

# 5G 商用无人机业务感知优化实践

## Optimization of 5G Commercial UAV Service Perception

李 凌,姚赛彬,付 智,常士乐(中国联通上海分公司,上海 200080)

Li Ling, Yao Saibin, Fu Zhi, Chang Shile (China Unicom Shanghai Branch, Shanghai 200080, China)

### 摘 要:

上海市天然气主干网5G工业无人机巡线是5G垂直行业的新型应用项目,这种新型业务对网络能力提出了更高要求,体现在超低时延、超高速率及超远覆盖。利用5G中低空覆盖技术、高速移动技术、基站切换技术、边缘计算协同技术,最终高质量满足了巡检业务需求,大大减少人工成本,极大提升了工作效率和问题发现效率。为5G市场的发展提供了解决方案,提升了市场竞争力。

### 关键词:

5G;无人机;边缘计算

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2020.01.003

文章编号:1007-3043(2020)01-0011-04

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Abstract:

The 5G UAV patrol line of Shanghai natural gas backbone network is a new application project for the 5G vertical industry. This new type of service puts higher requirements on network capabilities, which is reflected in ultra-low latency, ultra-high speed and ultra-far coverage. The use of 5G medium and low altitude coverage technology, high-speed mobile technology, base station handover technology, and edge computing collaboration technology ultimately meets the requirements of inspection services, which greatly reduces labor costs, and improves work efficiency and problem discovery efficiency. This project will help the development of the 5G market and provide a solution of using 5G, and enhances market competitiveness.

### Keywords:

5G; UAV; MEC

引用格式:李凌,姚赛彬,付智,等. 5G商用无人机业务感知优化实践[J]. 邮电设计技术,2020(1):11-14.

## 1 概述

2018年,上海联通与上海天然气管网公司签署天然气主干网5G无人机巡线战略合作协议。为推动合作项目尽快上线,上海联通与中国联通研究院组建联合项目组,选定在崇明岛开展试验。在网络方面,建成天然气主干网沿线5G无人机专网,覆盖长度超过100 km。在终端方面,按照飞行高度400 m和飞行速度120 km/h的设计方案,完成机载任务计算机和5G CPE的集成,挂载4K超高清光电吊舱,支持4K超高清

视频流的实时编码及传输。在实时操控方面,为满足5G无人机实时操控和4K超高清视频实时回传的需求,网络侧部署边缘云MEC,与云端无人机业务平台有效协同,端到端时延低于20 ms。

### 1.1 无人机巡检优势

工业管线巡检是指对供电线路、输油管道、燃气管道等进行定期检查。早期,工业管线的巡检以人力巡检方式为主。由于此类设施大多处于环境恶劣的区域,传统的人工巡检方案受环境及天气等影响,工作量大、工作效率较低、成本较高,且存在一定的人身安全风险。为了弥补人力巡检的局限性,无人机巡检应运而生。

收稿日期:2019-11-16

图 1 示出的是无人机巡检发展趋势。

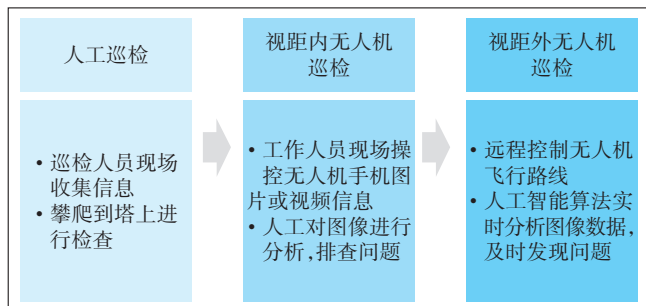


图 1 无人机巡检发展趋势

## 1.2 首个商用 5G 无人机项目

中国信通院发布《5G 无人机应用白皮书》，从无人机应用场景和通信需求、4G 网络能力、5G 网络能力、网联无人机终端通信能力、5G 应用案例、无人机安全飞行、标准进展等方面阐述了 5G 无人机应用的情况，标志着 5G 无人机技术已完成实验环境测试。

上海联通与天然气管网公司签订《5G 无人机战略合作协议》，天然气主干网 5G 工业无人机巡线于 2019 年 3 月 31 日首飞成功，成为全球首个商用 5G 无人机业务，获得客户高度认可。无人机巡检范围包括 83 km 管道中心两侧 200 m 内的房屋、建筑、水库等的占压，通过 5G 传送所拍摄影像资料，进行实时对比分析判断控制保护区变化情况。

本项目的三大亮点在于：主要实现识别控制保护区范围，并针对此范围开展巡查工作；项目主要实现三大功能，一是自动巡检，使用无人机巡线方案后，显著提升效率、降低成本。从原本的人工作业需要 12 h，缩短至 2 h，效率提升 6 倍；并保障了作业人员人身安全。二是智能分析，实时传送所拍摄的 4K 高清影像资料，通过智能识别技术，对无人机前后 2 次拍摄影像资料进行对比分析，判断控制保护区变化情况；三是实用价值，工业无人机采用航空柴油供能，具备飞行时间长、距离远的特点，通过 5G 网络完成 80 km 超长距离飞行控制，行业实用价值远高于小型电池驱动无人机。

## 2 无人机新型业务对网络能力带来挑战

### 2.1 飞行速度凸现的多普勒效应

多普勒效应是指随着移动物体与基站距离的远近，合成频率会在中心频率上下偏移的现象：当移动物体和基站越来越远时，频率增加，波长变短，频偏减小，频偏的变化增大；当移动物体和基站越来越近时，频率降低，波长变长，频偏增大，频偏的变化减小；高速移动

的用户频繁改变与基站之间的距离，频移现象非常严重；运动速度越快影响越大。

多普勒效应显著，进而影响无线通信质量，主要是频偏的变化程度呈非线性关系，也就是说频偏的变化越大对无线质量的影响越大，所以在无人机通过基站的过程中，经过与基站垂直距离最近的点时多普勒效应最显著。

根据 ITU 要求 TDD 网络移动速度达到 120 km/h，要求 FDD 网络移动速度达到 500 km/h。在规划 5G 站点的锚点时，FDD 是连续控制的系统，TDD 是时间分隔控制的系统，在目前芯片处理速度和算法的基础上，与 FDD 网络相比，TDD 网络还有一定差距。选择 FDD 系统作为 5G 锚点，在业务感知体验方面更有技术优势保证。

### 2.2 高空飞控信号更易受干扰衰减

对于高空飞行所涉及空域，需要确保网络能够在地面和空中飞行区域内的连续覆盖。同时，高空信号的干扰问题也不容忽视，一般基站天线都会设置有下倾角，包括机械或电子倾角，因此，天线的第一上旁瓣处于水平位置或高于水平位置。无人机飞行高度达到 400 m 时，极易出现干扰衰减。在考虑连续覆盖部署时，希望第一上旁瓣信号尽量弱一些。通过抑制上旁瓣来解决频率干扰问题。通常情况下要求上旁瓣小于 18 dB。

对于时延敏感的业务，减少频率干扰的另一种常用方法，是规划专用频率系统，即专网模式，该频率仅为连续覆盖区域内的基站使用，并需要保证在一定地域和空域范围内，没有其他基站采用相同频率工作。同时，利用菲涅尔区原理对 5G 工业无人机场景的天馈进行了特殊改造，即将上支架螳螂臂反向安装在下支架处，以达到专网对空覆盖的效果。

### 2.3 4K 超高清视频的无卡顿感知要求

不同的应用场景和业务类型对网络速率有着不同层次的要求。例如，对于控制信令和状态监测信息的传输，上行及下行 100 kbit/s 就可以满足，而数据传输的速率需求则随着信息渲染方式的持续演进而不断提升。无人机巡检要求实时回传 4K 高清视频，上行传输速率至少要达到 40 Mbit/s。在原有 4G 网络环境下，很难满足 1K、2K 视频回传的业务感知需求，对于 4K 视频回传无法保障零卡顿的业务体验。5G 的两大关键技术也赋予了无人机商用自动巡检能力。

关键技术一：大规模天线技术 (Massive MIMO)。

它最早由美国贝尔实验室研究人员提出,研究发现,当小区的基站天线数目趋于无穷大时,加性高斯白噪声和瑞利衰落等负面影响全都可以忽略不计,数据传输速率能得到极大提高。

关键技术二:移动边缘计算(MEC)。MEC 运行于网络边缘,逻辑上并不依赖于网络的其他部分,这点对于安全性要求较高的应用来说非常重要。另外,MEC 服务器通常具有较高的计算能力,因此特别适合于分析处理 4K 视频类大数据。同时,由于 MEC 在地理上距离用户或信息源非常近,使得网络响应用户请求的时延大大减小,也降低了传输网和核心网部分发生网络拥塞的可能性,改善用户的业务感知体验。

### 3 商用 5G 工业无人机专网规建维优实践

#### 3.1 5G 无人机专网覆盖规划

为了满足 5G 连续覆盖,使业务感知最优,上海联通与华为 X-lab 实验室合作进行了规划仿真,整个飞行线路共规划了 5 个站点。

站点信息如表 1 所示。小区信息如表 2 所示。

表 1 无人机专网基站信息

站点名称	经度/°	纬度/°	覆盖方向
电信育德 11	121.250 24	31.771 74	对空站
移动双津 11	121.379 40	31.669 61	对空站
进化村 11	121.498 54	31.615 71	对空站
堡北 11	121.632 14	31.565 45	对空站
崇陈南 11_1	121.792 214	31.503 57	对空站

表 2 无人机专网小区基础信息

站点名称	经度/°	纬度/°	天线方向角/°	覆盖方向
电信育德 11_1	121.250 240	31.771 74	0	对空小区
电信育德 11_2	121.250 240	31.771 74	140	对空小区
移动双津 11_2	121.379 400	31.669 61	120	对空小区
移动双津 11_3	121.379 400	31.669 61	300	对空小区
进化村 11_1	121.498 540	31.615 71	120	对空小区
进化村 11_2	121.498 540	31.615 71	230	对空小区
进化村 11_3	121.498 540	31.615 71	300	对空小区
堡北 11_1	121.632 140	31.565 45	120	对空小区
堡北 11_2	121.632 140	31.565 45	290	对空小区
崇陈南 11_1	121.792 214	31.503 57	350	对空小区
崇陈南 11_2	121.792 214	31.503 57	200	对空小区

通过仿真在无人机处于 400 m 高度时,仿真了天线倾角为 0/-2/-4/-6/-8°时的性能,结果显示天线倾角为-6°时性能最好。

所选站点均为单杆塔,高度为 35 m,通过天面整

合,腾出最高平台用于无人机专网覆盖,5G AAU 安装方向与默认安装标注相反,即红色箭头向上,4G 锚点站天线采用基于菲涅尔区原理的天线安装结构。它包括天线、上支架和下支架,天线的背面上下端分别固定有上支架和下支架,通过增大天馈下支架的机械下倾角,实现对空覆盖。

#### 3.2 5G 无人机专网锚点频率选择

无人机的飞行控制系统属于时延敏感度较高的业务,为保证实时控制的精确性,确保控制指令能够及时由地面传输到无人机控制系统,网络的端到端时延需要小于 20 ms。

端到端时延低于 20 ms,意味着空口到核心网时延低于 10 ms,通过对崇明陈海公路沿线进行 DT 测试模拟结果的分析,需要保证无人机 5G 模组平均 SINR 大于 11, SINR 小于 0 比例低于 2%,才能满足无卡顿的要求。据此,单纯依靠天线调整上仰、上旁瓣抑制等方案无法达到要求,故需要对沿线 5G 专网锚点小区进行专网频点规划。4 种锚点频率选择方案优缺点对比如表 3 所示。

表 3 锚点频率选择方案对比

锚点选择	频率	系统	优点	缺点
方案 1	2.3G	TDD	频段使用率低,适合为无人机通信搭建“专网”	室外环境与卫星频段有干扰
方案 2	2.6G	TDD	同方案 1	频段高,传输损耗大;多普勒效应影响大
方案 3	2.1G	FDD	频段较低,传输损耗小,传输半径大	需要给出至少 5M 带宽的专网频段
方案 4	1.8G	FDD	同方案 3	4G LTE B3 已部署二载波,清频难度大

最终经过网发、网优专家联合讨论,选定对公客用户影响最小的方案 3 作为最终方案,即压缩 WCDMA 室分频点 10663 的 5M 带宽用于 5G 专网的锚点频点使用,重耕为 FDD-LTE(5M)。

#### 3.3 5G 无人机专网测试及优化

由于无人机载荷有限,在安装了华为 CPE 1.0 后,现场环境已经不能连接笔记本电脑测试软件。通过无人机业务平台采集经纬度、RSRP、SINR、RSRQ 等主要无线信号数据,代替传统测试软件,完成了全航线的一对一无人机 5G 覆盖测试数据分析。

由于无人机是按照固定航线进行飞行,并且站间的距离比较远,首飞出现 2 处明显的视频卡顿问题(cluster1 和 cluster2)。

从测试情况来看,cluster1 位于电信育德与移动双

津基站之间、cluster2位于进化村与堡北基站之间,站间距相对较大,RSRP衰减至-105 dBm,SINR在0左右,未达到规划预期的覆盖效果。

在崇陈南基站进行天馈倾角试验,按-2/-4/-6°的倾角进行了实测对比,当天线倾角设置为-4°时,崇陈南至堡北段覆盖最优,针对实测数据进行分析,判断5G仿真工具未考虑地球曲率的影响,出现推荐倾角偏大的情况,如图2和图3所示,仿真结果如未考虑地球球面曲率,推荐倾角会大于同等高度位置条件下考虑地球球面曲率的仿真结果。

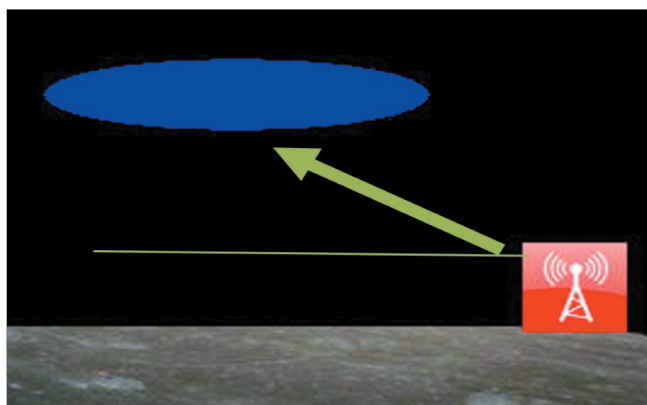


图2 对空小区天线倾角纠偏前(-6°)

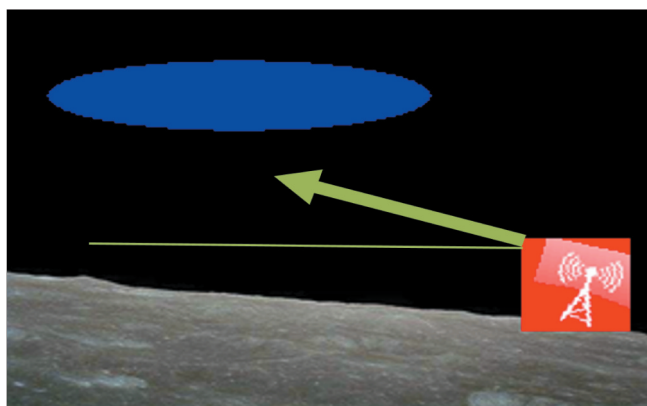


图3 对空小区天线倾角纠偏后(-4°)

通过对空小区天线调整,完成了天线倾角的纠偏,同时也根据实地勘察情况,对天线进行了方向角微调,结果如表4所示。

经过天线优化调整及小区合并后进行覆盖测试,航线覆盖明显提升,平均RSRP由95.54提升至90.50,SINR由5.8提升至11.8。进一步分析航线的主控小区PCI分布,与规划信息完全一致,从后台信令分析,切换成功率100%,未发现问题。

2019年5月崇明科技节期间,天然气主干网5G工

表4 优化后的无人机专网小区参数信息

站名	经度	纬度	PCI	PCI模3	扇区1	扇区2	扇区3
崇陈南	121.791 6	31.504 12	328	1	294	129	129
堡北	121.632 3	31.565 67	425	2	114	294	
进化村	121.498 7	31.615 45	273	0	114	230	298
移动双津	121.379 3	31.669 52	317	1	118	307	
电信育德	121.250 3	31.771 86	319	2	4	137	

业无人机巡线项目顺利通过了客户的验收测试。

## 4 结论与展望

本次针对5G工业无人机业务的研究和试验结果表明,Massive 3D MIMO、高增益、自适应、多波束等特点,结合上海联通原有《基于菲涅尔区原理的天线安装结构》天线专利技术,能够有效解决目标快速跟踪和高空干扰抑制等难题,借助5G边缘计算协同可实现端到端时延低至13 ms,5G无人机业务场景已具备商用条件。本次业务优化的成功不仅提升了客户的口碑,也有力促进了5G无人机、高清直播等新型应用的发展。

凭借5G无限的发展潜力,移动网络将为无人机带来全新级别的高可靠性、强大的安全性、无处不在的覆盖和无缝的移动性。随着5G SA技术的进一步成熟,NR时延进一步逼近1 ms,整体端到端时延有望达到10 ms,网络切片能力保证端到端网络时延稳定性。基于多天线等5G先进新技术,5G体验速率可达1 Gbit/s。5G网络可以为无人机赋予实时超高清图传、远程低时延控制、永远在线等重要能力,满足航拍、送货、勘探等各种各样的个人及行业服务需求,进而构成一个全新的、丰富多彩的“网联天空”。

### 参考文献:

- [1] 童伟. 5G新空口技术在网联无人机的应用研究[J]. 通信电源技术,2019,36(4):218-219.
- [2] 胡娜,万青云,徐良雄,等. 5G联网无人机拟解决的关键问题[J]. 电子技术与软件工程,2019,150(4):17.
- [3] 桂兵祥,赵涵捷. 5G异构通信网络无人机智能化部署[J]. 武汉轻工大学学报,2018,37(4):68-73.
- [4] 张昆蔚,毕然. 浅谈我国5G网络无人机应用典型场景及发展建议[J]. 信息通信技术与政策,2018,293(11):90-91.

### 作者简介:

李凌,毕业于复旦大学,硕士,主要从事无线网络优化工作;姚赛彬,毕业于上海交通大学,上海联通网络优化中心副总经理,高级工程师,硕士,主要负责无线网络优化管理工作;付智,毕业于上海交通大学,硕士,主要从事无线网络规划工作;常士乐,毕业于西南交通大学,学士,负责上海联通崇明区网络维护保障工作。