个点对点的传输协议(单播而不是组播)。SRT 的亮点在于能够克服有损网络中的抖动和丢包, 专注于节目的制作和分发。

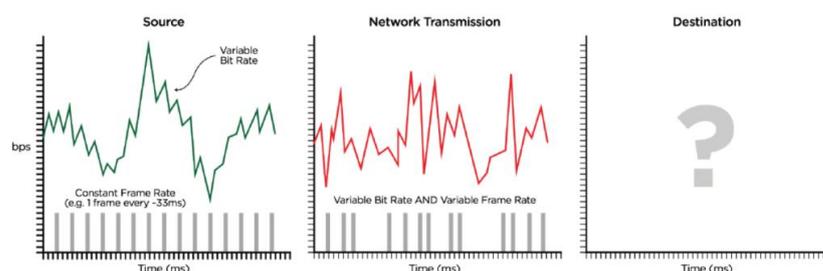


图 24 复杂网络传输状态变化导致信号的特征改变

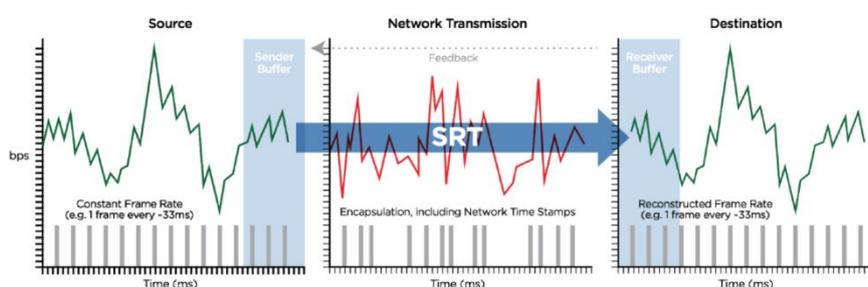


图 25 SRT 利用时间戳在接收端重建原信号特征

ZTE 分别通过在无人机+5G 网络和山西传媒学院融媒实验室对 SRT 的视频传输做了大量的测试评估，结果表明 SRT 协议具备低时延，高可靠传输的特点，适合 5G 无线网络的视频直播传输。

对策 3: CBR, CVBR, ABR 或 MBR 视频编码码率控制方式。

CBR (Constant bitrate) 恒定比特率，以恒定比特率方式进行编码，有运动发生时，由于码率恒定，只能通过增大 QP (Quantization Parameter) 量化参数来减少码字大小，图像质量变差，当场景静止时，图像质量又变好，因此图像质量不稳定。这种算法优先考虑码率(带宽)，码率平滑，无“Burst”现象。

CBR 编码的缺点在于编码内容的质量不稳定，容易产生马赛克。因为对于某些较复杂的图像比较难压缩，所以 CBR 流的某些部分质量就比其他部分差。但是，CBR 的好处是适合在流式媒体和无线信道进行视频传输。

CVBR (Constrained Variable Bitrate) 恒定可变码率是 VBR 的一种改进方法，对应的 Maximum Bitrate 恒定或者 Average Bitrate 恒定。兼顾了 CBR 和 VBR 的优点：在图像内容静止时，节省带宽，有运动发生时，利用前期节省的带宽来尽可能的提高图像质量，达到同时兼顾带宽和图像质量的目的。这种方法通常会让用户输入最大码率和最小码率，图像静止时，码率稳定在最小码率，图像运动时，码率大于最小码率，但又不超过最大码率。

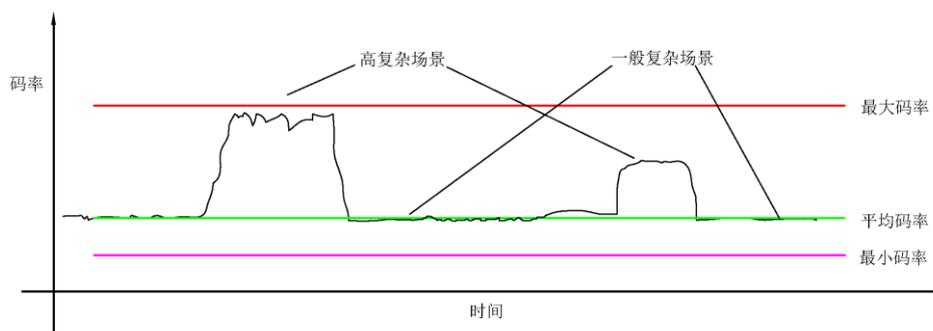


图 26 CVBR 原理

ABR (Adaptive BitRate Streaming)自适应比特率流或者 MBR(Multiple BitRate Streaming)多比特率流。采用常见的自适应视频传输协议下，如 HLS 和 Dash，将音视频在时域上切成不同长度的片段，这样的一种切分使得客户端能够灵活高效地根据网络的状态对当前的码率进行切换。这样的自适应视频传输协议使得码率自适应算法变得可行而且有效率。码率自适应通常有基于带宽估计的算法，基于缓冲器大小的算法和混合算法等。混合算法会综合运用网络带宽估计和缓冲区大小的信息，进行更高效的优化。常见的一种方法是，当 Buffer Size 比较大的时候，主要依赖基于带宽估计的方法做决策；反之，当 Buffer 比较小的时候，就用 Buffer Size 的方法进行调整，可以针对业务需求对各项权重进行相应的调整。

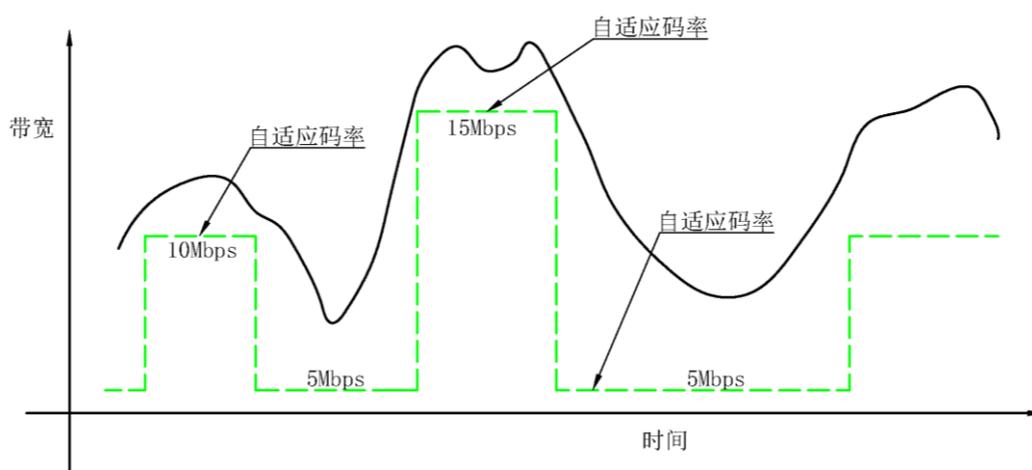


图 27 ABR 原理图

对策 4: JPEG XS 低时延无损压缩或浅压缩编码技术的应用

随着体育直播等视频的传输速度持续增长，以及业界推出新的高带宽 UHD 和 HDR 服务，视频压缩标准也在不断发展。业界不断寻求降低延迟和复杂度的同时，也在努力提高视频的分辨率和质量，JPEG XS[21]的出现为视频直播节目制作带来新的方向。JPEG XS (XS=Xtra Small Xtra Speed) 是 JPEG 委员会（正式名称为 ISO / IEC SC29 WG1）的新国际标准，该标准支持开源，并

且支持通用 HDR 编码的格式。JPEG XS 是一个用于 AV-OVER-IP 的新标准，可以管理更多的像素，节省成本和功率，简化 IP 连接，在没有延迟的情况下保持视频质量，是一个先进的轻量级的“浅压缩”视频编解码器。“浅压缩”又称“夹层压缩”，被定义为一种视频压缩级别，它可以降低视频比特率（带宽），以便在不太激进的情况下适合专业的存储设备或者网络传输，从而保持视频的整体质量。在广电级专业节目制作领域，通常 TICO 压缩比典型值设定为 4:1 到 8:1；JPEG XS 压缩比典型值设定为 10:1 到 16:1。JPEG XS 具有可互操作的低延迟轻量级编码系统，可在任何 AV 市场中用作夹层编解码器，从而提供视觉无损图像压缩。目标用例包括通过专业视频链接(SDI、IP、以太网)的视频传输、实时视频存储、内存缓冲区、全方位视频捕捉和渲染以及压缩传感(例如在相机和汽车行业)。JPEG XS 采用离散小波变换策略，是 TICO 编解码器（SMPTE RDD35）的一个演变，它本身基于 JPEG2000，现在广泛接受使用 SMPTE 2110-22 在 IP 工作流上传输视频。JPEG XS 编码不同于用于节目分发域的高效压缩编码标准，如 AVC(H.264),HEVC(H.265)，其采用帧内压缩，无需进行帧间图像预测，降低了压缩比率，因此具有恒定比特率，超低时延的特点。

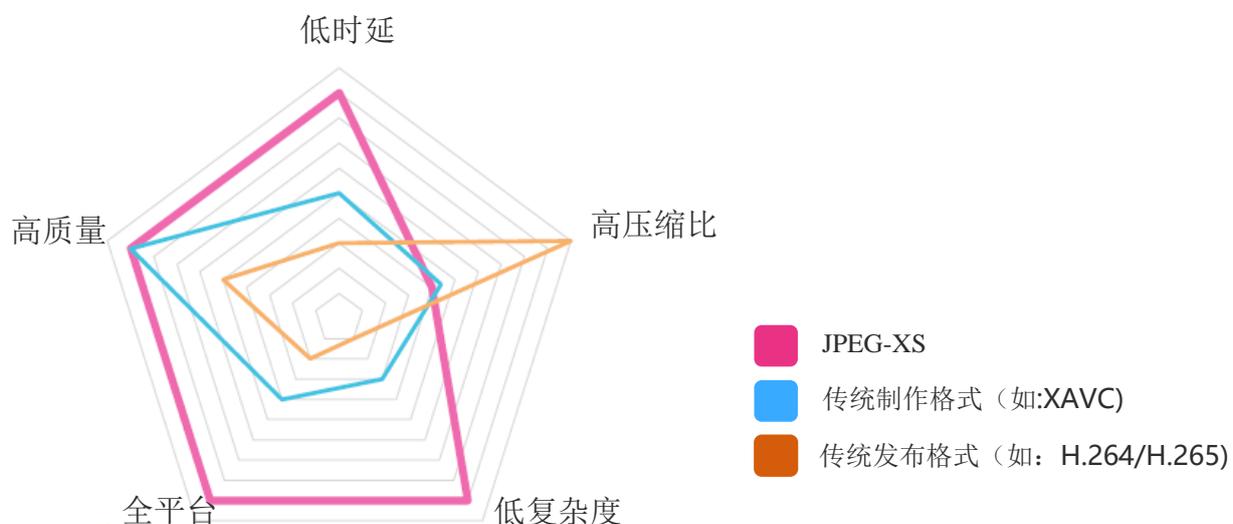


图 28 JPEG XS 视频编码的特点

JPEG XS 功能特点:

1. 最小延迟;

◆ JPEG XS (和 TICO) 编解码的时延小于 0.1ms (理想值), 实际成型的链路产品考虑到 Line Buffer, 端到端时延可小于 0.3ms;

◆ 最大响应能力 (几微秒) - 非常适合任何延迟关键型应用;

◆ CBR (恒定比特率), 可实现可靠的 IP 视频传输。

2. 所有平台上的复杂性最小

◆ 支持 CPU、GPU、FPGA 和 ASIC 的软硬件实现;

◆ 低功耗、低逻辑的多个配置文件, 硬件中无外部内存 (FPGA、ASIC), 以这种效率实现 FPGA 的最小编解码器;

◆ 软件和速度优化 (CPU、GPU) 的最佳语法, 比 JPEG2000 ISO 标准快 5 倍或以上;

◆ 在成本、功耗和质量之间取得最佳平衡。

3. 灵活性

◆ 支持多种视频格式, 兼容未来的延展;

◆ 支持多分辨率、多色度格式、多种颜色格式、多比特深度、HDR;

◆ 支持-高清、4K、8K.....以及 16K×16K-4:4:4、4:2:2、4:2:0, 灰度-RGB, YUV, - 从 8、10、12、14 到 16 位。

◆ 工作流程内的 HD/4K/8K 下取样 (即用于监控目的);

◆ 更低的 CPU/GPU 解码要求 (解码 HD 的消耗比 4K 和 8K 更少);

◆ 部分提取以加快分析和检测;

◆ 可以内置 1 至 2 级缩小器和部分抽样 HD。

JPEG XS 与传统的 XAVC 制作格式相比，同等码率条件下与 XAVC 编码画面质量基本相当，JPEG XS 的平均 PSNR 略好于 XAVC[22]，且明显好于 SMPTE ST 2042 VC2 视频压缩编码[21]，JPEG XS 的编码画面质量完全满足演播室的后期节目制作和母片存储。

JPEG XS 技术参数如下表所示：

表 8 JPEG XS 视频编码比特率和 5G 网络推荐比特率

格式	JPEG XS 视频编码比特率	5G 网络推荐比特率	备注
HD 720p60	70 Mbps - 200Mbps	25Mbps-75Mbps	①JPEG XS 比特率为适合在 SDI 电缆或者 IP 网络传输的比特率，IP 网络比特率与网络带宽相关； ②5G 网络比特率为推荐在 5G 网络下传输的比特率，取决于 5G 网络上行的带宽；
HD 1080i60	70 Mbps - 200Mbps	25Mbps-75Mbps	
HD 1080p60	150 Mbps - 400Mbps	50Mbps-120Mbps	
4K 2160p60	500 Mbps - 1,6 Gbps	150Mbps-500Mbps	
8K 4320p60	2 Gbps - 6,4 Gbps	NA	
8K 4320p120	4 Gbps - 12,8 Gbps	NA	

随着 HD/UHD TV 的发展，视频节目的分辨率和码率都在不断提高，SDI 接口速度也在不断提升，已经由 3G SDI，越过 6G SDI，达到 12G SDI，即 SMPTE ST2082-1。据悉 ST2083 支持 24G SDI 接口规范也在制定当中。高速的 SDI 信号对电缆的制作工艺和成本要求不断提高，受传输距离和大量布线的挑战。JPEG

XS 编码与 SMPTE 2110-22 结合，使用高速 IP 链路将减少电缆数量，灵活实现交互和中央系统管理，降低系统成本。

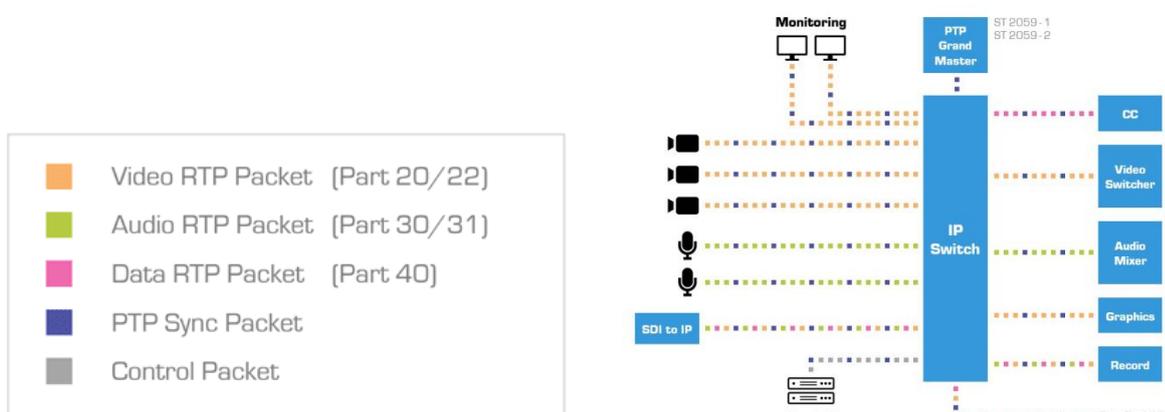


图 29 JPEG-XS 采用 ST 2110-22 的传输场景

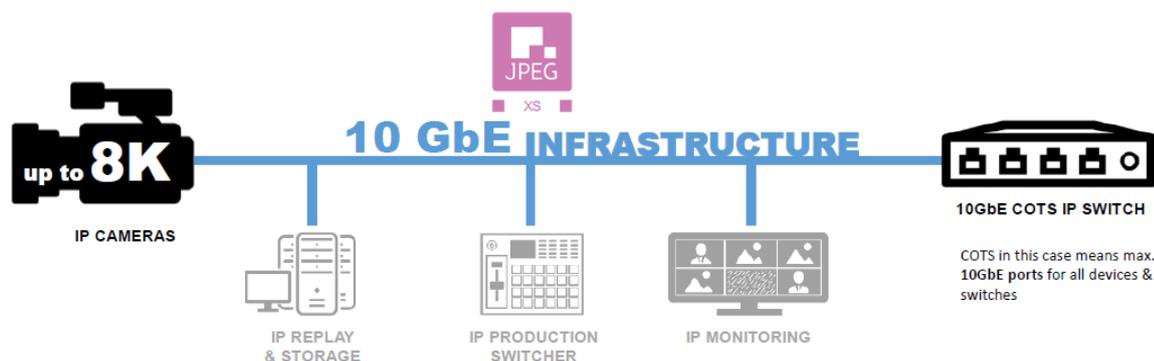


图 30 IBC2019（9 月 13-17）IP 架构展示场景

采用 JPEG XS 进行视频编解码，可以实现母盘的图像质量，端到端时延可以低至 0.1ms。在布线不便的移动视频直播领域，结合 SMPTE ST 2110-22 经由 5G 网络上行传输，可以实现超低时延，满足演播室等视频节目远程制作的需求。

据 JPEG 第 91 次会议（2021 年 4 月 19 日至 23 日在线会议）[23]，JPEG XS Part1（核心编码系统）和 Part3（传输和容器格式）的第二版已经准备进行 FDIS（Final Draft International Standard，国际标准最终草案）的投票，并计划在 2021 年 10 月之前发布这两个标准。第二版集成了新的编码和信号传输能力，以支持 RAW Bayer CFA（Colour Filter Array，滤色器阵列）图像、4:2:0

采样图像和每个分量高达 12 比特的数字无损编码。相关的配置文件和缓冲区模型在 Part2 中给出，该部分目前正在进行 DIS 投票。现在的重点已经转移到了 Part4（一致性测试）和 Part5（参考软件）的第二版的工作上。最后，JPEG 委员会定义了一项研究，以调查未来对 HDR 和数字无损压缩能力的改进，同时仍然满足低复杂性和低延迟的要求。特别是，对于 RAW Bayer CFA 内容，JPEG 委员会将致力于 JPEG XS 的扩展，支持在 12 比特以上的采样深度的 CFA 模式的无损压缩。

4 5G 视频上行传输实测案例简析

4.1 SRT 协议在无人机图传应用案例

IMT-2020(5G)推进组《5G 无人机应用白皮书》定义了典型的无人机市场 8 大应用场景，包括编队飞行、物流、农业植保、巡检、安防、应急、测绘、娱乐直播等，并且给出了不同应用场景下的上下行速率、业务端到端时延、控制端到端时延等方面的技术要求。其中，对于测绘和视频直播上行业务速率要求最高达 100Mbps。

3GPP 曾经针对 LTE 网络服务飞行器进行了仿真和测试，由于基站天线仰角和辐射方向图的最主要原因，结论是 300m 以上飞行高度基本无法使用宏网络，需要组建专网。5G 场景的无人机飞行具有高速性，存在一定的多普勒频移。同时，无人机由于 RF 射频信号视距传播特点会受到大量的干扰，无人机随着高度层上升，会受到大量视距邻区干扰，导致下行平均 SINR 急速下降，与此同时也会带来更频繁的网络切换。

在无人机（UAV）飞行服务网络建设方面，无人机在 300m 以下的低空域可以使用 2C 的公网共享基站接入，300m 以上无人机可以使用专网基站接入。无

人机专网用户可以在公网共享基站和专网基站之间灵活切换，满足数据传输的需要。

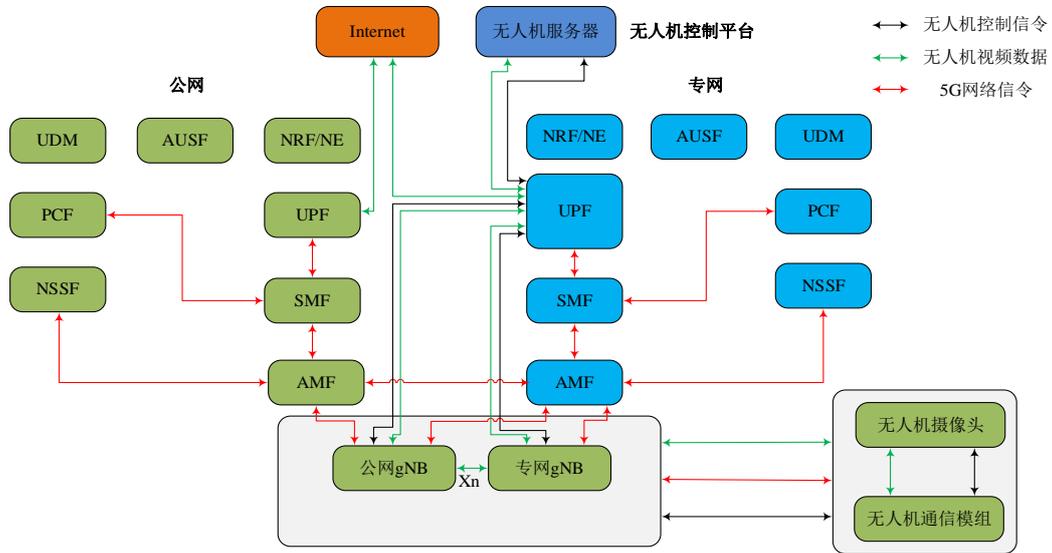


图 31 5G 网络系统架构和拓扑图

由于无人机视频传输需要具有大速率上行，低时延，安全可靠传输的特点。因此，在视频大上行传输方面要考虑传输效率高，低时延，具有丢包重传和纠错的“鲁棒性”传输协议。SRT 安全可靠传输协议因其性能卓越做为首选的视频传输协议，与之对比测试的是 RTMP 实时消息传输协议。

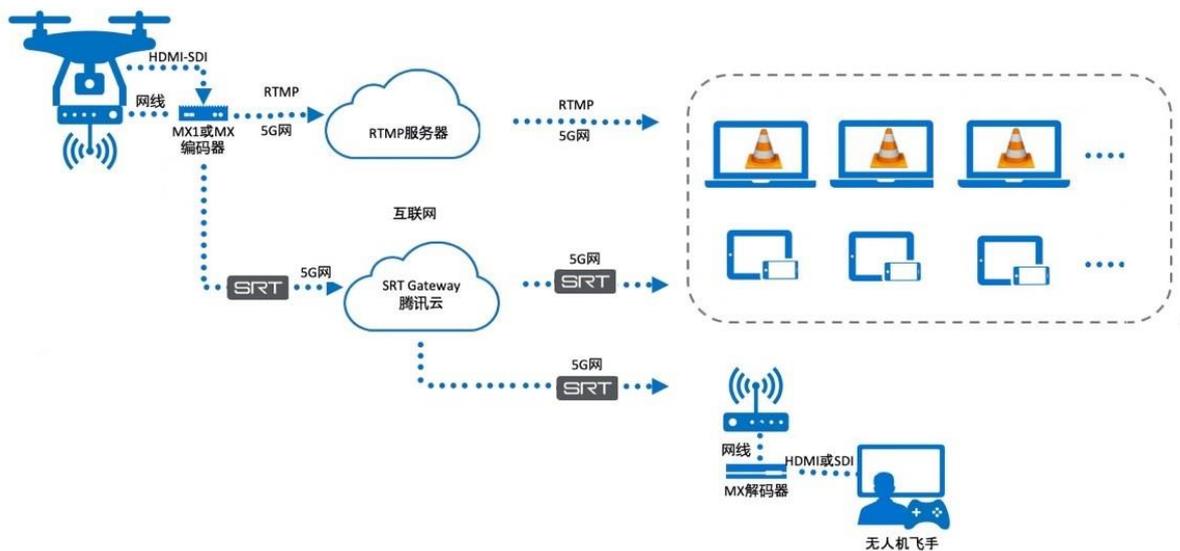


图 32 SRT 协议图传在 5G 网络应用拓扑图

为精确进行 RTMP 和 SRT 的对比，测试系统选择使用 Haivision 的 Makito MX1 Rugged 硬件视频编码器，该编码器整体重量不足 380g，功耗不足 8W@+5V，支持 H.264/AVC 和 H.265/HEVC 视频编码，能够同时对视频进行 RTMP 和 SRT 的推流。由于 Makito MX1 Rugged 硬件视频编码器的视频输入接口为 SDI，因此测试环节中加入了“HDMI-转 SDI”适配器（这里引入了一定的时延）。电脑屏幕时钟通过 HDMI 输出转换成 SDI 信号给 Makito MX1 Rugged 编码器进行 H.264 的视频压缩编码，然后同时分别用 RTMP 协议和 SRT 协议推流到腾讯云服务器，最后再用电脑的 VLC 软件进行拉流，通过用相机对视频源图像和解码的图像拍照对比时延。

实验选取的 5G 网络，已经完成 2C 和 2B 的网络覆盖，其中 5G SA 对空 2B 专网，已经覆盖了 1200km²的 3000m 以下的空域。为方便对比 RTMP 和 SRT 协议在 5G 无线网络中的视频上行传输能力，本次测试采用单基站分别进行“三叶草”和“单一航线”的飞行对比测试。无人机实际飞行相对地面高度： $\geq 400\text{m}$ ，相对地面速度 100Km/h，无人机在起降过程中需要进行 2C 和 2B 的无线网络切换。无人机发射功率：0.2W；极化方式：垂直极化/水平极化；发射天线增益：2.15dBi；基站天线增益：13.5dBi；基站天线挂高：30m。

4.1.1 无人机地面 2C 的公网下 RTMP 协议和 SRT 协议的时延对比

电脑时钟-->HDMI-转 SDI--> Makito MX1 Rugged SRT 推流 --> SRT Gateway（腾讯云） --> VLC（2.1 秒）

电脑时钟-->HDMI-转 SDI--> Makito MX1 Rugged RTMP 推流 --> RTMP Gateway（腾讯云） --> VLC（3.1 秒）

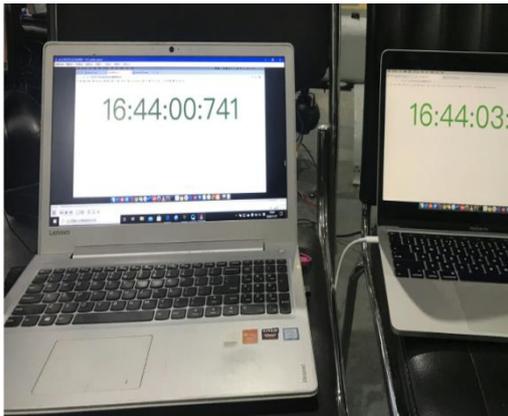


图33 RTMP端到端时延（约3.1秒）

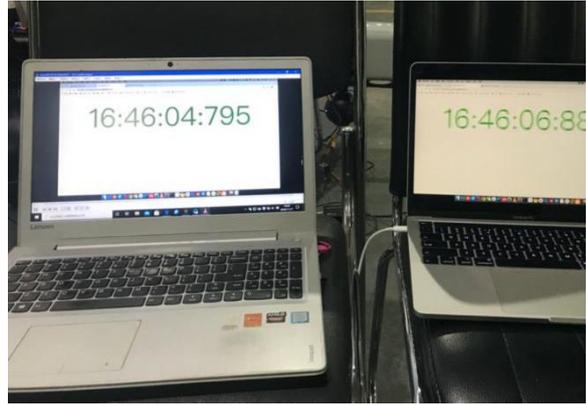


图34 SRT端到端时延（约2.1秒）

4.1.2 无人机空中 2B 的专网下 RTMP 协议和 SRT 协议的对比

现场测试时，由于空中航线管制的原因，测试只能在夜间进行。考虑到夜间VR光学吊舱可能拍摄到的画面内容不够“丰富”，因此无人机上搭载了安卓手机播放“战狼2”蓝光片源做为视频源，手机的Type-C接口输出的数据经“HDMI-转SDI”适配器给Makito MX1 Rugged编码器进行5Mbps的H.264（1080P@60fps）的视频压缩编码，然后同时分别用RTMP协议和SRT协议推流到腾讯云服务器，最后用电脑的VLC软件和手机APP软件进行拉流对比和数据分析。

信号流程：手机 Type-C-->HDMI-SDI -->Makito MX1 Rugged 编码器（SRT + RTMP ）-->VLC 或手机 APP（ Haivision Play APP）播放观看

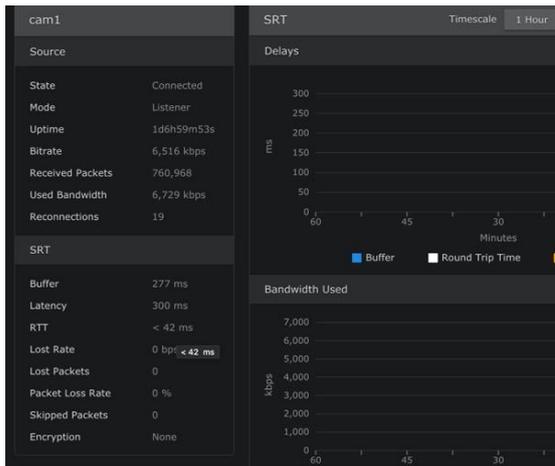


图 35 起飞前推流稳定 RTT 约 42ms
无丢包

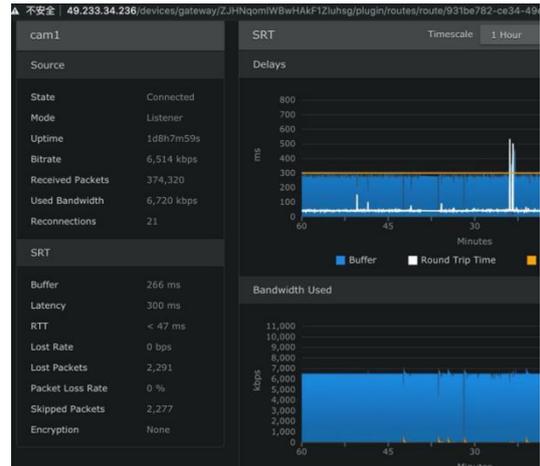


图 36 8 公里外到 10 公里以及转向
期间的网络不可用状态

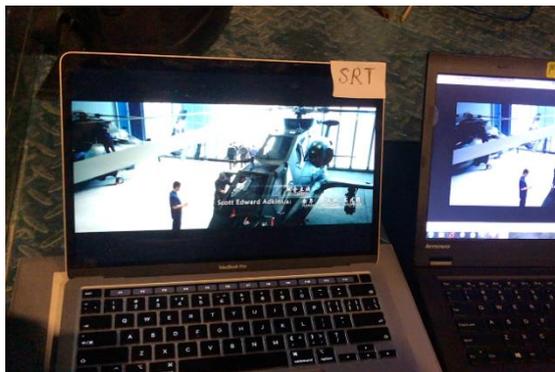


图 37 (起飞阶段拉流均有视频,
RTMP 比 SRT 滞后约 1-2 秒)

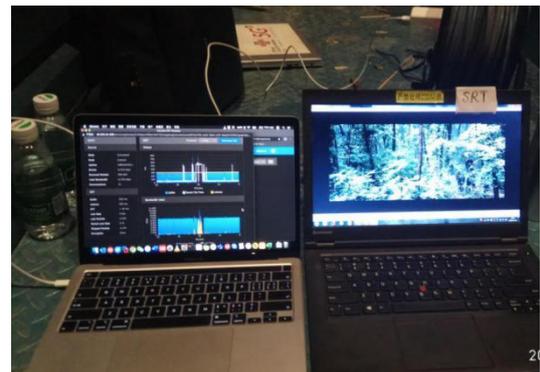


图 38 起飞后飞行约 2Km 时,
RTMP 断掉, 无法重连, 图像消
失, 改用 SRT 全程监看

4.1.3 无人机“单航线”SRT 协议测试;

无人机上搭载了安卓手机播放“战狼 2”蓝光片源做为视频源, 手机的 Type-C 接口输出的数据经“HDMI - 转 SDI”适配器给 Makito MX1 Rugged 编码器进行 8Mbps 的 H.265 (1080P@60fps) 的视频压缩编码, 然后用 SRT

协议推流到腾讯云服务器，最后用电脑的 VLC 软件和手机 APP 软件进行拉流测试。由于 RTMP 协议不能支持 H.265 的视频压缩编码，因此此次飞行未能进行对比测试。

信号流程：手机 Type-C-->HDMI - SDI -->Makito MX1 Rugged 编码器（SRT）-->VLC 或手机 APP（Haivision Play APP）播放观看

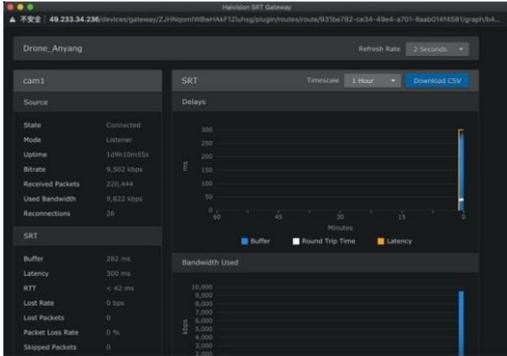


图 39 起飞准备时的推流状态

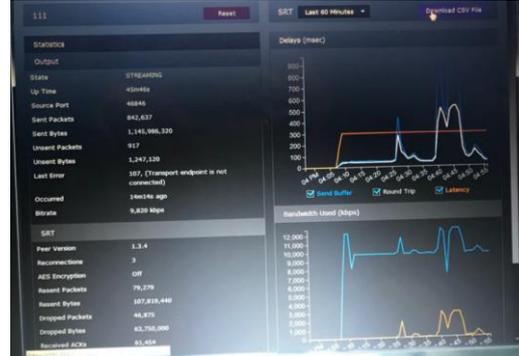


图 40 编码器上的全程推流状态记录统计

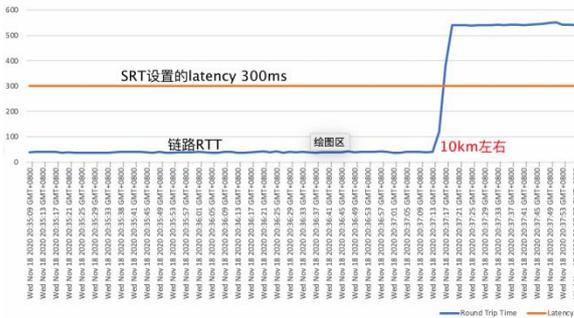


图 41 飞行 10Km 左右 RTT 增大

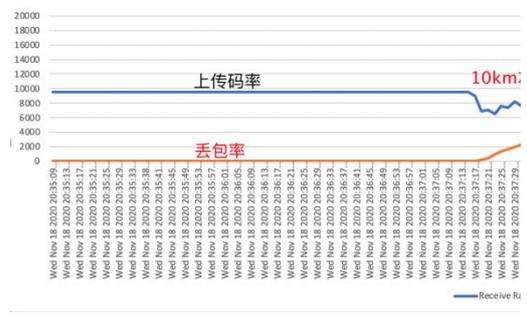


图 42 飞行 10Km 左右上传码率下降

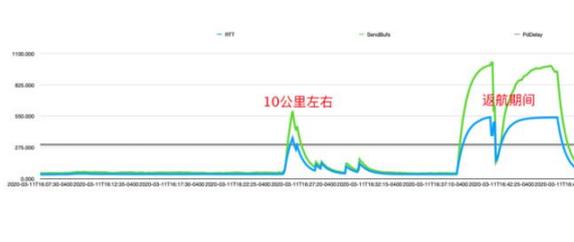


图 43 编码器航程统计数据还原(RTT 抖动和发端 Buffer 变化)

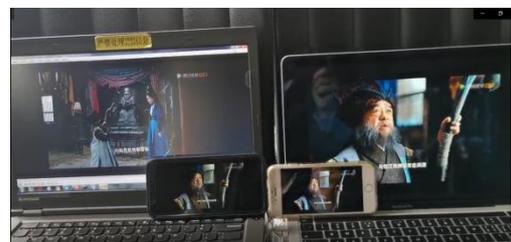


图 44 电脑 VLC 和手机 Haivision Play APP 播放观看

4.1.4 RTMP 协议与 SRT 协议对比结论:

①“三叶草”飞行，除第一个方向在 8 公里外至尽头出现网络不可用时段，其它方向 SRT 推拉流状态都很稳定（SRT 传输延时设置上行 300ms，下行 150ms）。

②无人机在“三叶草”飞行整个航程中除网络不可用区间外，上行链路 RTT 都在 40-45ms 左右抖动，丢包率接近于 0%，偶尔浮动。

③腾讯云至 5G 下行链路 RTT 在 23ms 左右，丢包率 0%。

④采用 Makito MX1 Rugged 进行 H.264 视频编码，分别进行 SRT 和 RTMP 推流至同一服务器网关，然后拉流测试，SRT 较 RTMP 快 1 秒。

⑤无人机在“三叶草”飞行测试中，RTMP 推流在起飞后不久（目视不足 2 公里）就失去了和 RTMP 服务器的连接。初步分析原因可能为起飞过程中进行了 To C 和 To B 网络的切换，瞬间网络中断，由于缺乏自动重连机制且无法远程访问设备进行重连操作，后续航程没有观测到 RTMP 的结果。

⑥RTMP 协议不能支持 H.265 视频压缩编码，且视频传输的“可靠性”，“低时延”和“鲁棒性”不及 SRT 协议。

4.2 RTMP 和 SRT 在移动网络传输性能比较 (5G 融媒联创实验室测试数据)

为充分对比 RTMP 协议和 SRT 协议在“受限”网络的传输能力，我们在 5G 融媒联创实验室采用恒定 65Mbps 带宽的网络，同时进行两路 30Mbps 的 SRT 视频传输和一路 30Mbps 的 RTMP 视频传输。在同一网络下，采用 SRT 协议传输的两个视频播放器图像正常，RTMP 协议的播放器，无图像。分析捕获数据的

数据包发现 RTMP 协议存在大量的数据包丢失，SRT 协议则无数据包丢失。

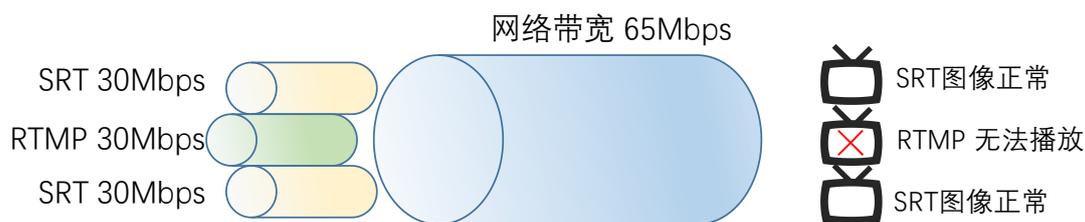


图 45 SRT Vs RTMP 在受限网络的传输

实验过程中, 在相同的网络下, 分别传输同样的 H.264 压缩编码的视频对比测试, 可以看出整体上 SRT 协议的时延大大低于 RTMP 协议的传输时延。

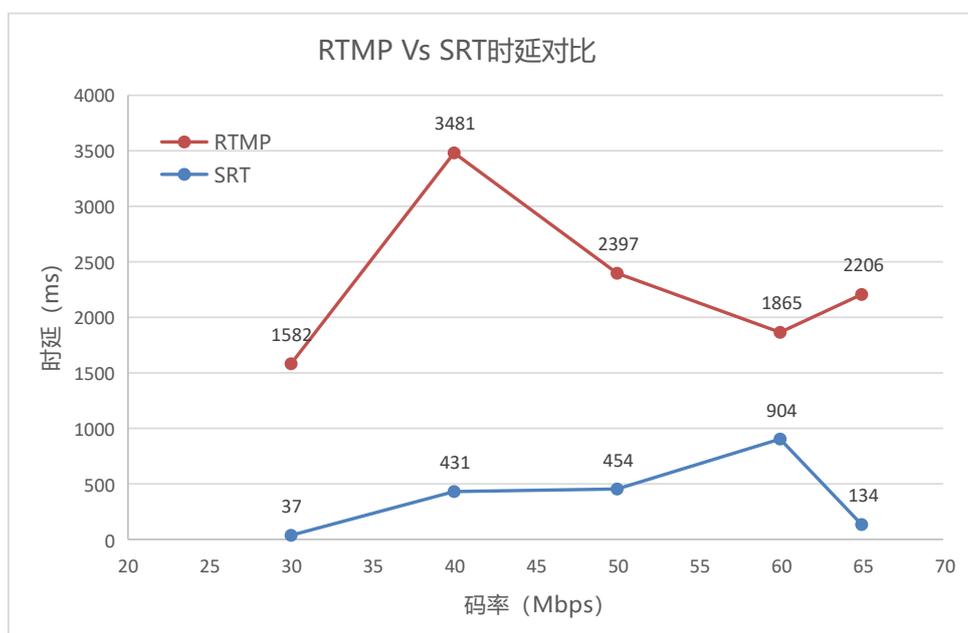


图 46 SRT Vs RTMP 的传输时延对比

4.3 5G 毫米波 (26GHz) 8K 视频上行传输测试

为评估 5G 毫米波的上行增强能力, 了解 5G 毫米波高带宽、高容量、低时延的技术优势。中兴通讯联合中国联通、高通技术公司、TVU Networks 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[24]。

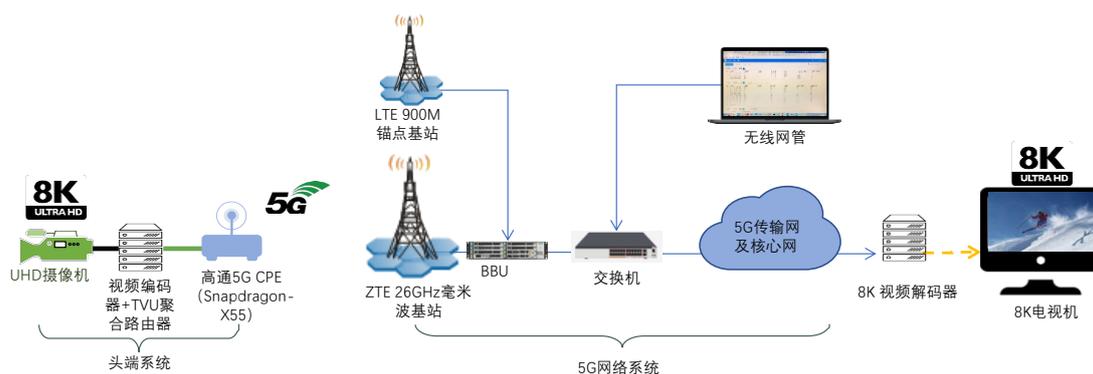


图 47 5G 毫米波（26GHz）8K 视频上行传输测试系统示意图

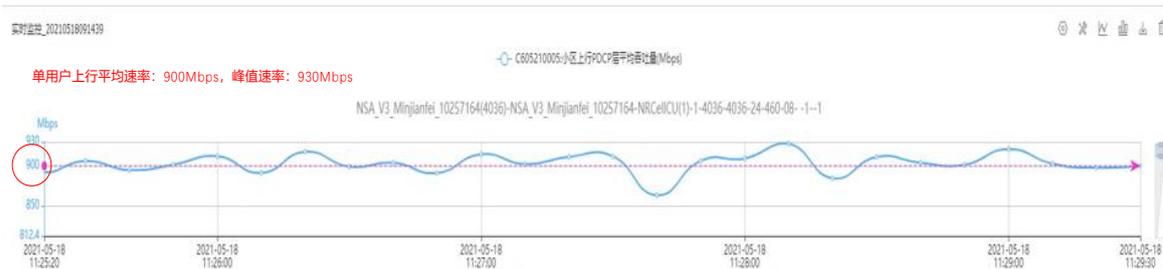


图 48 5G 毫米波（26GHz）上行传输速率

此次测试采用 NSA 组网方式，EN-DC 频段组合 B8+N258（26.5GHz~27.3GHz）设计，单用户上行带宽 200MHz，调制方式 64QAM，上行平均速率 900Mbps，峰值速率 930Mbps。由于采用了 DSUUU 帧结构，上行占比约 63%，相对于 DDSU 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 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。

5 5G 视频上行传输应用总结与展望

5G 视频的“大上行”能力将进一步驱动文化旅游，视频监控、远程教育，机器视觉等典型场景的应用。随着 5G 网络的建设和普及，将快速推进企业的自

动化、信息化和数字化平台的建设，尤其是广电节目内容生产，高清/超高清监控，机器视觉等应用场景，降低企业生产成本，提升产品质量和效率。

为满足 5G 视频“大上行”应用的业务场景需求，除可以考虑通过在 SUL 上行增强，上行载波聚合，多频段组网、小区分裂以及毫米波组网等方式来进行上行能力提升外，还可以从 MEC 应用，5G 网络切片，视频编解码算法与封装传输协议等方面进行 5G 视频业务“大上行”传输的能力辅助增强，进一步提升 QoS 能力。另外值得关注的是，中国广电与中国移动“共建共享”的 700MHz 的 LOS 传输低损耗的优势，将会进一步的提升远距离 5G 视频的上行能力。5G 毫米波大带宽，高码率，高容量，超低时延的特点将会推动工业物联网、AR/VR，云游戏，赛事转播等应用场景快速发展。在翘首以盼的 2022 年北京冬奥会上，5G 毫米波技术将有望大放异彩，为媒体转播者、赛事组织者和观众等带来优质的服务保障和良好的视听享受。

缩略语

缩略语	英文全称中文全称	英文全称中文全称
RF	Radio Frequency	无线电频率
SUL	Supplementary Uplink	补充上行链路
QoS	Quality Of Service	服务质量
UE	User Equipment	用户设备
TDD	Time Division Duplex	时分双工
PUCCH	Physical Uplink Control Channel	物理上行链路控制信道
NR	New Radio	新空口
LOS	Line Of Sight	视线
E2E	End to End	端到端
RB	Resource Block	资源块

5G 视频上行传输应用与挑战

uRLLC	Ultra Reliable Low Latency Communication	超高可靠超低时延通信
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	无人机
TDM	Time Division Multiplexing	时分复用
eMBB	Enhanced Mobile Broadband	增强移动宽带
FlexE	Flex Ethernet	灵活以太网
MAC	Media Access Control	媒体介入控制
MPLS	Multi-Protocol Label Switching	多协议标签交换
NFVI	Network Function Virtualization Infrastructure	网络功能虚拟化基础设施
UPF	User Plane Function	用户面功能
MEC	Multi-access Edge Computing	多址边缘计算
LADN	Local Area Data Network	本地数据网络
UL-CL	Uplink Classifier	上行分类器
Multi-Homing	Multi-Homing	多归属
SMF	Session Management Function	会话管理功能
PDU	Protocol Data Unit	协议数据单元
SLA	Service Level Agreement	服务等级协议
FPGA	Field-Programmable Gate Array	现场可编程门阵列
GPU	Graphics Processing Unit	图形处理器
ASIC	Application Specific Integrated Circuit	专用集成电路
SOC	System on Chip	片上系统
AI	Artificial Intelligence	人工智能
RTMP	Real Time Messaging Protocol	实时消息传输协议
WebRTC	Web Real Time Communication	网络实时通信
TCP	Transmission Control Protocol	传输控制协议
API	Application Programming Interface	应用程序接口
NDI	Network Device Interface	网络设备接口
SDI	Serial Digital Interface	串行数字接口
HDMI	High Definition Multimedia Interface	高清多媒体接口

5G 视频上行传输应用与挑战

UDP	User Datagram Protocol	用户数据报协议
GOP	Group of Pictures	画面组
QUIC	Quick UDP Internet Connection	快速 UDP 互联网连接
HTTP	HyperText Transfer Protocol	超文本传输协议
DTLS	Datagram Transport Layer Security	数据包传输层安全性协议
HLS	HTTP Live Streaming	HTTP 的流媒体网络传输协议
CMAF	Common Media Application Format	通用媒体应用格式协议
DASH	Dynamic Adaptive Streaming over HTTP	基于 HTTP 的动态自适应的比特率流协议
RIST	Reliable Internet Stream Transport	可靠的互联网流传输协议
SRT	Secure Reliable Transport	安全可靠传输协议
GRE	General Routing Encapsulation	通用路由封装
TLS	Transport Layer Security	传输层安全性协议
IMT	International Mobile Telecommunication	国际移动通信
3GPP	3rd Generation Partnership Project	第三代合作伙伴计划
2B	To Business	面向企业用户
2C	To Customer	面向普通用户
AVC	Advanced Video Coding	H.264 高级视频编码
HEVC	High Efficiency Video Coding	H.265 高效视频编码
FPS	Frame Per Second	画面每秒传输帧数
VLC	VLC Media Player	VLC 多媒体播放器
EVC	Essential Video Coding	MPEG-5 基本视频编码
VVC	Versatile Video Coding	H.266 多功能视频编码
FEC	Forward Error Correction	前向纠错
ACK	ACKnowledgment	确认/应答
NACK	Negative Acknowledgement	否定应答
RTT	Round-Trip Time	往返时间
CBR	Constant bitrate	恒定比特率
CVBR	Constrained-Variable Bitrate	恒定-可变码率

ABR	Adaptive BitRate Streaming	自适应比特率流
MBR	Multiple BitRate Streaming	多比特率流
CDN	Content Delivery Network	内容分发网络
SDI	Serial Digital Interface	数字分量串行接口
SMPTE	The Society of Motion Picture and Television Engineers	美国电影和电视工程师协会
JPEG	Joint Photographic Experts Group	联合图像专家组

参考文档

[1] 3GPP TS 22.261, “3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Service requirements for the 5G system; Stage 1, V18.2.0”, March, 2021;

[2] 3GPP TS 22.263, “3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Technical Specification Group Services and System Aspects; Service requirements for video, imaging and audio for professional applications (VIAPA); Stage 1, V17.3.0”, December, 2020;

[3] 3GPP TS 22.827, “3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Study on Audio-Visual Service Production, Stage 1”, December, 2019;

[4] 3GPP TS 38.101-1, “NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone V16.4.0”, June, 2020;

[5] Belden, Rev. 16, 20 Feb 2019 (C. Dole), Recommended Transmission Distance at Serial Data Rates, April 24, 2019;

[6] 5G 毫米波技术白皮书, ZTE;

[7] OIF Flex Ethernet Implementation Agreement: IA OIF FLEXE-02.1, July 2019;

[8] Web Real-Time Communications (WebRTC) transforms the communications landscape; becomes a World Wide Web Consortium (W3C) Recommendation and multiple Internet Engineering Task Force (IETF) standards, “<https://www.w3.org/2021/01/pressrelease-webrtc-rec.html.en>”;

[9] WebRTC transforms the communications landscape as it becomes a W3C Recommendation and IETF standards, “<https://www.ietf.org/blog/webrtc-standardized/>”;

- [10] NDI®/NDI®|HX/NDI®|HX2 对比, http://www.ndi.net.cn/NDI-HX2-duibi.html#_ngc=1&_np=0_2966_3;
- [11] Industry Reacts With Excitement to NDI®5, <https://ndi.tv/blog/industry-reacts-with-excitement-to-ndi-5/>;
- [12] Rick Ackermans, RIST Activity Group Chair, "RIST;What is the Future";
- [13] Haivision, "BROADCAST IP TRANSFORMATION REPORT 2020-The State of IP and Cloud Adoption in the Broadcast Industry";
- [14] Haivision, "SRT Protocol technical overview", October, 2018;
- [15] GB/T 28181-2016 公共安全视频监控联网系统信息传输、交换、控制技术要求, 2016-07-12;
- [16] <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc3551>;
- [17] Wes Simpson, "SMPTE ST2110 in 60 Minutes", IP SHOWCASE THEATER AT NAB - APRIL 8-11, 2019;
- [18] Andreas Hildebrand, RAVENNA Evangelist, "What is SMPTE ST2110?", ISE Amsterdam, February 6, 2019;
- [19] NTT COM, "5G での放送コンテンツ (SMPTE ST 2110 規格) の伝送実験に世界初成功 ~ 非圧縮での 4K/8K 映像の無線伝送実現への第一歩 ~", <https://www.ntt.com/content/dam/nttcom/hq/jp/about-us/press-releases/pdf/2019/0703.pdf>, July 3, 2019;
- [20] ZiXi Broadcaster User Guide, V1.9 "http://pro.jvc.com/pro/attributes/SEG/manual/BR-800_User_Guide_V19.pdf";
- [21] Jean-Baptiste Lorent, "JPEG-XS and ST 2110", IP SHOWCASE THEATRE AT IBC2019 : 13 - 17 SEPT 2019;
- [22] 崔建伟, 中央广播电视总台, 《现代电视技术》, 2020 年 10 月;
- [23] https://jpeg.org/items/20210507_press.html;
- [24] 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>;
- [25] Bruce Carriker, President and Founder, AVI, "SDI SMPTE Primer-Serial Digital Interface and SMPTE Standards", 101;
- [26] 3GPP, System architecture for the 5G System (5GS), Rel-16 V16.7.0;

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，仅表达诚挚的感谢。

ABS-国家广播电视总局广播电视科学研究院	张宇 (Yu Zhang)
Chinaunicom-中国联合网络通信集团有限公司	王波 (Bo Wang)
Communication University of Shanxi-山西传媒学院	任石青 (Shiqing Ren)
4K Garden-4K 花园	于路 (Lu Yu)
Ateme	陈朋奕 (Ben Chen)
Qualcomm-高通	曹一卿 (Yiqing Cao)
Aliyun-阿里云	陆薇 (Wei Lu)
OPPO-广东移动通信有限公司	张磊 (Lei Zhang)
ZTE-中兴	刘耀东 (Yaodong Liu) 王瑞明 (Ray Wang)
Haivision	李翠琳 (Cuilin Li)
China Unicom Network Technology Research Institute-中国联通网络技术研究院	王湘宁 (Xiangning Wang)
Beijing Radio and Television Station-北京电视台	程宏 (Hong Cheng)
Startimes-北京四达时代软件技术股份有限公司	董雷 (Lei Dong)
Communication University of China-中国传媒大学	林涛 (Tao Lin)

Hangzhou Arcvideo Technology Co., Ltd.-杭州当虹科技股份有限公司	陈勇 (Yong Chen)
Beijing Evomedia Technologies Co., Ltd-北京未来媒体科技股份有限公司	王倩 (Qian Wang)
B&M Modern Media Inc. -广州波视信息科技股份有限公司	王兆春 (Violet Wang)

感谢由山西移动, 山西云媒体, 山西传媒学院以及中兴通讯在山西传媒学院联合创建的 5G 融媒联创实验室为白皮书提供了宝贵的测试数据, 同时也感谢 ATEME 提供了必要的测试支持。

