

从上面列举的例子可以看出：主备冗余与自动切换系统，可以实时同步主备设备工作参数、节目信号、控制指令，使备用设备始终处于热备用状态。另外，该系统同时设置了多级权限闭锁与防误操作装置，防止自动切换与人工操作产生冲突，保障切换过程安全规范。在采用主备冗余自动切换技术后，发射台单设备故障影响时长将大幅缩短，停播时长明显减少，这就给中波发射台的安全稳定运行提供了坚实保障。

### 3.3 网络安全防护与系统抗干扰技术

当前，自动化平台接入设备数量不断增长，通信协议复杂化程度越来越高，以至于中波发射台面临的安全风险因素呈现出上升态势，这其中包括网络攻击、指令篡改、数据泄露、电磁干扰等。为此，需要构建一个能够保障系统安全运行的防御体系。首先，网络安全防护以边界隔离、访问控制、入侵检测、数据加密为核心，系统抗干扰以电磁屏蔽、接地防雷、滤波稳压、协议加固为重点，二者的协同作用，为复杂环境下自动化平台的安全运行提供了强大的技术支撑。

比如某地区在构建中波发射台自动化监控网络安全系统时，主要部署了工业防火墙、单向隔离网闸、入侵检测系统（IDS）与安全审计模块，对远程访问实行IP绑定、口令加密、操作留痕三重认证机制，同时对发射机控制指令采用AES-256加密传输。通过对平台运行的实测试验发现：该平台日均拦截非法访问请求300余次，未发生一次控制指令被篡改或数据被窃取事件。随着网络安全与抗干扰技术的日渐成熟，自动化平台需要定期开展固件更新、病毒查杀、漏洞检测与权限梳理，及时封堵安全短板。并通过科学完善的电磁环境监测机制，对机房内外部干扰源进行实时监测与定位，以快速消除干扰隐患，真正实现安全可控、稳定可靠的自动化运行目标<sup>[3]</sup>。

## 4 基于自动化平台的中波发射台运行安全保障技术应用成效

### 4.1 故障处置能力显著提升

自动化平台在运行，可以通过智能诊断技术对故障点进行快速精准定位，这就大幅缩短了故障排查与处理时间。比如某地区的中波发射台在部署自动化平台之前，单起故障平均排查时间约为6至10分钟，引入自动化平台后，系统可在1秒内完成异常识别、3秒内完成故障定位、15秒内推送处置方案，全年平均故障处置时间压缩至90秒以内。随着自动化技术的不断升级，自动化平台的功能模块也逐步拓展，通过历史数据查询、趋势曲线分析、运行报表自动生成等功能，可以辅助运维人员掌握设备性能衰减规律，科学制定检修计划，这就为故障发生率的降低创造了有利条件，故障处置能力显著提升。

### 4.2 连续运行稳定性大幅增强

自动化平台通过强大安全防护机制，使中波发射台运

行安全得到可靠保障，播出系统的连续运行稳定性显著增强。这主要得益于自动化对播出链路中的关键环节实施的实时监控与冗余备份，从信号源、发射机到天馈线系统均具备故障自动隔离与快速恢复能力，进而有效避免了因单点故障引发的停播、断频、失真等安全事故。比如某地区中波发射台在重点安全保障期内的运行数据显示：在为期30天的保障任务中，系统共自动执行设备状态检测14万余次，成功处置功率波动、温度异常、电压闪变等潜在风险16次，主备发射机自动切换3次，切换过程无断音、无失真、无听众可感知影响，切换成功率保持100%。这些数据充分表明，在应用自动化安全保障技术以后，中波发射台核心设备的平均无故障工作时间得到大幅延长，系统整体运行持续保持平稳状态<sup>[4]</sup>。

### 4.3 智能化水平全面提高

自动化平台的介入，使得台站管理从过去的经验驱动转变成为数据驱动模式，这一过程，有效避免人为干扰因素的影响，平台通过统一的数据接口、标准的运行流程、完善的权限管理与日志记录，实现了运维工作的全程可追溯、可监管，操作行为更加规范，人为风险的发生概率大幅降低。比如某地区中波发射台在应用自动化平台以后，能够完整记录各项运行参数与各类故障信息，并自动生成运维工单，该平台全年累计自动生成运行报表365份、故障分析报告24份、设备健康评估报告12份，与过去的人工操作模式相比，工作效率明显提升。与此同时，自动化平台同时具备远程监控、移动运维、跨台联动等功能，技术管理部门能够实时掌握全辖区发射台的运行状态，实现集中监管与统一调度。这种智能化的管理模式，不仅降低了台站的运行风险，也为中波广播事业的高质量发展奠定了稳固基础。

## 5 结语

当前，中波发射台的运行环境日趋复杂，安全播出标准不断提升，使得发射台对自动化技术的依赖度越来越高，在这一背景之下，各台站需要充分发挥数字技术的应用优势，持续深化大数据分析、数字孪生、边缘计算等新技术与自动化平台的融合应用，并通过算法模型的优化、对防护机制的完善、对联动能力的持续拓展，努力提升中波发射台的抗风险与抗干扰能力，以扎实推进广播电视传输事业的稳步发展。

### 参考文献

- [1] 薛晓丹.中波发射台安全播出的运行保障措施探讨[J].西部广播电视,2021,42(07):224-226.
- [2] 何剑平.中波发射台智慧化监管系统的实践和完善分析[J].中国设备工程,2023,(09):45-47.
- [3] 孙宇伟.态势感知系统中波发射台网络安全中的实际应用[J].广播电视信息,2022,29(09):99-101.
- [4] 刘尊道.中波广播发射设备的故障诊断与安全保障技术研究[J].电声技术,2025,49(10):135-137+165.

# Methods for 3D Environment Perception and Real-time Visualization for Autonomous Navigation of Unmanned Aerial Vehicles

Yi Wang Bowen Yang Min Zhong Guanyu Jia Xuan Wang\*

Sichuan Communication Research and Planning Design Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

## Abstract

Focusing on the characteristics of unmanned aerial vehicles such as low payload and high real-time requirements, this paper conducts research on building a 3D environment visual perception framework based on visual multi-object recognition and semantic cognition. By introducing an attention mechanism model with bird's-eye view perspective and a lightweight expression mechanism, the accurate representation of target spatial positions and dynamic changes in complex scenes is achieved. Through the construction of a hierarchical rendering and data compression mechanism, the real-time computing efficiency is further improved. The research results show that this method has good real-time performance and system scalability while ensuring accuracy, and can provide technical support for applications such as unmanned aerial vehicle inspection and disaster monitoring.

## Keywords

autonomous navigation of unmanned aerial vehicles; 3D environment perception; multi-modal fusion; BEV representation

## 面向无人机自主导航的三维环境感知与实时可视化方法

王燊 杨博文 钟敏 贾桃宇 王旋\*

四川通信科研规划设计有限责任公司, 中国 · 四川 成都 610000

## 摘要

围绕无人机低载荷、实时性要求高等特点, 本文围绕基于视觉多目标识别及语义认知构建三维环境视觉感知框架开展研究, 通过引入鸟瞰视角的注意力机制模型与轻量化表达机制, 实现复杂场景下目标空间位置与动态变化的准确表征。并通过构建分层渲染与数据压缩机制, 进一步提升实时运算效率。研究结果表明, 该方法在保证精度的同时具备良好的实时性能与系统可扩展性, 可为无人机巡检、灾害监测等应用提供技术支撑。

## 关键词

无人机自主导航; 三维环境感知; 多模态融合; BEV表示

## 1 引言

随着无人机技术在巡检、应急救援与环境监测等领域的广泛应用, 其自主导航能力逐渐成为研究重点。复杂环境中存在动态障碍物、多尺度结构以及光照变化等问题, 对环境感知提出了更高要求。传统二维视觉方法难以提供完整空间信息, 三维环境感知技术通过融合多源传感器数据, 将环境信息以空间结构形式表达, 为路径规划与避障提供可靠依据。在现有研究中, 双目视觉传感器具有一定的轻量化深度

估计能力, 但仅支持目标某个方向的环境感知, 全向环境感知能力有限。基于此, 本文围绕无人机应用场景, 构建三维环境感知与实时可视化一体化方法, 重点解决感知精度、计算效率与系统集成之间的平衡问题。

## 2 无人机三维视觉环境感知技术体系构建

已有的双目视觉深度估计通过两个摄像头的视觉差做景深估计, 并基于此将多个估计值进行拼接融合生成空间位置感知结果, 在融合处理单个感知源时因为单个数据源的误差累计导致整体空间感知误差放大。为此, 业界提出一种采用鸟瞰图表示与注意力机制相结合的联合空间感知处理技术架构, 将多个原始景深图生成伪云图, 按照空间映射形成全局鸟瞰伪像点云进行降采样与滤波处理, 从而减少数据规模并保持关键结构信息; 通过体素网格规则划分空间结构, 使数据适配三维卷积网络; 鸟瞰图则将生成的三维信息投影

【作者简介】王燊 (1975-), 男, 中国四川成都人, 博士, 高级工程师, 从事信息与通信工程研究。

【通讯作者】王旋 (1984-), 男, 中国四川成都人, 博士, 高级工程师, 从事无线通信与信息技术, 智能网络系统研究。

到二维平面,降低计算复杂度。在无人机应用场景中,为满足实时性要求,需要进一步对模型进行轻量化设计。通过减少用于特征提取的网络层数、采用稀疏卷积以及引入量化技术,可以在保证精度的同时降低注意力权值参数计算开销,使模型适配嵌入式平台运行。

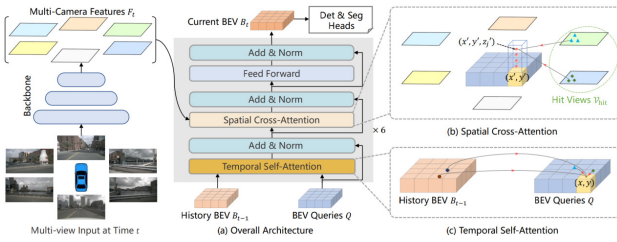


图 1. 基于 BEV 三维视觉空间决策技术架构

### 3 三维目标检测与动态环境建模方法

#### 3.1 三维目标检测模型设计

三维目标检测的关键在于从多源融合数据中准确恢复目标的空间几何属性,并以统一参数形式进行表达。通常以七维参数描述目标状态,包括三维位置坐标、长宽高以及朝向角度,使检测结果能够直接服务于空间决策与路径规划。在模型构建方面,深度学习方法已成为主流路径,通过构建端到端网络,实现特征提取与边界回归的统一优化,以提升对小目标与远距离目标的识别能力。同时,通过结合鸟瞰视角表达,可进一步强化空间结构信息,使模型在复杂环境中仍能保持较高的检测稳定性与精度。

#### 3.2 多模态融合检测策略

复杂环境下单一传感器难以全面获取有效信息,图像数据在纹理表达方面具有优势,而点云数据在空间几何描述方面更为精确,多模态融合因此成为提升检测性能的重要路径。在融合过程中,通过构建统一特征空间,实现不同模态信息的协同表达,使语义信息与空间信息形成互补关系。在无人机动态场景中,特征级融合更具适应性,可在不同环境条件下保持较高鲁棒性。进一步结合注意力机制与跨模态对齐方法,可增强关键区域信息权重,使系统在复杂背景中仍能准确识别目标,提升整体感知能力。

#### 3.3 动态目标跟踪与轨迹预测

无人机在实际运行过程中面临持续变化的动态环境,仅依赖单帧检测结果难以支撑稳定导航。通过引入多目标跟踪机制,可对目标进行时间维度上的连续建模,实现状态更新与身份保持。在跟踪过程中,通常结合检测结果与运动模型,对目标位置进行滤波估计,从而减少检测噪声带来的波动影响。同时,通过建立目标关联策略,实现不同帧之间的目标匹配,保证轨迹连续性。轨迹预测是在跟踪基础上的进一步扩展,通过分析历史运动数据,结合运动学模型或学习型预测方法,对目标未来位置进行估计。

## 4 实时三维可视化方法与系统实现

### 4.1 多层次可视化表达机制

三维环境数据具有体量大、结构复杂及语义层次多样等特征,单一展示方式难以全面反映环境信息。基于此,多层次可视化表达机制通过对数据进行结构化分解,将几何信息、语义信息与决策信息分别映射至不同层级,实现信息的有序呈现。在基础层,系统以点云或网格形式展示环境的空间结构,突出地形轮廓与障碍物分布,为整体认知提供几何基础。在语义层,通过融合目标检测与分类结果,对关键目标进行标注,使环境信息具备可理解性。在决策层,将路径规划结果、避障策略等信息叠加于空间结构之上,体现系统运行状态与决策逻辑。各层之间通过统一坐标系进行关联,既保证信息表达的一致性,又避免数据冗余。该机制能够在复杂场景中实现由“结构—语义—决策”的逐级递进表达,使系统输出更加清晰、直观,有助于提升人机交互效率与系统调试能力。

### 4.2 高效渲染与数据压缩策略

实时可视化对系统计算能力与数据处理效率提出了较高要求,在多视觉多目标联合处理场景下,处理过程易出现延迟与资源占用过高的问题。为此,需要从数据组织与计算流程两个方面进行优化。在数据层面,通过对空间结构进行分块处理与层次化管理,仅对注意力特征表达数据进行处理,实现对关键点提取与数据进行压缩,在保证主要结构特征不丢失的前提下降低数据规模,在无人机实时导航的应用中能够显著提升系统响应速度,使可视化过程在高频数据更新条件下仍保持稳定流畅。

### 4.3 BEV 可视化与空间决策支持

鸟瞰视角(BEV)在三维环境表达中具有结构简洁、信息集中等优势,能够有效降低空间理解难度。通过将三维点云数据投影至二维平面坐标系,可将复杂空间关系转化为平面分布形式,从而直观呈现目标位置、运动轨迹与环境结构。在该视角下,目标检测结果通常以边界框形式进行表达,并结合类别信息与置信度进行标注,使环境态势更加明确。同时,通过叠加路径规划结果与安全边界信息,可以构建面向决策的可视化界面,为无人机导航提供直观依据。在工程实践中,BEV 可视化不仅用于实时监控,还可作为系统调试与性能评估的重要工具,通过对历史数据进行回放与分析,能够识别系统在复杂场景中的表现差异。相较于传统三维渲染方式,BEV 表达在计算复杂度与信息表达效率之间取得较好平衡,为无人机自主导航系统提供了可靠的空间决策支持手段。

## 5 算法验证与性能优化

在无人机自主导航的实测过程中,采用了 NVIDIA Jetson Orin nano 作为无人机载三维环境感知计算平台,在