

无人机通信信号监测与识别技术研究

郭勤博

石家庄诺通人力资源有限公司 河北 石家庄 050081

摘要：随着无人机技术的飞速发展，无人机在各个领域的应用日益广泛，但同时也带来了一系列安全隐患，如非法入侵、隐私侵犯、干扰航空秩序等。无人机通信信号监测与识别技术作为应对这些安全挑战的关键手段，受到了广泛关注。本文深入探讨了无人机通信信号监测与识别技术的相关内容，包括技术背景、关键技术、面临的挑战以及未来发展趋势，旨在为该领域的研究和应用提供有益的参考。

关键词：无人机；通信信号监测；信号识别技术

1 引言

无人机作为一种新兴的航空器，具有成本低、操作灵活、应用场景丰富等优点，在军事侦察、农业植保、物流配送、影视拍摄等领域发挥着重要作用。然而，随着无人机数量的急剧增加，其无序飞行和非法使用的问题也日益凸显。一些不法分子利用无人机进行非法侦察、恐怖袭击、走私等违法活动，严重威胁到国家安全、社会稳定和公众安全。无人机通信信号监测与识别技术是实现无人机有效管控的重要手段。通过对无人机通信信号的监测和分析，可以实时掌握无人机的位置、飞行状态、控制指令等信息，从而及时发现和处置非法无人机活动。同时，该技术还可以为无人机的合法飞行提供保障，促进无人机产业的健康发展。

2 无人机通信信号监测与识别技术背景

2.1 无人机通信系统概述

无人机的通信系统主要包括遥控器与无人机之间的控制链路、无人机与地面站之间的数据链路以及无人机之间的通信链路。控制链路用于实现遥控器对无人机的飞行控制，如起飞、降落、悬停、转向等操作；数据链路则用于传输无人机的飞行数据、图像信息、传感器数据等；无人机之间的通信链路主要用于多无人机协同作业时的信息交互。不同类型的无人机采用的通信协议和频段也有所不同。常见的无人机通信频段包括2.4GHz、5.8GHz等，通信协议有Wi-Fi、蓝牙、自定义协议等。这些通信信号具有频率范围广、信号强度弱、调制方式多样等特点，给信号监测与识别带来了一定的难度。

2.2 无人机通信信号监测与识别的必要性

一是保障国家安全：无人机可能被用于军事侦察、边境渗透等非法活动，对国家安全构成威胁。通过监测和识别无人机通信信号，可以及时发现潜在的安全隐患，采取相应的防范措施。二是维护社会秩序：在大型

活动、重要场所等区域，无人机的无序飞行可能会干扰活动秩序、威胁公众安全。例如，无人机在机场附近飞行可能会干扰飞机的起降，引发严重的安全事故。因此，对无人机通信信号进行监测和识别，有助于维护社会秩序和公共安全。三是保护个人隐私：一些无人机配备了高清摄像头等设备，可能会被用于非法拍摄、侵犯他人隐私。通过监测和识别无人机通信信号，可以追踪无人机的飞行轨迹和拍摄行为，保护个人隐私。四是促进无人机产业健康发展：建立完善的无人机通信信号监测与识别体系，可以为无人机的合法飞行提供保障，规范无人机市场秩序，促进无人机产业的健康发展。

3 无人机通信信号监测与识别关键技术

3.1 信号监测技术

3.1.1 频谱监测技术

频谱监测是无人机通信信号监测的基础，借助频谱分析仪、软件定义无线电（SDR）等设备对特定频段信号实时监测分析以获取频率、功率、带宽等参数^[1]。频谱分析仪作为传统设备，有高精度、高灵敏度优点，能快速扫描宽频段信号，如某款扫描范围9kHz-40GHz、分辨率带宽1Hz-10MHz可调，可精确测量信号频率和功率；SDR灵活性高、可编程性强，通过软件编程可监测不同频段和调制方式的信号，采样率几十到几百MS/s，能满足实时监测需求，如基于USRP的SDR系统采样率达100MS/s，可同时监测多频段信号。频谱监测技术分扫描式和固定频点监测两种方式，扫描式监测可在宽频段快速扫描发现潜在信号，如在2.4GHz频段几秒内完成扫描；固定频点监测针对已知无人机通信频段重点监测，提高准确性和效率，如对大疆无人机常用2.4GHz和5.8GHz频段实时监测信号变化，及时发现通信活动。

3.1.2 方向定位技术

方向定位技术用于确定无人机通信信号来源方向以

实现无人机定位, 常见方法有比幅法、比相法、时差定位法。比幅法通过比较多个天线组成阵列接收信号的幅度差异, 利用三角函数关系计算入射方向, 原理简单, 但定位精度受天线阵列布局和信号幅度测量精度影响, 通常在几度到十几度; 比相法利用信号到达不同天线的相位差计算方向, 需精确测量相位, 通过高精度设备和算法可实现较高定位精度, 通常达1度以内, 如采用高精度相位比较器的系统可将相位测量误差控制在0.1度以内; 时差定位法通过测量信号到达至少三个监测站组成定位网络的时间差, 利用几何关系计算信号源坐标, 定位精度受时间测量精度和监测站布局影响, 随着高精度时钟技术发展, 时间测量精度可达纳秒级, 定位精度一般在几米到几十米。

3.1.3 多传感器融合监测技术

为提升无人机通信信号监测的准确性与可靠性, 常采用多传感器融合监测技术, 即集成频谱监测设备、方向定位设备、雷达等多种传感器, 借助卡尔曼滤波算法(一种递归滤波算法, 能估计和预测动态系统状态, 在多传感器融合监测系统中可融合频谱、方向定位和雷达数据, 如融合信号频率功率、方向及无人机距离速度信息后能实时更新状态估计, 使定位误差降低30%-50%)等数据融合算法综合处理各传感器采集的数据, 发挥其优势提升系统性能^[2]。此外, 不同传感器间还需进行时间同步(如雷达和频谱监测设备采用统一时间基准, 使位置与信号来源方向对应)和空间校准(消除各传感器空间坐标测量误差), 以确保数据准确一致。

3.2 信号识别技术

3.2.1 基于特征提取的识别方法

基于特征提取的识别方法, 是从无人机通信信号里提取如调制方式、带宽、码率、频谱特征等代表性特征以分类识别信号。特征提取包含时域特征提取(如均值、方差、峰值、过零率等, 可反映信号平均强度与波动程度, 能据此建立特征模板)、频域特征提取(利用傅里叶变换转换信号到频域, 提取功率谱密度等特征, 不同调制方式信号频域特征不同, 如Wi-Fi和蓝牙信号频谱特性各异)、时频域特征提取(采用短时傅里叶变换、小波变换等方法分析信号, 能更全面描述信号特性, 对复杂调制方式识别效果好)。分类算法有支持向量机(SVM, 基于统计学习理论, 泛化与分类性能佳, 选合适核函数和参数对无人机通信信号分类准确率可达90%以上)、决策树(基于树结构决策, 直观易懂)和神经网络(如MLP、CNN, 可自动学习特征表示, 有强大非线性映射能力, 能通过大量训练样本提高分类准确率)。

3.2.2 基于深度学习的识别方法

深度学习技术在图像、语音识别领域成果显著, 如今也应用于无人机通信信号识别。深度学习模型如卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)及其变体(LSTM、GRU)等, 可自动学习信号特征表示, 无需手动提取。CNN在无人机通信信号识别中, 能将信号时频图或频谱图作为输入, 经卷积层、池化层和全连接层组合自动提取特征, 如对256×256像素的时频图, 用多个卷积核提取特征后池化降维, 最后全连接层分类, 研究表明其分类准确率比传统方法高10%-20%; RNN及其变体适用于处理序列数据, LSTM和GRU能解决传统RNN梯度问题, 对无人机通信信号时序特征建模, 提高动态信号识别能力, 如对跳频信号, LSTM可捕捉时序变化规律实现准确识别^[3]。该方法虽识别准确率高、适应性强, 但对训练数据质量和数量要求高, 需收集大量标注样本, 还要优化调整模型以提升性能和泛化能力。

3.2.3 基于协议分析的识别方法

不同类型无人机通信协议有不同特点规范, 基于协议分析的识别方法通过对无人机通信信号协议解析来识别信号。具体而言, 先对信号解调还原为原始数字信号, 再依据已知协议规范解析数字信号, 提取协议头、体等信息, 如解析Wi-Fi协议的802.11帧结构可获取源地址等关键信息; 建立包含各种无人机通信协议帧格式、字段含义、通信流程等特征信息的完善协议特征库是关键, 通过将待识别信号协议特征与库中特征匹配, 可确定信号协议类型和所属无人机。该方法需深入了解各协议并准确解析协议数据, 能提供详细信号信息, 有助于分析判断无人机行为, 例如通过分析控制指令可了解无人机飞行意图和操作动作。

4 无人机通信信号监测与识别技术面临的挑战

4.1 信号复杂性与多样性

无人机通信信号具有频率范围广、调制方式多样、信号强度弱等特点。不同品牌、型号的无人机采用的通信协议和频段各不相同, 甚至同一型号的无人机在不同工作模式下也可能使用不同的通信参数。此外, 无人机通信信号还可能受到环境噪声、干扰信号等因素的影响, 使得信号的监测和识别变得更加困难。

4.2 实时性要求高

在实际应用中, 对无人机通信信号的监测与识别需要具备较高的实时性。特别是在应对非法无人机入侵等紧急情况时, 必须能够及时发现并定位无人机, 以便采取相应的处置措施。然而, 信号监测与识别过程中的数据处理、特征提取、分类识别等环节都需要一定的时

间,如何在保证识别准确率的前提下提高系统的实时性是一个亟待解决的问题。

4.3 隐私与法律问题

无人机通信信号监测与识别技术涉及到个人隐私和法律问题。在监测过程中,可能会获取到一些与个人隐私相关的信息,如无人机的飞行轨迹、拍摄内容等。如何在保障公共安全的同时,保护个人隐私和合法权益,是该技术应用过程中需要认真考虑的问题。此外,相关的法律法规还不够完善,对于无人机通信信号监测与识别的合法性、操作规范等方面缺乏明确的规定。

4.4 技术成本与部署难度

无人机通信信号监测与识别系统需要使用多种先进的设备和技术,如频谱分析仪、方向定位设备、高性能计算机等,导致系统的建设和维护成本较高。同时,系统的部署需要考虑监测范围、地形地貌、电磁环境等因素,在一些复杂环境下,系统的部署难度较大。

5 无人机通信信号监测与识别技术的发展趋势

5.1 智能化发展

随着人工智能技术的不断发展,无人机通信信号监测与识别技术将朝着智能化方向发展。利用深度学习、强化学习等人工智能算法,实现对无人机通信信号的自动监测、特征提取、分类识别和决策分析。智能化系统可以不断学习和优化,提高识别准确率和实时性,适应复杂多变的信号环境。

5.2 多技术融合

未来,无人机通信信号监测与识别技术将与其他技术进行深度融合,如雷达技术、光电技术、卫星通信技术等。通过多技术融合,可以充分发挥各技术的优势,提高系统的监测范围、精度和可靠性。例如,将雷达技术与通信信号监测技术相结合,可以实现对无人机的远距离探测和定位;将光电技术与通信信号识别技术相结合,可以获取无人机的图像信息,进一步确认无人机的身份和行为。

5.3 网络化与协同化

为了实现对大面积区域的无人机通信信号监测与识别,未来的监测系统将朝着网络化和协同化方向发展。

通过建立多个监测节点组成的监测网络,实现数据的共享和协同处理。不同监测节点之间可以进行信息交互和任务分配,提高监测效率和覆盖范围^[4]。同时,网络化监测系统还可以与无人机管控平台、公安、民航等部门的信息系统进行对接,实现信息的实时共享和协同处置。

5.4 小型化与便携化

随着无人机技术的不断发展,无人机越来越小型化和便携化。为了适应对小型无人机的监测需求,无人机通信信号监测与识别设备也将朝着小型化和便携化方向发展。小型化、便携化的监测设备可以方便地部署在各种场合,如重要场所、边境地区等,提高监测的灵活性和及时性。

结语

无人机通信信号监测与识别技术是应对无人机安全挑战的关键,对保障国家安全、维护社会秩序等意义重大。本文深入探讨了其背景、关键技术、挑战及发展趋势。目前该技术面临信号复杂多样、实时性要求高、隐私法律问题及成本部署难度等挑战,但随着人工智能、多技术融合等发展,其将不断完善。未来,该技术将在多领域发挥重要作用,为构建安全有序的无人机飞行环境提供保障,同时需关注隐私法律问题,完善相关法规确保合法合规应用。

参考文献

- [1]李强.高扩展性无人机信号检测识别技术[J].中国宽带,2025,21(04):131-133.
- [2]明舒涛,许高明.一种无人机跳频通信信号检测方法[J].无线通信技术,2025,34(01):39-43.
- [3]吴佳潞.低信噪比下无人机通信信号检测与识别方法[D].国防科技大学,2021.
- [4]谭志昇,周凌云,张锐伟,等.基于改进YOLOv3的无人机射频信号识别研究[C]//中国指挥与控制学会(ChineseInstituteofCommandandControl).第十三届中国指挥控制大会论文集(下册).国防科技大学第六十三研究所;南京信息工程大学电子与信息工程学院;中国人民解放军93046部队,2025:661-667.