

# 警用无人系统与低空安全防范初探

庞峰<sup>1</sup>, 冯登超<sup>2</sup>

(1. 山西警察学院 基础部, 太原 030401;

2. 北华航天工业学院 电子与控制工程学院, 河北 廊坊 065000)

**摘要:** 对我国的低空安全现状及新形势下警务执法工作人员面临的挑战进行了分析, 研究了当前警用无人系统的主要装备及其在低空监控、日常巡逻、侦察、取证、快速处置等警务活动中的应用, 结合面向低空安全的三维数字化空中走廊技术体系, 探索了警用无人系统在报警、接警、执法、处置业务流程中的低空安全防范应用策略; 在低空安全防范的数学建模研究中, 以无人机违规事件的实时威胁扩散趋势分析中遇到的数据缺失问题为例, 根据数据属性值进行了数学建模研究, 采用了基于定距型数据和非定距型数据属性的缺失数据估计方法进行缺失数据估计的数学建模; 最后, 对警用无人系统在低空安全防范中的应用前景进行了展望。

**关键词:** 警用无人系统; 低空安全; 空中走廊

## Preliminary Study on Police Unmanned Aircraft System and Low-altitude Safety Precaution

Pang Feng<sup>1</sup>, Feng Dengchao<sup>2</sup>

(1. Department of Basic Courses, Shanxi Police College, Taiyuan 030401, China; 2. School of Electronic and

Automation Engineering, North China Institute of Aerospace Engineering, Langfang 065000, China)

**Abstract:** The low altitude security present situation and the challenge under the new situation of police law enforcement personnel are analyzed, and studied the current police and main equipment of unmanned systems in low altitude airspace monitoring, daily patrol and reconnaissance, forensics, rapid disposal of police activities, the application of three-dimensional digital air corridor technology, explores the police unmanned system in calling the police, alarm receiving, law enforcement, the disposal of low altitude security application strategy in the business process. In the construction of mathematical modeling in the low altitude airspace, the data missing problem of real-time threat diffusion trend analysis of data missing problem of unmanned aircraft system was proposed. According to the data attribute values in the study of mathematical modeling, the data estimation method based on interval data attributes and the distance data attributes was built respectively. Finally, the application prospect of police unmanned system in low altitude security fields is prospected.

**Keywords:** police unmanned aircraft system; low altitude security; aerial corridor

## 0 引言

低空空域是我国宝贵的战略资源, 也是通航产业重要的活动空间<sup>[1-2]</sup>。随着低空空域的逐步开放, 无人机系统制造业和服务业都得到了快速发展, 民用无人机的商业化运营开始逐步浮出水面<sup>[3]</sup>。2017年2月, 京东在陕西西安启动了无人机送货的试点项目。2017年7月, 顺丰在四川成都建立了大型物流无人机总部基地。2018年5月, “饿了么”快递在上海展示了无人机送餐的新模式。然而, 随着低空空域运营服务业的快速发展, 低空空域环境将变得越来越复杂<sup>[4]</sup>, 引发的低空安全问题也日益增多<sup>[5]</sup>。在物流无

人机运输领域, 2018年4月, 俄罗斯邮政公司在进行无人机运送包裹测试过程中, 无人机意外撞到大楼后坠毁。在机场附近, 近年来无人机黑飞对民航的正常飞行也造成极大干扰<sup>[6]</sup>。2018年8月, 重庆江北机场上空发现无人机, 导致多架航班延误。2018年12月, 英国伦敦盖特威克机场因有无人机闯入空域而暂停所有航班。在公共安全领域, 2018年, 委内瑞拉总统发表公开演讲时, 遭遇无人机攻击, 造成七名士兵受伤。

为了应对当前我国出现的低空安全问题<sup>[7]</sup>, 维护国家安全、公共安全、飞行安全, 促进行业健康可持续发展, 2018年1月, 国家空管委组织起草了《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例(征求意见稿)》<sup>[8]</sup>。该条例是我国首次在国家层面对无人机的规范和管理作出部署, 用于实现对无人驾驶航空器的警务依法管理。警用无人系统是警务人员在低空空域开展执法工作的新型执法装备, 能够满足日常警务需要, 可用于公共领域常规巡查取证, 聚众闹事事件监控等。面对日益严峻的低空安全问题, 我国学者冯登超

收稿日期:2019-05-08; 修回日期:2019-05-1。

作者简介:庞峰(1977-), 女, 山西太原人, 硕士, 讲师, 主要从事数学应用、数学教学及低空安全防范方向的研究。

冯登超(1977-), 男, 四川西充人, 工学博士, 副教授, 英国皇家特许工程师, 主要从事面向低空安全的三维数字化空中走廊体系方向的研究。

探索了低空告警航图设计方法<sup>[9]</sup>, 并率先提出了面向低空安全的三维数字化空中走廊体系构架方法<sup>[10]</sup>, 开展了一系列的前期研究工作, 对于保障低空安全具有重要的理论指导价值。行鸿彦等研究了低空飞行安全气象保障的关键技术<sup>[11]</sup>。刘小峰等研究了海洋工程结构应对低空安全问题的方法与关键技术<sup>[12]</sup>。覃睿等研究了面向低空飞行安全监视的 ADS-B 地面站空间布局规划方法<sup>[13]</sup>。孙永生等研究了无人驾驶航空器安全风险防控方法<sup>[14]</sup>。王水璋等探索了低空安全监测管理系统<sup>[15]</sup>。总之, 低空安全相关理论体系的不断发展, 对于我国警务战线的低空安全防范工作将具有积极的推动作用。

本文紧密结合我国当前低空安全防范的紧迫需求, 采用面向低空安全的三维数字化空中走廊体系作为理论指导<sup>[16]</sup>, 结合我国新兴的警用无人系统执法特性, 探索了警用无人系统在低空安全防范中的应用策略, 对于保障我国低空空域的持续健康发展具有潜在的应用价值。

## 1 警用无人系统

警用无人系统是公安系统的一种智能装备, 具有侦察、日常处置甚至还空中打击等多种作战使命。它采用无人机平台与多样化、高可靠的作战模块相结合, 快速解决公安实战难题<sup>[17]</sup>。

警用无人系统是无人系统在警务执法中的典型行业应用, 包括警用无人机、数据通信设备、维护设备、回收装置、指挥控制设备等。如图 1 所示。



图 1 警用无人系统

警用无人机的通信站通常设置在移动平台上, 如警用车辆、船只或其它平台上。其中, 警用无人机包括固定翼无人机和多旋翼无人机。警用无人机装载可见光探头或红外探头, 可以昼夜机动侦察, 在群体性事件中进行空中告警, 在夜间抓捕活动中搭载照明载荷进行空中照明支持, 在应急救援中抛掷物资等。此外, 在反恐或恶性暴力犯罪事件中, 警用无人机可以搭载信号屏蔽器及非致命性装置进行空中打击等。例如, 社区民警主要从事治安防范管理、应急救援等服务。对于管辖范围较大、人口较为密集的地区, 由于警力不足等因素, 可能造成巡查疏漏。采用警用无人机对辖区进行巡查, 有利于公安部门及时掌握辖区的公共安全状况。对于大型集会活动, 警用无人系统可以快速搜索可疑人员和车辆, 对现场进行实时监控, 提高应急

处理效率。

目前, 警用无人机已经逐步应用到刑事、交通、治安、巡警、特警、禁毒、消防等多个警种的工作领域, 在突发性事件管控、反恐处突、骚乱驱散、搜捕、大型集会安防、侦察、抢险救灾、搜救、消防、交通巡视等多项警务工作中展现了出色的工作性能<sup>[18]</sup>。

总之, 警用无人系统能够完成低空监控、日常巡逻、侦察、取证、快速处置等警务活动, 在低空安全防范领域具有重要的应用价值。

## 2 基于警用无人系统的低空安全防范

近年来, 低空空域中的无人机增幅速度较快。据统计, 2017 年我国民用无人机产品产量同比增长 67%, 截至 2018 年 3 月 23 日, 我国无人机实名登记数量已增至 18 万架以上。在无人机的应用中, 航拍无人机应用已经成为新兴行业。当前, 我国的航拍无人机市场规模日渐增长。据不完全统计, 截至 2017 年, 我国航拍无人机市场规模约 40 多亿元; 2020 年, 该市场规模将达 250 亿元人民币。然而, 在航拍市场快速兴起的同事, 由于非法航拍活动及其它各类低空活动引发的低空安全威胁已经成为警务人员关注的公共安全问题。如果仍然采用传统的地面警务执法方式去开展低空安全防范工作, 警务人员将出现出警响应滞后、现场取证困难等问题, 加大了执法难度。

警用无人系统是开展警务活动的一种新兴手段。如何将警用无人系统这种新型装备应用到低空安全防范领域, 已经成为当前警务人员开展执法工作的巨大挑战。警用无人系统的负载能力有限, 需要开展警情分析, 合理配置警用无人系统的各种载荷。实施与有效部署警用无人系统, 结合低空安全告警探测技术<sup>[19]</sup>, 对执法现场进行动态监控是警用无人系统的重要应用<sup>[20]</sup>。例如王博等利用警用无人机开展了铁路线路治安巡防管控工作<sup>[21]</sup>。总之, 警用无人机对于警务系统的低空安全防范平台建设、警务工作以及未来全行业、全社会的无人机合法、规范的应用具有重要价值。

面向低空安全的三维数字化空中走廊体系是低空安全领域研究的重要理论体系, 对于开展警用无人系统的低空安全防范工作具有重要意义。因此, 本文将深入分析面向低空安全的三维数字化空中走廊体系, 并将其作为警用无人系统应用的理论指导, 开展低空安全防范数学建模工作。

面向低空安全的三维数字化空中走廊体系<sup>[22]</sup>, 是以开放的复杂巨系统理论为指导, 内容覆盖了多学科领域的前沿交叉技术, 包括低空安全走廊划定技术、空间交通网络生成技术、飞行动态监控技术、飞行器飞行控制技术以及综合服务平台关键技术, 如图 2 所示。

根据低空空域飞行器监管需要, 我国学者冯登超以三维数字化空中走廊体系为理论支撑, 分别从数据采集层、数据服务层、软硬件接口层、平台层和应用层角度, 结合数据可视化技术, 探索了低空飞行器交通管理平台构建方

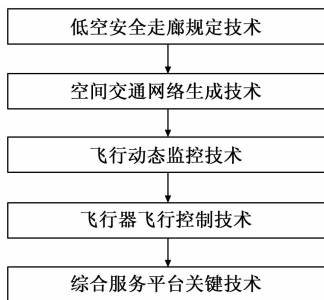


图2 三维数字化空中走廊体系图

法,为低空安全运营提供了一种全新的技术支持。在该平台的构建中,包括对于低空空域中的违规或违法的飞行器,提供针对执法部门的数据接口,便于警务执法机构对低空违规事件进行处置。

在低空安全防范的执法过程中,开展防范区域的无人机飞行动态监控研究是警务执法调度中心的重要技术保障。低空防范区域的无人机飞行动态监控流程如下:首先,启动数字地图,确定低空防范区域的地面边界的离散地理坐标。然后,根据监测区域的地面边界坐标数组,将数字地图的地面边界映射到低空空域的空间,形成防范区域的虚拟边界。接着,分析防范区域的地形,明确需要重点监测的区域,在该区域部署无线电测向设备,ADS-B接收设备,监测防范区域中小型无人机的数据链信号,接收低空飞行器的机载ADS-B设备的广播信号,实现对低空防范区域的飞行器动态监视。然后,结合防范区域的无人机的飞行报备数据,对合法无人机和非法无人机进行身份识别,锁定非法无人机。最后,根据无线电监测结果,获取非法无人机的数传、图传链路的频率,采用定向天线等方式,实施对非法无人机的遥控信号、导航信号及下行图传和遥测信号的管控。

因此,在基于警用无人系统的低空安全防范数学建模工作中,可以采用上述三维数字化空中走廊体系作为技术支持,搭建警用低空监管平台,并结合具体的警务活动,为警务人员配备移动终端设备,实现与该平台中执法部门数据接口的信息交互,实时获取非法入侵无人机的相关信息,并根据警情风险等级,结合警用无人系统,采取相应的低空安全防范措施,满足常态下警力、警情的监测监管、应急态下协同处置指挥调度的需要,确保警务执法工作的灵活性与时效性。

警用无人机作为一种新型警用装备,具有人员伤亡风险较小、机动性能好等优点,在提高公安执法效能领域中具有广阔的应用前景<sup>[23]</sup>。本文结合地面警务工作实践,以三维数字化空中走廊体系作为技术支持,采用探测、发现、识别、反制的技术流程和报警、接警、执法、处置的警务执法业务流程,构建了基于警用无人系统的低空安全防范系统。其中,探测、发现、识别、反制技术流程参考低空飞行器空中交通管理平台的构建技术<sup>[24]</sup>,旨在完成对管控区域的飞行全程进行监控和记录。在警务执法流程中,对

未认证飞行器采用询问、认证等步骤进行信息确认。若确认信息是经过认证的无人机,采用一般执法流程处理。若是未认证的无人机,则转入黑飞情况进行执法处置。

### 3 低空安全防范执法流程及数学建模

基于警用无人系统的低空安全防范执法流程如图3所示。

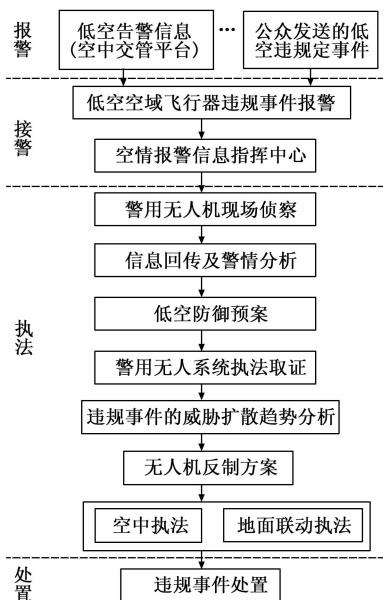


图3 基于警用无人系统的低空安全防范执法流程

图3展示了基于警用无人系统的低空安全防范的执法流程,包括报警、接警、执法、处置等业务。

首先,在公共安全面临潜在威胁或警情发生时,报警信息将迅速上报至相关业务平台,警务人员第一时间接到低空飞行器空中交通管理平台的低空告警信息或者公众发送的飞行器违规事件报警信息等低空威胁警情。根据业务处理流程中的风险等级判断,相关警务人员立即将警情上报至空情报警信息指挥中心。

其次,指挥中心对收到的低空警情进行快速响应,操控警用无人机快速抵达事发现场周边进行侦察,并对实时回传的信息进行警情分析,包括非法无人机的潜在危害进行分析,生成低空防御预案,下达执法命令。

然后,警务人员操控警用无人系统进行执法取证,并根据非法无人机的空中碰撞风险、地面碰撞风险、以及信息采集合法性风险进行预判,对低空违规事件的威胁扩散趋势进行快速分析,生成反制方案,对非法操作的无人系统分别采用固定式、车载式、便携式等反制手段对入侵无人机进行空中执法操作。

最后,对违法无人机的数据链进行快速分析,对非法无人机操作人员进行地面定位,使用警用无人机对违法操作人员实施地面联动执法,实现低空安全的立体防范。然而,在警用无人机使用中也应注意加强该空中执法设备的监管机制,确保执法过程安全。

在图3的执法流程中,无人机违规事件的威胁扩散趋势分析对于基层民警开展快速有效执法工作至关重要。

在低空安全防范平台构建中,涉及数据预处理、数据优化、统计分析等大量数学建模工作。以下将以数据预处理中的缺失值估计为例进行阐述。

在无人机违规事件的实时威胁扩散趋势分析过程中,通常会调用属性值较多的大型数据库进行辅助预测工作。然而,在低空安全防御区域的无人机监测数据采集过程中,监测区域环境复杂多变,传感器探测过程中偶尔会出现采集数据的属性值缺失现象,从而导致目标数据库的属性值不完整等问题。

对缺失数据的处理,通常包括记录删除和缺失值估计两种方法。在低空安全防范中,无人机数据监测过程中,每条记录都包含多个属性值。在一条数据记录中,如果由于属性值的缺失进行记录删除,则会丢失该条监测记录中的其它属性值,这是对信息资源的极大浪费。因此,在缺失数据处理过程中,主要采用统计方法对缺失值进行估计和填补,确保该条记录的其它属性值的完整性。

为了对缺失数据进行有效估计,本文分别对定距型数据和非定距型数据进行了统计分析和数学建模,实现对缺失数据的估计。

假设采集的多属性数据集中,某列数据集  $(x_i, i=1, 2, \dots, N)$  存在个别数据缺失现象。

若数据集是定距数据,则缺失数据的估计值计算公式如下:

$$\hat{x} = \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

即计算该列数据的平均值,并将其作为缺失数据的估计值。

若存在缺失数据的数据集  $x_i, i=1, 2, \dots, N$  是非定距数据,则首先统计该数据集中相同数据出现的频数  $f_i (i=1, 2, \dots, M, M < N)$ 。选择频数最大的数据  $\max(f_i)$  对应的数值作为缺失估计值。

$$f_j = \max(f_i), (i, j) \in (1, 2, \dots, M) \quad (2)$$

$$\hat{x} = x_j, j \in (i, 2, \dots, N) \quad (3)$$

即统计该列数据的频数,并将最大频数对应的数据作为缺失数据的估计值。

缺失数据估计是低空安全防范体系中数据预处理阶段的重要内容。它对于确保低空防范区域中无人机监测数据记录的完整性,提高对无人机违规事件的实时威胁扩散趋势分析结果的可靠性具有重要意义。

此外,在基于警用无人系统的低空安全防范应用领域,我国公安战线及相关领域的很多学者和基层民警都相继开展了大量的尝试工作。徐晨华分析了无人机系统在陆地边防警务工作中的应用策略<sup>[25]</sup>。许发见结合智慧警务需求,探索了民用无人机的管控方法<sup>[26]</sup>。耿乔探索了无人机和高速铁路线路物防人防以及技防相结合的实施策略,弥补了高架线路监控巡查人力不足的缺点<sup>[27]</sup>。杨传德分析了无人机在公安实战中存在的问题<sup>[28]</sup>。王玮剑探索了基于感性意象的城市警用无人机设计方法<sup>[29]</sup>。谢中教分析了当前路面

交通拥堵、侦察范围的不确定性以及犯罪分子反侦察手段提高等问题,设计了警用无人机目标跟踪系统<sup>[30]</sup>。此外,相关科研机构及警务设备提供商也纷纷开展了产品革新工作,使得我国警用无人系统开始在各个执法工作中崭露头角。随着消费级无人机的迅猛发展、社会保有量的急剧增加,由无人机引发的各类低空安全问题也将越来越多,开展基于警用无人系统的低空安全防范工作是确保城市公共安全的一种新的执法手段。由于低空空域环境复杂多变,对于面向低空安全防范的警务执法实施策略仍需随着科学技术的进步而不断的改进和完善。

## 4 结束语

低空安全防范是当前警务执法面临的严峻考验。根据低空安全防范的不同任务需求,装备相关设备载体的警用无人系统与空中警务信息服务平台的结合,对于提升警用无人机的空中执法效率,以及满足多元化低空安全防范警务实战的需求至关重要。本文分析了我国低空安全现状,采用三维数字化空中走廊体系作为理论支撑,探索了警用无人系统与低空安全防范领域相结合的低空防御警务执法流程,该研究成果对于我国警务人员今后深入开展低空安全防范工作,确保城市公共安全具有积极的现实意义。

然而,在警务实战工作中,也出现了低空安全监管失控等潜在风险。无人机的广泛使用,导致了无人机反制设备应运而生。当前,无人机反制设备的研发缺乏统一技术标准,反制技术在应对无人机风险时出现了对公共安全的次生安全问题,如干扰警务执法无人机的正常工作等。

总之,在开展低空安全防范工作中,如何明确管理规范、对违法干扰正常无人机进行有效的执法查处工作,将是我国低空安全保障中面临的严峻问题,同时也是我国警务工作者今后面临的重要任务。此外,在低空安全防范领域,基层民警、警察学院、警用无人机装备企业及相关科研单位可以结合自身优势开展技术攻关,确保警用无人系统在低空安全防范中发挥更大的作用。

## 参考文献:

- [1] Feng D, Yuan X. Automatic construction of aerial corridor for navigation of unmanned aircraft systems in class G airspace using Lidar [C]. Proc. of SPIE, Airborne Intelligence, Surveillance, Reconnaissance (ISR) Systems and Applications, III, Baltimore, USA, 2016, 9828 (18): 1-6.
- [2] Feng D, Yuan X, Kong L. Research on the visual flight planning of UAS for private protection in low altitude airspace [C]. Proc. of International Symposium on test automation and instrumentation, 2016, (1): 240-244.
- [3] 樊邦奎, 张瑞雨. 无人机系统与人工智能 [J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2017, 42 (11): 1523-1529.
- [4] Feng D, Yuan X. Digital terrain model extraction in SUAS clearance survey using LiDAR data [C]. Proc. of Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2016: 792-794.