



专题：5G 组网与 6G 展望

5G 低空网络解决方案和运营应用

张勍¹, 冯毅¹, 马丹², 吕琦¹

(1. 中国联通网络技术研究院, 北京 100048;

2. 中国联通山东省分公司, 山东 济南 273100)

摘要: 随着民用无人机技术的迅猛发展和成熟, 行业应用对无人机数据链提出了越来越高的要求。利用 5G 网络为无人机提供数据链路, 构建地空一体化网络, 可以极大提升无人机服务能力和丰富服务场景。在分析传统无人机数据链路面临的挑战后, 提出了 5G 低空网络解决方案和服务方案。最后分析了 5G 低空网络运营方案和 5G 网联无人机应用场景。

关键词: 无人机; 低空网络; 边缘计算

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020005

5G low altitude network service and operation solutions

ZHANG Qing¹, FENG Yi¹, MA Dan², LV Qi¹

1. China Unicom Network Technology Research Institute, Beijing 100048, China

2. Shandong Branch of China Unicom Network Communication Group Co., Ltd., Jinan 273100, China

Abstract: With the rapid development and maturity of civil UAV technology, the industry application puts forward higher and higher requirements for UAV data link. Using 5G network to provide data link for UAV and building the ground-air integration network can improve the service ability of UAV and enrich the service scenario. After analyzing the challenges faced by the traditional UAV data link, the 5G low altitude network solutions and service projects were proposed, while the 5G low altitude network operation solutions and 5G UAV application scenarios were analyzed in the end.

Key words: UAV, low altitude network, MEC

1 引言

民用无人机市场是近几年快速发展的新兴产业^[1-3], 2017 年工业和信息化部《关于促进和规范民用无人机制造业发展的指导意见》发布, 提出: 到 2020 年, 民用无人机产业产值达 600 亿元, 年

均增速 40%以上; 到 2025 年, 民用无人机产业产值达 1 800 亿元, 年均增速 25%以上。在中国乃至世界各地, 诸多领域已显现出“无人机+行业应用”的蓬勃发展势头。无人机在安防^[4]、农林植保^[5-6]、电力^[7]及石油管线巡查、应急通信、气象监视、海洋水文监测、矿产勘探等领域应用的技

术效果和经济效益非常显著。此外,无人机在灾害评估、生化探测及污染无人机应用场景和通信需求采样、遥感测绘、缉毒缉私、边境巡逻、治安反恐、野生动物保护等方面也有着广阔的应用前景。

无人机行业高速发展的同时,也对无人机通信链路提出了新需求,呈现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”。业界预测,无人机与移动通信的结合,将给产业界带来 10 倍的商业机会。基于新一代蜂窝移动通信网络 5G 为网联无人机赋予的实时超高清图传、远程低时延控制、永远在线等重要能力,全球将形成一个数以千万计的无人机智能网络,7×24 h 不间断地提供航拍、送货、勘探等各种各样的个人及行业服务。本文将深入分析无人机数据传输链路存在的问题,并探讨 5G 低空网络的建设、服务、运营方案以及 5G 网联无人机的应用场景。

2 传统无人机数据传输链路的挑战

传统无人机数据链采用点对点数据传输模式^[8-9],其地面控制端与无人机机端采用一对一的模式传输数据。这种模式直接导致无人机的应用受到以下 3 方面的制约。

(1) 远程化能力受制约

传统点对点无人机数据链,传输距离有限,无人机的飞行范围受到地面控制端限制,难以在大尺度范围实现无人机自动化运行,并无法支持超视距实时远程控制的需求。

(2) 智能化能力受制约

典型民用无人机数据链最大传输带宽在 4~8 Mbit/s 以下,即只能在有限地理范围内完成不超过 1080P 分辨率视频的实时回传,难以满足大量应用场景中视频识别对视频分辨率的要求。而目前解决低分辨率问题的常见应用方式为:在无人机飞行结束后,人工取出无人机存储的航拍视频或照片,进一步导致运行自动化能力的降低。

(3) 协同化能力受制约

传统无人机数据链采用一对一控制和管理模式,无人机的飞行需要地面控制端的人员跟踪操作,即无人机仍需一比一地配备“驾驶员”,只是将驾驶员的位置从机载下沉至地面,既难以实现无人机集群化运营,也难以令无人机与机器人等其他自动化设备实现协同作业。

因此,使用移动通信网络替换无人机传统数据链,开展更丰富的超视距网联无人机应用成为技术发展的趋势。根据对无人机典型行业应用场景的调研分析,见表 1,垂直行业用户对无人机传输链路的诉求有一定差异。

表 1 垂直行业对无人机传输链路的需求分析

行业场景	上行速率/ (Mbit·s ⁻¹)	下行速率/ (Mbit·s ⁻¹)	时延/ms	覆盖高度 /m
安防	10~60	0.1~0.6	50~200	30~100
应急	10~20	0.1~0.6	50~200	30~100
环保	10~60	0.1~0.6	200~500	30~100
能源	10~20	0.1~0.6	20~500	30~100
物流	0.5~8	0.1~0.6	50~200	50~200
娱乐	10~60	0.1~0.6	200~500	<50

3 5G 低空网络解决方案

3.1 5G 低空网络部署方案

5G 网络中引入了大规模 MIMO 技术^[10-12],将天线和射频模块融合,从而将天线数量从 2/4/8 个提升到了 32/64/128 个。基于大规模天线阵列的数据联合接收和发送,实现了波束从传统单一宽波束演进成三维立体波束,从而实现空分复用能力(即增加了垂直维的自由度),进而可以使用主波束完成面向地面用户的覆盖,使用波束旁瓣在垂直维度完成低空区域覆盖,达成低空—地面一体的立体覆盖能力。此外,利用大规模 MIMO 垂直面和水平面的波束成形,可以对准无人机形成精准的窄波束进行发送和接收,减少了小区内或者小区间的干扰。



由于低空区域遮挡较少，且信号特征是 LOS (line of sight) 径，空中信号杂乱无章，且越区覆盖现象严重，如图 1 所示，无人机飞行区域由平均站间距为 700 m 的多个 5G 基站覆盖，无人机飞行高度在 200 m 时，5G 基站可为水平距离在 2.2 km 外的无人机提供网络覆盖。由于空中信号无遮挡，难以使用传统地面利用建筑物遮挡等实现覆盖控制，因此对于越区覆盖严重且地面容量需求不高的场景，可采用超级小区等方式将多个小区进行合并，降低空中切换概率，保障通信连续性。



图 1 无人机 200 m 飞行高度下 5G 基站覆盖情况

基于城区场景的 5G 网络覆盖测试评估，无人机飞行高度在 200 m 以下时，可获得相对较好的覆盖质量，平均 RSRP 可在 -90 dBm 以下，随着飞行高度的增加，网络质量逐渐下降且网络切换次数逐渐增加。此外，网络传输时延在 30 ms 左右，经过优化可以进一步地降低。具体网络评估情况见表 2。

表 2 不同飞行高度 5G 网络覆盖质量评估

高度/m	50	100	150	200
平均 SSB RSRP/dBm	-82.8	-83.7	-86.8	-86.7
切换次数	9	2	7	10
网络传输时延/ms	29.7	30.4	29.3	33.5

5G 低空网络的部署方案，根据无人机业务类型以及支撑网络服务的差异性，可以划分为以下 3 种典型模式。

(1) 共网共用

无人机业务和普通 5G 终端用户共用物理网络和逻辑网络，对于 5G 网络而言，无人机被视为普通 5G 终端，可使用 QoS 机制、地空网络联合优化等方案提升低空网络质量。该服务模式的低空网络部署成本相对可控，网络服务费用也较为低廉，但其网络质量难以做到充分保障，可以满足部分网联无人机业务应用需求。网络部署上，优先以地面用户为主，对于地面用户较少的区域，可以面向无人机业务需求进行适当的网络优化。

(2) 共网专用

无人机业务和普通 5G 终端用户共用物理网络，但在逻辑网络分开，按照无人机业务需求特性通过网络切片技术在一个独立的物理网络上切分出多个逻辑网络，并针对不同的逻辑专网配置相应的网络质量保障机制。该服务模式的建设成本高于共网共用模式，相应的网络服务费用也更高，但其网络条件能够充分满足绝大多数网联无人机业务应用场景。网络部署上，将综合考虑地面用户和无人机业务的需求进行网络优化，并在低空网络覆盖较差的区域补充基站。

(3) 专网专用

无人机业务和普通 5G 终端用户在物理网络和逻辑网络完全分离，专门建设专属的物理专网为无人机业务场景服务。该服务模式下需要单独新建一条全新的物理网络通道，投资成本极高，但网络业务独享，具有极高的网络质量和稳定性保障。

3 种典型的低空网络部署方案各有利弊，高投入也意味更强的网络保障能力，在网络建设时，可根据实际业务场景需求和项目预算选择不同的模式。

3.2 5G 低空网络服务方案

使用 MEC^[13-14]及网络切片^[15-16]技术，5G 网络可以为无人机提供基础数据传输能力之上的多样服务能力。

基于 MEC 的边缘导流和边缘计算能力，可以为无人机应用提供超低传输时延保障服务、路由选

择服务、边缘化计算服务和安全服务。对于超低传输时延保障服务,针对无人机远程实时控制类业务的需求,数据传输时延要求极高,将 MEC 服务器部署于靠近基站的接入环、接入汇聚环等网络边缘位置,使网络节点最大限度地靠近业务,从数据传输路径上降低了端到端业务的响应时延。对于路由选择服务,基于 MEC 可以直接打通网联无人机与无人机管理及应用服务中心的传输通路,而不需要核心网转接,缩短无人机控制、状态、挂载感知数据等的传输距离。对于边缘化计算服务,MEC 服务器可以提供计算、存储、处理等边缘服务能力,从而卸载网联无人机上部分资源需求较高的业务(如图像和视频的人工智能识别、自动化控制、高清图像存储等),从而既有效地降低无人机的功耗和成本,又能进一步地提升计算能力。对于安全服务,网联无人机感知的数据可以借助 MEC 服务器直接接入无人机管理平台和应用服务平台,不仅减少网络迂回,进一步降低数据链路层面可能引入的安全风险,也更适应于部分数据管理和分析平台本身与外网隔离的场景。例如部分面向安防场景的网联无人机服务,借助智能路由选择技术架设“移动传输专网”,可以直接将安防视频数据接入城市安全管理中心,不仅进一步地降低了视频、数据、指令的交互时延,提升了安防响应速度,而且,通过访问归口集中化,可以实现应用平台和安防指挥统一化,方便业务管理和应用拓展,提升系统的安全性和稳定性。

基于网络切片,可以为网联无人机应用提供定

制化网联服务能力,具体包括以下 3 方面的内容。

(1) 专享数据链服务

为网联无人机业务提供端到端的数据传输链路保障,以数据传输带宽、网络传输延时和抖动、数据分组丢失率等为基础保障指标,提供从接入网、传输网到核心网的按需定制化的链路保障,当公共网络容量受限时,仍能够充分满足网联无人机的专用业务需求。

(2) 数据隔离服务

通过建立逻辑上独立的网络传输通道,甚至进一步建立部分物理层上独立的传输通路,结合资源调度、配置专用虚拟服务单元等方式,为数据隔离提供链路层支撑,提供安全、稳定、独立的数据链服务,如图 2 所示,可以为地面大众用户提供基础网络切片,为低空网联无人机提供专享网络切片,或者为开展不同类型业务服务的网络无人机提供进一步独立的网络切片,从而在公共移动通信网络中形成专用网络服务保障。

(3) 数据链自管理服务

面向规模化、系统化要求较高的网联无人机业务,基于多租户模式,可以提供数据链自主管理服务;而用户作为网络切片的租户,可以查看所租用的网络状态和统计指标等,实现用户高度自主化的服务支持。

4 5G 低空网络运营与应用

4.1 5G 低空网络运营方案

使用 5G 通信网络代替传统的无人机数据传

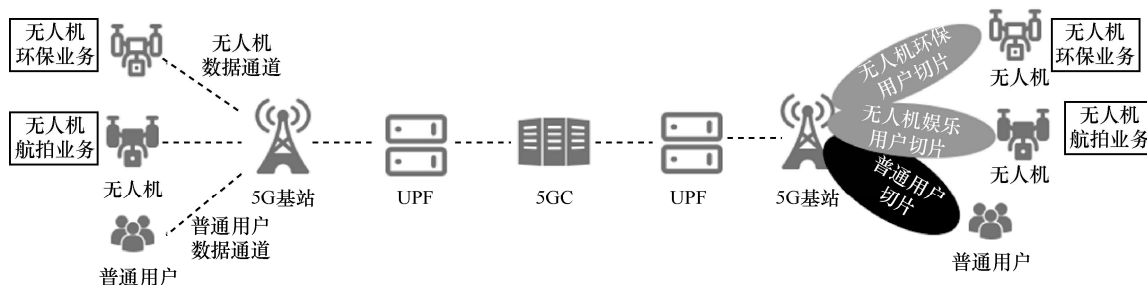


图 2 网络切片为无人机提供数据隔离服务



输链路，不仅改变了无人机的数据传输和控制方式，而且直接改变了无人机的业务应用技术和模式。因此，5G 低空网络的运营也不只是提供通信网络服务，还需配置相关网络平台级服务串联无人机产业上下游企业能力，合力形成最终产品提供给用户。

低空网络服务按运营内容主要包含 3 个层级的服务。

(1) 基础通信服务

为无人机设备商、服务商或使用无人机的客户提供无人机数据传输链路服务及相关的无人机网联化升级改造服务，具体包括一般低空移动通信网络链路服务，地面移动网络面向低空优化服务，基于 QoS、MEC、网络切片为无人机提供的丰富多样的通信保障服务，以及为保障无人机接入移动网络而提供的端到端软硬件服务等。

(2) 应用平台服务

为无人机设备商、服务商提供服务于网联无人机的应用平台，包括基于大数据、人工智能等技术提供无人机的监管认证支撑、无人机设备管理、载荷管理、远程控制和调度、无人机感知数据分析、图像和视频识别、多机智能协作等服务。

(3) 产品运营服务

联合无人机设备商共同为使用无人机的最终客户提供整套网联无人机行业服务产品，除业务应用服务外，还提供培训服务、飞手服务、保险服务、运维售后服务等。

4.2 5G 网联无人机应用场景

5G 网联无人机使无人机的运行从视距应用扩展到超视距，扩展了无人机在安防、应急、环保、物流、能源、交通、农业、文旅等多个行业领域的服务能力。

在安防领域，城市治安形势日益复杂，现场可视化的应用需求越来越迫切，而城市突发事件的信息采集存在时间、空间、规模等方面的诸多

不确定性，网联无人机可以用于弥补现有方案的不足，可以在城市等空间狭小的现场快速部署，尤其适用于群体事件现场情况的全局掌控以及事故现场的拍照、火灾现场勘测、有害物质区域侦查等，能够“查得准、盯得住、传得快”，为指挥决策提供重要依据。

在应急领域，作为航空救援体系中的一员，无人机具有高性价比、快速部署、高度灵活性等特点，结合 5G 技术的网联无人机，在空中监视、空中测绘、空中通信、空中喊话、应急救援、应急照明等领域可以发挥重要作用，在执行特殊任务时，无人机由于可以采用远程遥控操作，可以减少传统方案中潜在的人员伤亡，具备其他措施无法比拟的优势。

在能源、交通等领域，传统的无人机巡检方案为人工干预的操作方式，要求无人机操作人员具备专业飞手资格，且日常巡检工作任务较重、效率较低，一人只能操作一台无人机。使用基于 5G 网络的网联无人机方案，可以采用航线预设和远程实时控制相结合的方式进行飞行作业，无人机巡检视频可以实时回传至指挥中心并实时识别电塔、线缆损坏和道路违章，并可实现指挥中心一人同时操作多台无人机，极大地提升了工作效率。

5 结束语

本文从无人机受到传统数据传输链路制约引入的远程化、智能化、协同化挑战出发，讨论了 5G 低空网络部署方案和 200 m 以下 5G 低空网络覆盖质量评估，给出了共网共用、共网专用、专网专用 3 种网络部署模式，给出了基于 MEC 和网络切片技术为网联无人机可提供的多样化服务，并分析了 5G 低空网络 3 种层级运营方案——基础通信服务运营、应用平台服务运营以及产品服务运营，最后给出了 5G 网联无人机在安防、应急以及能源等领域的典型应用场景。

参考文献:

- [1] 黄爱凤, 邓克绪. 民用无人机发展现状及关键技术[C]//长三角科技论坛——航空航天科技创新与长三角经济转型发展分论坛, 2012年11月1日, 南京, 中国. 2012: 24-30.
HUANG A F, DENG K X. Development status and key technologies of civil UAV[C]// Yangtze River Delta Science and Technology Forum, Sub-Forum on Aerospace Science and Technology Innovation and Yangtze River Delta Economic Transformation and Development, Nov 1, 2012, Nanjing, China. 2012: 24-30.
- [2] 王琪, 焦金戈. 多旋翼无人机发展与在通信领域中应用[J]. 互联网天地, 2019(5): 10-13.
WANG Q, JIAO J G. Development and application of multi-rotor UAV in communication field[J]. China Internet, 2019(5): 10-13.
- [3] 陈永灿. 无人机成为中国产业发展热词[J]. 机器人产业, 2019(4): 32-37.
CHEN Y C. UAV have become a buzzword in China's industrial development[J]. Robot Industry, 2019(4): 32-37.
- [4] 范永飞. 警用无人机的应用特点与发展趋势[J]. 中国安防, 2018(6): 42-44.
FAN Y F. Application characteristics and development trend of police UAV[J]. China Security & Protection, 2018(6): 42-44.
- [5] 叶海丝, 黄育栋. 论植保无人机在现代农业发展中的应用[J]. 南方农机, 2019(10): 34.
YE H S, HUANG Y D. On the application of plant protection UAV in the development of modern agriculture[J]. China Southern Agricultural Machinery, 2019(10): 34.
- [6] 陈婷卓, 晁栓. 无人机在精准农业中的应用现状及发展困境[J]. 农业装备技术, 2018(3): 6-8.
CHEN T Z, CHAO S. Application and development of unmanned aerial vehicle in precision agriculture[J]. Agricultural Equipment & Technology, 2018(3): 6-8.
- [7] 陈熙. 无人机在输电线路巡检中的应用及发展前景[J]. 电力系统装备, 2019(1): 203-204.
CHEN X. Application and development prospect of drones in transmission line inspection[J]. Electric Power System Equipment, 2019(1): 203-204.
- [8] 张庆. 无人机飞行控制方法研究现状与发展[J]. 南方农机, 2019(11): 29.
ZHANG Q. Research status and development of UAV flight control methods[J]. China Southern Agricultural Machinery, 2019(11): 29.
- [9] 张年鹏. 无人机通信技术的应用与发展[J]. 数字通信世界, 2018(3).
ZHANG N P. Application and development of UAV communication technology[J]. Digital Communication World, 2018(3).
- [10] 张长青. 面向 5G 的大规模 MIMO 天线阵列研究[J]. 邮电设计技术, 2016, 481(3): 39-44.
ZHANG C Q. Study on large-scale MIMO antenna array for 5G mobile network[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2016, 481(3): 39-44.
- [11] 栾帅, 冯毅, 张涛, 等. 浅析大规模 MIMO 天线设计以及对 5G 系统的影响[J]. 邮电设计技术, 2016(7): 28-32.
LUAN S, FENG Y, ZHANG T, et al. Analysis of massive MIMO antenna design and its influence on 5G system[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2016(7): 28-32.
- [12] 杨中豪, 王琼, 乔宽. 面向 5G 通信的 massive MIMO 技术研究[J]. 中国新通信, 2015(14).
YANG Z H, WANG Q, QIAO K. Massive MIMO technology for 5G communications[J]. China New Telecommunications, 2015(14).
- [13] 李子姝, 谢人超, 孙礼, 等. 移动边缘计算综述[J]. 电信科学, 2018, 34(1): 87-101.
LI Z S, XIE R C, SUN L, et al. A survey of mobile edge computing[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(1): 87-101.
- [14] 张建敏, 谢伟良, 杨峰义, 等. 移动边缘计算技术及其本地分流方案[J]. 电信科学, 2016, 32(7): 132-139.
ZHANG J M, XIE W L, YANG F Y, et al. Mobile edge computing and application in traffic offloading[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(7): 132-139.
- [15] 项弘禹, 肖扬文, 张贤, 等. 5G 边缘计算和网络切片技术[J]. 电信科学, 2017, 33(6): 54-63.
XIANG H Y, XIAO Y W, ZHANG X, et al. Edge computing and network slicing technology in 5G[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(6): 54-63.
- [16] 任驰, 马瑞涛. 网络切片: 构建可定制化的 5G 网络[J]. 中兴通讯技术, 2018(1): 26-30.
REN C, MA R T. Network slicing: building customizable 5G network[J]. ZTE Technology Journal, 2018(1): 26-30.

[作者简介]



张勃(1987—), 女, 中国联通网络技术研究院高级工程师, 主要从事移动通信新技术研究和 5G 行业应用新业务孵化等方面的工作。

冯毅(1976—), 男, 中国联通网络技术研究院高级工程师, 主要从事移动通信系统网络规划及新技术研究和 5G 垂直行业业务探索方面的工作。

马丹(1982—), 女, 中国联通山东省分公司高级工程师, 主要从事传输网络、移动网络方面的项目管理工作。

吕琦(1995—), 女, 中国联通网络技术研究院工程师, 主要从事 5G 无线技术、泛低空网络与网联无人机解决方案工作。