

5G+VR 网联无人机航拍观景系统设计及应用研究

黄春华¹ 敖进¹ 康德^{2*} 吴夏³

1. 四川公众项目咨询管理有限公司；2. 四川省通信产业服务有限公司成都市分公司；3. 中国电信股份有限公司四川分公司

摘要：目前，景区一般采用 2.4GHz/5GHz 微波图传技术通过无人机航拍观景系统向游客提供俯瞰视角景色体验。2.4GHz 频段无法支持 4K/8K 分辨率视频传输，5GHz 频段传输距离较近，微波图传技术要求无人机发送端与客户接收端直线传输，不适用于环境复杂的山地景区。为满足智慧景区安全、高质量发展需求，提出 5G (5th Generation Mobile Communication Technology, 第五代移动通信技术)+VR (Virtual Reality, 虚拟现实技术) 网联无人机航拍观景系统设计方案，通过国内著名景区的案例应用，让游客身临其境，验证了 5G+VR 网联无人机航拍观景系统独特的多机位、多视角、沉浸式、临场感及互动性，让游客感受到全新的视听盛宴；系统自身具备云网与无人机设施，为森林火灾、应急救援等突发事件提供大宽带、低时延 5G 应急通信和无人机支援，助力旅游业创新发展。

关键词：5G；VR；网联无人机；MEC；CPE；IPsec

随着低空无人机行业高速发展，无人机通信链路提出了新需求，呈现出与蜂窝移动通信技术紧密结合的发展趋势，形成“网联无人机”^[1]。5G eMBB (Enhanced Mobile Broadband, 增强型移动宽带) 大视频直播技术与 5G 网联无人机技术的深度整合，5G+VR 网联无人机航拍观景技术在旅游业智慧景区应场逐步开始运用。为改变传统文旅观景模式、提升旅游品质，让游客在景区享受到独特的观景视角和极致体验，本研究基于 5G 新基建及智慧旅游政策导向、各方需求、技术创新、5G 2B (To Business, 面对商业) 业务拓展需要提出 5G+VR 网联无人机航拍观景新基建融合方案，主要包含售票区、VR 观景区、云网设施区和无人机区基础设施建设；从网联无人机、空口、5G 基站、承载网、核心网安全进行系统设计，确保旅客在利用 VR 大视频观赏景区独特动态风姿过程中的网络信息安全与应急保障。

1 研究背景

我国旅游业正处于高速发展阶段，旅游景点的旅游人数逐渐增多，对于以自然风光为主的旅游景点，游客希望能尽量多地感受到旅游景点的独特风光与美景。目前，景区能为游客提供的观景体验方式主要是乘坐观光用的载人直升机、缆车、热气球等设施，成本昂贵，安全风险高，亟需一种低成本、高安全、高品质的观景体验系统来满足游客需求。旅游景区的游

客线上体验 / 景色视频传播较少，很多景区都开始注重线上游、视频游，但是景区的视频资源还远远没有得到合理开发利用。大多数的旅游景区，传统的思路是追求游客数量的最大化，游客多了，门票收入及二次消费等综合收入才能增长。然而，游客量与游客的体验感往往成反比，体验感一般又与景区的服务品质成正比。同时，景区还需要在森林火灾、自然灾害、应急救援等特殊、应急状态下保障游客生命财产安全和大自然的生态环境。5G+VR 技术的高速发展和行业推广为网联无人机航拍观景应用场景提供前瞻性的技术支撑。

2 基础设施设计

本研究基础设施采用铝合金箱式设计，箱体与半挂车焊接。半挂车带有轮胎锁止装置，防止在开展无人机观景业务时意外移动。箱体内部结构分为售票区、VR 观景区、云网设施区和无人机区，如图 1 所示。

2.1 售票区

游客从收缩步梯进入售票区，经工作人员售票或验证后，由电动侧滑门进入 VR 观景区。5G 基站天线杆为电液推杆，底部与铝合金箱体地面螺栓固定连接，顶部安装 5G 基站 AAU (Active Antenna Unit, 有源天线处理单元)。电液推杆缩短伸出铝合金箱体外部，将 5G 基站 AAU 设备架高；无人机观景设施整体需要移动运输时，电液推杆缩短，将杆体、5G 基站 AAU

作者简介：黄春华（1984—），男，本科，工程师，研究方向为 5G 智慧行业应用及网络安全。

敖进（1983—），男，本科，工程师，研究方向为信息通信建设及 5G 智慧行业应用。

吴夏（1981—），男，本科，工程师，研究方向为 5G 智慧行业应用及网络安全。

通讯作者：康德（1984—），男，本科，高级工程师，研究方向为 5G 智慧行业应用。

设备收纳进铝合金箱体，以满足车辆运行高度。

2.2 VR 观景区

观景区游客座位与铝合金箱体地面螺栓固定连接，每个座位配有一套 VR 观景设备，用于游客观看网联无人机航拍视频。5G CPE (Customer Premise Equipment, 用户前置设备) 为所有 VR 观景设备提供 Wi-Fi (Wi-Fi, 无线网络通信技术) 连接。

2.3 云网设施区

云网设施区机柜内安装 5G 基站 BBU (Baseband Unit, 基带处理单元)、多媒体服务器、通信运营商自研 MEC (Multi-Access Edge Computing, 多接入边缘计算) 服务器。5G 基站 BBU 与 AAU 设备采用光纤连接，多媒体服务器、MEC 服务器与 5G CPE 采用以太网网线连接。

2.4 无人机区

无人机区的机库用于保存 5G 网联无人机并进行

无线充电。无人机起降时，起降通道门向下打开，机库内部伸缩起降平台伸出，将 5G 网联无人机送出铝合金箱体而飞到景区进行视频拍摄。

3 5G+VR 网联无人机通信系统设计

5G 网联无人机是对原有无人机系统的全面升级^[2]。5G+VR 网联无人机航拍观景系统开展业务时，从实施现场就近的通信运营商光交接箱中引接一根光纤与机柜内安装的 5G 基站 BBU 设备相连接，外部提供交流电源输入，从而完成本研究网络系统部署工作。5G 网联无人机中的 4K 摄像头与 5G 传输模块采用以太网线连接。4K 摄像头拍摄的航拍视频经 5G 传输模块与基础设施中新建的 5G 基站或景区原有的 5G 基站采用空口 AES (Advanced Encryption Standard, 高级加密标准) 加密进行无线传输，实时上传采集的视频流媒体，如图 2 所示。

上传的视频流媒体经通信运营商光纤链路传输至

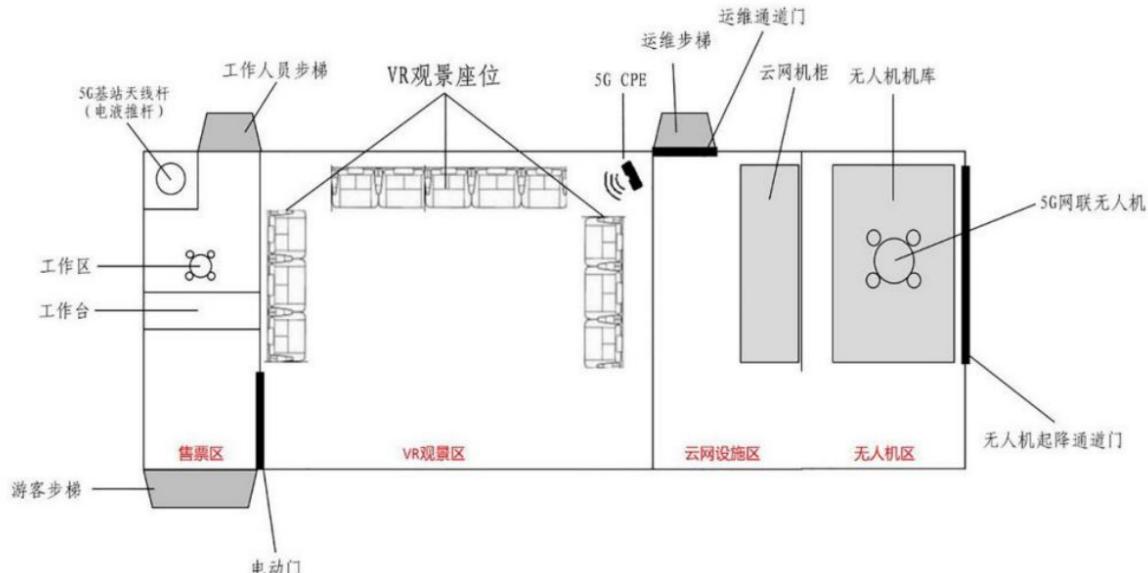


图 1 5G+VR 网联无人机航拍观景系统基础设施设计

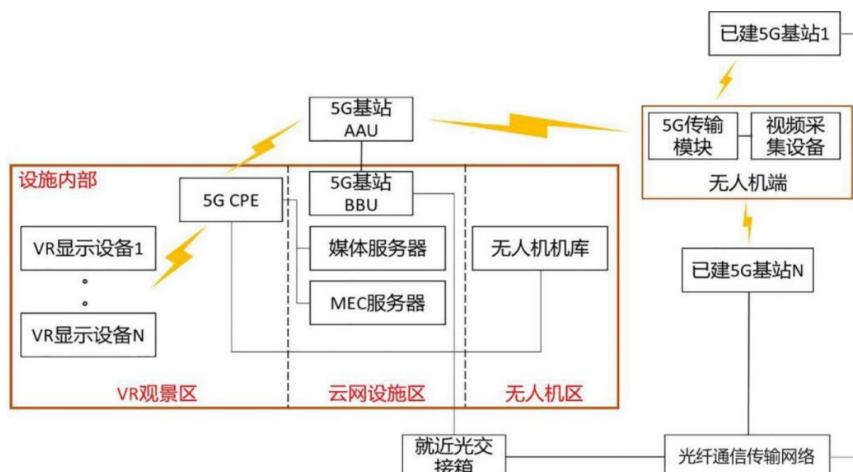


图 2 5G+VR 网联无人机通信系统设计

基础设施中安装的 5G BBU 设备，经 5G AAU 无线传输至 5G CPE，再经以太网传输至机柜中的媒体服务器，媒体服务器还可以将接收到无人机航拍视频录制成视频文件保存。游客佩戴 VR 显示设备通过 5G CPE 提供的 Wi-Fi 无线网络从媒体服务器中观看 5G 网联无人机航拍视频流媒体。MEC 服务器的无人机飞控系统通过 5G 无线网络向 5G 网联无人机发送飞行和视频采集控制指令，通过 5G 无线网络获取 5G 网联无人机回传信息。5G 联网无人机飞行观景路线由飞控系统制定，按计划自动执行飞行任务。MEC 服务器的 CDN (Content Delivery Network，内容分发网络) 系统能够将媒体服务器中的视频直播流媒体、视频录像文件通过互联网分发到通信运营商的 CDN 节点，供全国互联网用户观看体验。

4 网络与信息安全架构设计

本研究在终端、网络、云端、应用服务器、主机设备部署安全检测与响应方案，通过流程管理、用户隐私保护、威胁检测与响应共同构建主动防御体系，提升网络安全韧性。

4.1 终端安全

5G CPE 通过 AES 与 5G 基站加密通信，Wi-Fi 通过 WPA-PSK (Wi-Fi Protected Access-Pre-shared Key，基于预共享密钥的 Wi-Fi 认证协议) 来加密保护 VR 与无人机设备间数据传输。身份认证使用国家标准密钥算法 SM2(椭圆曲线公钥密码算法)、SM3(国产哈希算法)证书，在无人机项目中采用密码鉴权、证书身份认证以及系统韧性恢复措施，确保在整个链路中不会存在被遥控、干扰等问题。

4.2 网络安全

本研究采取网络设备认证、内网 IP 隔离、内网防火墙、安全审计等技术，避免数据在网络域传输过程中遭受窃听、篡改、伪装和攻击。在无人机中使用中间传输网络，采用数字证书做身份认证、IPsec 做数据加密以及完整性保护，避免因中间传输被攻击导致无人机链接异常而影响游客观景体验，如图 3 所示。

4.3 用户隐私保护

保护用户隐私是一项重要的责任和法律要求。明确告知用户收集和使用其个人数据的目的，并在收集数据时获取用户的明确同意。在整个无人机项目中，对客户身份信息以及体验过程中的视频等均由严格的保护，不会泄露个人信息。本系统遵从合规性和法规，采用数据最小化原则，对用户个人数据进行匿名化处理和脱敏，以减少用户身份的可识别性。提供用户对其个人数据的访问、更正、删除等权利，并确保用户能够随时撤回对数据的授权。

4.4 威胁检测与响应

传统静态安全防御技术缺乏主动反应能力，无法应对动态变化的网络安全环境。本研究采用 ASA (Adaptive Security Architecture，自适应安全框架) 主要从防御、检测、响应、预测等维度进行网络安全威胁与风险的纵深防御，是基于安全情报的攻击预测分析和事件的自动化快速响应。自适应安全框架 ASA 则围绕持续可视化和评估、用户与系统行为开展防御。

5 应用案例

5.1 网络硬件部署

随着 5G 技术与应用逐步推广，技术与行业融合将随之加速，新业态、新模式正在不断涌现^[3]。本研究系统设计方案在国内某著名景区进行实际应用。项目实施现场已有 5G 网络覆盖，需要关闭移动观景设施中安装的 5G 基站，以防 5G 基站之间相互产生信号干扰，影响视频流传输的稳定性。实施现场无 5G 网络覆盖，无人机航线范围也没有 5G 网络覆盖，需要开启移动观景设施中安装的 5G 基站，使用 5G 基站 AAU 设备所具备的发射功率调整功能、MIMO 功能、波束赋形功能，调整 5G 基站 AAU 设备安装的物理倾斜角和电子倾斜角，使得 5G 基站 AAU 设备所发出的 5G 电磁波信号尽可能远地覆盖无人机飞行的航线，以扩大无人机飞行航拍的覆盖范围。经过实际测试，在最大限度优化 5G 基站配置参数、并使用中国电信等运营商 5G 网络切片和超级上行等创新技术的情况下，

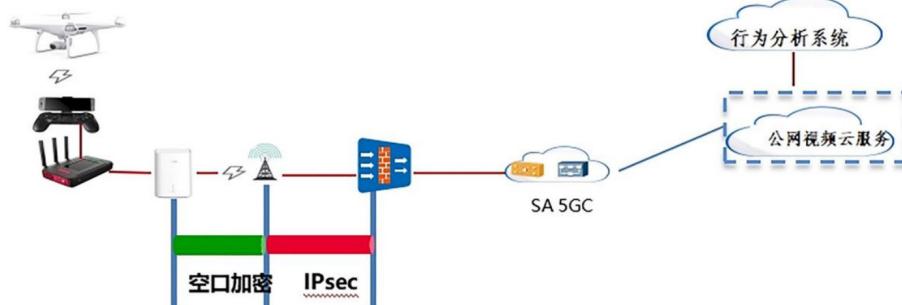


图 3 5G+VR 网联无人机通信系统网络安全设计

单个5G基站信号覆盖范围可支持无人机在半径1.5km的可视范围内飞行，并保证4K分辨率、10Mb/s+码率的直播视频流无卡顿。

5.2 软件功能设计

每一台VR眼镜均有唯一的二维码，游客通过手机扫描二维码的方式与某一台VR显示设备的内容选择界面进行交互，可选择播放实时视频流或录制的视频文件，不同的播放内容可以设置不同的价格。在游客选择好播放内容并通过手机付费后，内容选择界面将向后台管理系统发出相应指令，从媒体服务器中获取游客选择的内容进行播放。在所有选择内容播放完毕后关闭显示，提示游客离开。游客在观看完所选视频后，可以登录自己的天翼云盘，在付费后将所选视频下载到自己的云盘中。

5.3 应用结果分析

应用项目通过移动观景设施提供5G基站设备和网络，在外部环境不具备5G网络时，本设施也可以向游客提供4K/8K超高清实时无人机航拍观景体验；在外部环境具有5G网络时，无人机还可以与外部5G网络协同工作，增加航线覆盖范围和超高清视频流的传输范围。应用项目规划两条5G+VR网联无人机观景航线，已按规定向主管部门申请飞行空域。运营时，5G+VR网联无人机飞行计划轮流执飞两条航线，给游客更丰富的无人机观景体验。如图4所示，5G网联无人机将飞行至景点拐角处，将摄像头方向对准景点拐角侧，将平时无法到达并欣赏到的深处景色通过VR呈现在游客眼前，实现从高空环绕俯瞰景点。5G+VR网联无人机飞跃多个游客向往的景点后再原路返回，往返飞行时的摄像头朝向不同，将通过不同的视角让游客体会到不同景点独特的美。



图4 5G+VR网联无人机航拍观景点位卫星图

6 结语

目前，无人机在各行各业的应用场景中作为传

统方案的有力替代者频频出现，由此催生出了“无人机+行业应用”的低空智联网新兴产业发展模式^[4]。

5G+VR网联无人机航拍观景系统设计方案经产业应用验证，本项目通过无人机端将采集的影音信息反馈给用户端，使游客能够看到在自身在景区内无法看到的景观，提升观景效果，开拓观景视野；通过提供游客观景区域，使游客在体验无人机航拍观景时能够更舒适。本研究深度整合5G新基建和创新5G+文旅的刚需应用场景，从而提升景区品质，为游客带来旅游新体验，为景区提供线下游的创新的运营业务；利用该设施平台的宣传能力可以带动旅游属地农/特产品的销售。2022年中国民用无人机市场规模达443.58亿元，占全球无人机市场规模的比例保持在65%以上，到2025年我国工业无人机行业市场规模将保持持续增长态势^[5]。未来，5G+VR网联无人机飞控系统、视频流媒体系统能够与景区管理系统进行对接。景区管理部门将有更高的无人机控制权限，将5G+VR网联无人机挂载热成像摄像头、气象传感器等设施，可远程控制无人机进行景区管理应用飞行。无人机建模与VR技术作为新兴的技术手段，在灭火救援数字化预案中展现出巨大的应用潜力^[6]。5G+VR网联无人机航拍观景新基建自身具备云网设施和无人机设施，能在应对森林火灾、应急救援等突发事件中提供应用通信和无人机支援。5G+VR网联无人机航拍观景系统属于创新性的5G新基建设施，是一种融合开放性的平台型产品，可以承载多种场景的应用，开辟了5G新基建在文旅产业高质量发展的新形态。

参考文献：

- [1] 周立松, 李文彬, 兖抗, 等. 5G低空无线网络覆盖组网的探索 [J]. 信息通信技术, 2025, 19(01):63–70.
- [2] 刘牧洲, 席绪, 亚关蕾, 等. 5G网联无人机系统应用的关键问题 [J]. 信息通信技术, 2023, 17(05):15–21.
- [3] 李丽智, 黄敏, 吴文涛, 等. 5G网联无人机在安防行业应用的研究 [J]. 广西通信技术, 2023, (02):46–50.
- [4] 王俊杰, 王迪, 申奇, 等. 基于5G地面公网发展面向网联无人机的低空网络：分析与挑战 [J]. 中兴通信技术, 2025(08):1–12.
- [5] 周剑, 徐晓东, 李航宇, 等. 探析5G网联无人机技术体系对低空监管的作用 [J]. 中国安防, 2023(07):37–42.
- [6] 王丰刚. 无人机建模及VR技术在灭火救援数字化预案中的应用 [J]. 中国科技信息, 2025(15):97–100.