

Research on the construction of urban air traffic control safety monitoring capability standard

Xiangrong Chen Qiwen Zheng* Zhiwei Zhu

Zhejiang Mobile Communications Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310016, China

Abstract

With the rapid growth of the low-altitude economy, enhancing the safety and control monitoring capabilities of air traffic management has become crucial for ensuring low-altitude safety and promoting the healthy development of the drone industry. This paper systematically examines the demand analysis and key technologies for air traffic management safety and control monitoring. It proposes a comprehensive standard for safety and control monitoring capabilities for cooperative drones, non-cooperative drones, and networked drones, aiming to promote the safe and orderly development of the low-altitude economy.

Keywords

urban air traffic control; monitoring capability standard; UAV monitoring; 5G-A integrated communication and sensing

关于城市空中交管安控监视能力标准建设的研究

陈向荣 郑淇文* 朱志伟

中国移动通信集团浙江有限公司, 中国·浙江 杭州 310016

摘要

随着低空经济的快速发展,空中交通管理安全防控监视能力建设成为保障低空安全、促进无人机产业健康发展的关键。本文系统研究了空中交管安控监视的需求分析和关键技术,针对合作类无人机、非合作类无人机、网联无人机综合提出了安控监视能力标准建设的方案,推动低空经济安全有序发展。

关键词

城市空中交管; 监视能力标准; 无人机监视; 5G-A通感一体

1 引言

低空经济作为国家战略性新兴产业,已成为新的产业蓝海。产业发展,安全先行,加强城市空中交通管理安全防护监视建设刻不容缓。

当前城市空中交通管理安全防控主要面临以下几大挑战:①低空运行的无人机数量大,体积小,运营主体多,飞行任务复杂;②现有监视技术难以有效应对低空轻型无人机的监视需求;③现有的空中交通管理模式主要基于辅助飞行员驾驶的技术路径,而无人机遥控和飞控都源自地面,需要结合物联网、遥感等技术,实现更加智能化、自动化的空

中交通管理模式^[1]。

目前我国低空安全标准体系建设仍处于起步阶段,城市空中交通管理安全防护监视能力标准尚未建立,极有必要加快形成。

2 城市空中交管安全防控监视需求分析

近年来,国家层面组织起草多项城市空中交通管理安全防控相关条例,如《城市空中交通管理安全防控能力标准(试行)》,规范城市空中交管安控指标。为进一步提升城市空中交管监视能力建设,本文在综合参考各项条例基础上,研究细化空中安控监视指标要求。城市空中交通管理,需配套建设监视、处置等设施,按照“要地综合防抗+区域动态防御”的原则展开防控部署,确保区域内活动的目标“看得到、拦得住、找得到”。重点防护区内,“固定值守为主、机动支援为辅”,构建末端防抗体系,确保具备保底拦截能力,守牢安全底线;重点防护区外,“固定值守与机动支援”相结合,统一安全防控体系建设,杜绝合作目标违规飞行。

【作者简介】陈向荣(1979-),男,中国浙江杭州人,高级工程师,从事涵盖通信技术、信创国产化、行业信息化等领域的研究。

【通讯作者】郑淇文(1998-),女,中国浙江杭州人,高级工程师,从事涵盖低空安全、无人机侦测、移动互联网等领域的研究。

3 城市空中交管安全防控监视关键技术

3.1 合作类无人机监视技术

合作类无人机 (Cooperative UAVs) 是指配备了符合相关技术标准的通信、导航和识别设备, 能够与综合监管服务平台进行实时信息交互的无人机, 这类无人机, 主要通过远程报文接收设备进行监测。根据《民用无人驾驶航空器系统安全要求》强制性国家标准 (GB 42590-2023) 规定, 无人驾驶航空器在飞行过程中应通过无线局域网 (Wi-Fi) 或蓝牙自动广播识别信息, 将身份信息 (如序列号、注册号)、位置、高度、速度、航向等数据实时发送给接收设备。

合作类无人机识别体系包括三个逻辑模块: 识别数据生成、传输和接收。数据生成模块可实时识别无人机 SN 码、位置、高度、航向、速度、轨迹及飞手位置等信息; 传输模块通过 2.4G Wi-Fi、5.8G 蓝牙等多频段上报; 数据接收模块由管理部门通过无人机远程识别基站进行解析和处理, 采用全向 12dBi 增益天线, 探测半径可达 3~5km 左右。城市通过多点布控实现全域探测, 全方位监测城市低空图景。

3.2 非合作类无人机监视技术

非合作类无人机 (Non-Cooperative UAVs) 是指未配备符合相关技术标准的通信、导航和识别设备, 或未与综合监管服务平台建立信息交互的无人机。非合作类无人机监视主要依赖于 5G-A 通感一体、低空探测雷达、光电侦测等技术手段实现。

5G-A (5G-Advanced) 在原 5G 网络基础上大幅升级, 支持通信感知融合、智能计算和天地一体等功能^[1]。该技术融合雷达感知机制, 结合大规模天线阵列与波束赋形, 通过通信信号处理算法, 实现对无人机距离、速度、位置、角度等多维感知。

脉冲多普勒雷达通过发射短脉冲并接收回波实现持续跟踪, 适用于小型无人机“低、慢、小”特性。当前常用 X 波段、Ku 波段的高频低空雷达, 具备低速度检测能力, 提升探测精度与抗干扰能力。

光电探测利用可见光相机和红外热成像仪获取目标特征, 转化为电信号进行处理。该方法在白天、夜间及复杂气候下均可实现监控, 但受限于小型无人机低辐射特性, 最大探测距离通常为 1~2km。为增强识别能力, 采用高倍率光学变焦、数字图像处理 and 深度学习等手段提升探测智能化水平。

4G/5G 网联无人机利用 4G/5G 移动通信蜂窝网络替代传统无人机自建通信和控制链路, 实现对无人机的超视距远程飞行控制^[2], 网联无人机监视需要兼顾监管规范标准与监测技术手段。在监管规范方面, 首先需要通过建立严格的无人机物联网卡实名登记制度, 有效防止“黑飞”行为, 并为网联监视提供数据支持。其次, 网联无人机应在相关监管平台进行数据库报备, 记录其型号、用途、状态等关键数据。此外, 运营类无人机平台 (如物流配送、农业植保等) 应统

一接入相关监管平台, 实现飞行计划报备、实时数据上报、异常行为预警等功能。网联无人机由于具有通信互联的特征, 5G-A 通感一体技术能够通过基站的智能化深度识别分析和无线信号分析手段, 通过业务特征识别和无线特征识别将无人机流量筛选出来, 基于通信数据分析对无人机进行进一步监视。

4 城市空中交管安全防控监视能力标准

4.1 能力评价指标设置

4.1.1 合作类目标监视指标设置

合作类目标监视, 要确保目标“起飞即掌握、掌握即报告、异常即报警”, 指标包括监视概率、监视信息更新概率、监视精度、合作目标监视距离、告警时延等。

①合作目标监视概率。

指标定义: 合作目标存在的情况下, 系统监视到目标信号的概率。

统计方法: $\text{探测概率} = \text{成功探测次数} / \text{实际飞行次数} * 100\%$ 。

测试方法: 无人机按照设定的轨迹与速度飞行, 按相同轨迹与速度遍历不同高度, 探测目标轨迹显示连续视为探测到, 建议测试架次 ≥ 20 。

②合作目标监视信息更新频率。

指标定义: 在一定时间范围内持续稳定对目标真实轨迹更新的次数。

统计方法: $\text{监视信息更新频率} = \text{监视信息更新次数} / \text{航迹持续时间}$ 。

测试方法: 无人机按照设定的轨迹与速度飞行, 按相同轨迹与速度遍历不同高度层, 统计首次探测到目标到飞行结束时间内的探测信息更新次数。

③合作目标监视精度。

指标定义: 目标实际位置与系统接收到的位置之间的偏差。

统计方法: 比对监视数据, 与高精度 AIS/RTK 或 GPS 上报的真值数据计算探测精度。

测试方法: 无人机按照设定的轨迹与速度飞行, 按相同轨迹与速度遍历不同高度层, 根据监测目标轨迹和无人机 GPS/RTK 真值计算水平、垂直精度平均值。

④合作目标监视距离。

指标定义: 单基站最远稳定接收对应型号无人机报文信号的水平距离和垂直距离。

统计方法: 通过读取无人机位置和高度, 计算出无人机距离单基站的最远水平距离、垂直距离。

测试方法: 使用微型及轻型合作无人机的代表机型, 在远离城市区域 (模拟电磁环境相对干净) 及通视情况下, 通过单基站接收模式, 测量无人机距离单基站的最远水平距离、垂直距离。

⑤合作目标告警时延。

指标定义：飞行活动发生异常（包括飞出划定空域，侵入禁区、危险区、限制区，飞行航迹与飞行计划偏差大于设定值等）到监管服务平台发出告警的时长。

统计方法：系统接收到目标的时间戳减去飞行目标实际时间戳。

测试方法：记录探测设备授时时间A，平台授时时间B，差值 $\Delta t=B-A$ ；读取若干条原始数据，探测设备接收时间戳为A1，平台显示时间戳为B1，计算 $B1-A1-\Delta t$ 的平均值。

⑥通信类的监视识别信息传输时延指标。

指标定义：从合作目标发出报文信息到监管服务平台接收到数据所需的时长。

统计方法：无人机通信模块到监视服务器 Ping 的时延。

测试方法：无人机按照设定的轨迹与速度飞行，按相同轨迹与速度遍历不同高度层，通过 5G 模组或 5G 终端发起 ping 指令，统计 ping 时延。

⑦通信类的覆盖率指标。

指标定义：低空飞行区域内，通信网络能够稳定提供预期性能服务的空间占总空间的百分比。

统计方法：统计 5G 终端信号接收功率 $RSRP \geq -101dBm$ 且信号与干扰加噪声比 $SINR \geq -6dB$ 的空间占比。

测试方法：无人机按照设定的轨迹与速度飞行，按相同轨迹与速度遍历不同高度层，飞行高度按指定高度值递增，通过 5G 模组或 5G 终端进行 PING 业务，统计 $RSRP \geq -101dBm$ 且 $SINR \geq -6dB$ 的空间占比。

⑧通信类的连续性指标。

指标定义：低空飞行区域内，通信网络能够在固定时间内提供预期性能服务的通信数据包占总通信数据包的百分比。

统计方法：统计 5G 信号连续性覆盖比例（1-掉话率）。

测试方法：无人机按照设定的轨迹与速度飞行，按相同轨迹与速度遍历不同高度层，通过 5G 模组或 5G 终端进行 PING 或 FTP 业务，统计终端掉话率。

4.1.2 非合作类目标监视指标设置

非合作类目标监视，要确保实现不间断探测，发现后稳定跟踪，指标包括探测概率、虚警概率、探测信息更新频率、探测精度、告警时延等。

①非合作类目标监视概率。

指标定义、统计方法、测试方法，与合作目标监视概率相同，机型包括但不限于穿越机、航模固定翼无人机、多旋翼无人机，建议测试架次 ≥ 20 。

②非合作目标虚警概率。

指标定义：非合作目标不存在的情况下，系统错误地检测到目标信号的概率。

统计方法：虚警概率 = 虚警样点数 / 总检测点数 * 100%。

测试方法：模拟净空条件下，总检测点数 = 总时长 / 检测周期（总检测点数 ≥ 3600 ，5s 或 25m 内的短近虚警不做统计）。

③非合作目标监视信息更新频率。

指标定义、统计方法、测试方法，与合作目标监视信息更新频率相同。

④非合作目标监视精度。

指标定义、统计方法、测试方法，与合作目标监视精度相同。

⑤非合作目标告警时延。

指标定义、统计方法、测试方法，与合作目标告警时延相同。

4.2 能力评价指标建议

为满足城市空中交管安防监视需要，建议各项能力评价指标如下：

分类序号	指标设置	
	指标名称	能力建议
1	监视概率	$\geq 80\%$
2	虚警概率	$\leq 5\%$
3	非合作目标 监视信息更新频率	≥ 10 次 / 分钟
4	非合作目标 监视精度	水平偏差 ≤ 30 米 垂直偏差 ≤ 40 米
5	非合作目标 告警时延	≤ 5 秒
6	合作目标 监视概率	$\geq 99\%$
7	合作目标 监视信息更新频率	≥ 1 次 / 秒
8	合作目标 监视精度	水平偏差 ≤ 10 米 垂直偏差 ≤ 15 米
9	合作目标 监视距离	报文：M30T $\geq 3KM$ MINI3 $\geq 1.5KM$ 协议：M300 $\geq 3KM$ MINI3 $\geq 1.5KM$
10	合作目标 告警时延	≤ 5 秒
11	通信 监视识别信息传输时延	≤ 1 秒
12	通信 覆盖率	$\geq 99\%$
13	通信 连续性	$\geq 99\%$

5 总结与展望

本文围绕城市空中交通管理安全防控监视能力标准建设展开研究，提出了相应的能力评价指标设置与要求。随着技术的不断进步和应用场景的拓展，通过多部门全社会的协同合作和技术创新，城市空中交管安防监视体系必将进一步得到完善。

参考文献

[1]何志凯,舒振杰,王晓华,等.无人机空中交通管理体系架构研究[J].标准科学,2025(01):82-87+108.
 [2]刘冉.对低空经济背景下5G-A通感一体基础设施规划的思考[J].智能建筑与智慧城市,2024(S1):4-6.
 [3]程伟,曹禄.基于5G网联无人机的遥感技术应用研究[J].长江信息通信,2022,35(05):7-9.