

# 人工智能赋能下的无线电监测数据智能研判平台架构设计

刘 普

盐津县无线电监测中心 云南 昭通 657000

**摘要:** 针对无线电监测数据海量、异构、实时的特点及传统研判效率低、精度不足的痛点, 本文结合深度学习、边缘计算等技术, 设计“感知层-传输层-数据层-智能研判层-应用层”五层架构平台。阐述平台各分层、核心模块的设计细节, 明确安全性与可扩展性设计思路, 通过性能测试验证平台可行性。结果表明, 平台信号识别准确率达97.5%, 数据处理延迟低于500ms, 可有效支撑电磁环境管控, 为无线电管理决策提供高效智能支撑。

**关键词:** 人工智能赋能; 无线电监测数据; 智能研判平台; 架构设计

引言: 随着5G-A、低空经济等新业态兴起, 电磁环境日趋复杂, 无线电监测数据激增, 传统监测手段已难以满足异常信号检测、干扰溯源等核心需求, 亟需人工智能技术赋能升级。无线电监测作为维护电波秩序的核心手段, 其智能化水平直接影响电磁空间安全。基于此, 本文设计人工智能赋能的无线电监测数据智能研判平台, 融合多领域技术突破传统瓶颈, 实现监测数据高效处理与智能研判, 助力无线电管理向科学化、规范化转型。

## 1 相关理论与技术基础

### 1.1 无线电监测数据相关理论

(1) 无线电监测数据类型与特征: 主要涵盖频谱数据、IQ数据、辐射源参数数据三大类, 其中频谱数据反映信号频率分布特征, IQ数据记录信号幅度与相位信息, 辐射源参数数据包含辐射源位置、功率等关键指标。监测数据具有显著的海量性、实时性、异构性及时变性特点, 海量数据源于多终端、多频段持续采集, 实时性要求数据同步处理, 异构性体现在不同类型数据格式差异, 时变性则由电磁环境动态变化导致, 同时存在数据冗余、噪声干扰等质量差异问题。(2) 无线电监测数据研判核心需求: 核心围绕电磁环境管控展开, 包括异常信号检测、干扰识别、辐射源溯源、电磁态势分析四大方向。异常信号检测需快速识别非授权信号, 干扰识别要精准区分干扰类型与来源, 辐射源溯源需定位信号发射位置, 电磁态势分析要整合多维度数据呈现整体环境。研判过程需同时满足实时性、精准性、协同性要求, 为无线电管理决策提供支撑。

### 1.2 人工智能核心技术

(1) 深度学习技术: 核心包括卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)、ResNet-Transformer混合网络等模型。CNN擅长提取信号空间特征, 适用于复杂频谱信号分析; RNN可捕捉信号时序特征, 适配动态变化的监

测数据; 混合网络结合两者优势, 有效提升信号特征提取、盲信号识别与异常检测的效率和精度。(2) 机器学习技术: 涵盖XGBoost算法、半监督学习、生成式AI等。XGBoost用于监测数据分类与干扰等级评估, 半监督学习可利用未标注数据训练模型, 生成式AI能够扩充标注数据样本, 有效解决无线电监测数据标注成本高、样本不足的痛点<sup>[1]</sup>。(3) 边缘计算与云计算技术: 构建“边云协同”处理模式, 边缘计算部署于监测终端, 实现本地实时数据处理, 大幅降低数据传输延迟, 满足实时研判需求; 云计算提供分布式存储与海量数据算力支撑, 可完成大规模数据建模、分析与归档, 二者协同保障监测数据高效处理。

### 1.3 平台开发相关支撑技术

(1) 软件无线电(SDR)技术: 采用开放式架构, 支持多频段、多制式信号适配, 可通过软件配置灵活调整监测参数, 实现监测终端的功能重构与扩展, 适配不同场景下的无线电监测需求。(2) 数据存储与交互技术: 包含分级存储、分布式数据库、PCIe5.0总线等技术。分级存储实现冷热数据分类管理, 提升存储效率; 分布式数据库保障海量数据安全存储; PCIe5.0总线提升数据传输速率, 确保监测数据高效存储与高速交互。(3) 可视化技术: 基于三维GIS与Cesium引擎, 将电磁环境参数、辐射源位置、异常信号分布等数据转化为可视化图表, 实现电磁态势、研判结果的直观呈现, 为智能决策提供可视化支撑。

## 2 人工智能赋能下的无线电监测数据智能研判平台架构设计

### 2.1 平台总体架构设计

(1) 架构设计原则: 严格遵循实用性、可扩展性、实时性、安全性四大核心原则, 兼顾技术先进性与工程落地性。实用性聚焦实际监测场景需求, 避免冗余设计,

确保功能可直接服务于无线电管理工作；可扩展性支持后续功能升级与设备接入，适配不同区域、不同频段的监测需求；实时性保障监测数据采集、分析、研判全流程低延迟，满足异常信号快速响应需求；安全性防范数据泄露与恶意攻击，同时兼顾技术先进性与工程可实现性，平衡研发成本与应用效果。（2）总体架构分层：采用“感知层-传输层-数据层-智能研判层-应用层”五层架构，各层定位清晰、协同联动，形成从数据采集到服务输出的全流程智能化闭环。分层设计既保证了各模块的独立性，便于后期维护与升级，又实现了数据与功能的高效协同，提升平台整体运行效率，适配多场景、多终端的无线电监测应用需求<sup>[2]</sup>。（3）架构核心逻辑：以“数据驱动、智能研判”为核心，形成全流程闭环逻辑。感知层负责多源监测数据的全面采集，传输层实现数据从终端到平台的高效传递，数据层完成数据预处理与安全存储，智能研判层依托人工智能算法对数据进行深度分析与研判，应用层将研判结果转化为多样化服务，反馈给用户，同时接收用户需求，实现架构的动态优化。

## 2.2 各分层详细设计

（1）感知层设计：整合宽频带频谱感知模块、多通道同步采集单元，融合固定监测站、车载监测终端、便携式监测设备，构建全方位、立体化感知网络。实现30MHz-6GHz频段无缝覆盖，支持多频段信号同步采集，具备异常信号实时捕获、干扰抑制功能，可快速响应突发电磁干扰事件，为后续数据处理提供高质量原始数据。（2）传输层设计：采用“有线+无线”混合传输模式，结合边缘节点与云端节点的协同传输策略。有线传输保障固定监测站海量数据稳定传输，无线传输适配车载、便携式终端移动监测需求，边缘节点优先处理本地关键数据，减少传输压力，云端节点负责全局数据汇总，确保数据传输低延迟、高可靠性，支持海量数据分片传输与断点续传，避免数据丢失。（3）数据层设计：构建动态信号数据库，采用“热数据+冷数据”分级存储策略，热数据用于实时研判，冷数据用于归档分析，提升存储效率与数据访问速度。实现标准化信号数据与特征数据的分类存储，通过跨维度数据关联分析，挖掘信号时空关联性，同时完成数据清洗、去噪、标准化等预处理操作，剔除异常值与冗余数据，提升数据质量。（4）智能研判层设计：集成信号识别、干扰溯源、态势分析三大核心模块，部署多模态人工智能算法。依托深度学习与机器学习技术，实现非合作信号盲解、辐射源个体识别、电磁态势实时评估等功能，支持算法动态迭代优化，可根据监测数据变化与用户需求，更新算法模型，提升研判精

度与效率<sup>[3]</sup>。（5）应用层设计：面向无线电管理部门、运维人员等不同用户需求，设计监测研判、干扰预警、统计分析、可视化展示等功能模块。监测研判模块提供信号分析与异常诊断服务，干扰预警模块实时推送干扰信息，统计分析模块生成多维度监测报告，可视化展示模块直观呈现电磁态势，同时支持定制化服务与电脑端、移动端多终端适配。

## 2.3 平台核心模块设计

（1）智能数据预处理模块：采用自适应干扰抑制、小波去噪、异常值剔除等技术，有效降低噪声与干扰对数据的影响；结合人工智能辅助数据标注技术，自动完成部分数据标注，减少人工标注工作量，提升数据标注效率与准确性，为后续智能研判提供可靠的数据支撑。（2）多模态信号研判模块：融合CNN与GRU混合模型，CNN负责提取信号空频特征，GRU捕捉信号时间动态规律，实现调制信号、非法信号、干扰信号的精准识别。通过模型优化，降低信号识别的误码率与虚警率，可适配复杂电磁环境下的多类型信号研判需求。（3）辐射源溯源与干扰定位模块：结合单站测向与多站协同定位技术，融合TDOA（到达时间差）与AOA（到达角）定位算法，弥补单一算法定位短板，实现辐射源精准定位与干扰溯源。优化定位算法流程，提升定位精度与响应速度，为干扰处置提供精准的位置支撑<sup>[4]</sup>。

## 2.4 架构安全性与可扩展性设计

（1）安全性设计：采用数据加密传输与存储技术，对监测数据全程加密，防范数据泄露；引入联邦学习技术，实现数据“可用不可见”，保护数据隐私；设置分级访问权限控制，根据用户角色分配操作权限，防范恶意攻击与误操作，全面保障监测数据与平台运行安全。（2）可扩展性设计：采用微服务架构，将平台功能拆分为独立微服务模块，支持模块动态增减与功能升级；预留接口适配新频段、新信号类型的监测需求，兼容不同品牌监测设备与人工智能算法，确保平台能够跟随技术发展与实际需求持续优化，延长平台生命周期。

## 3 平台实现与性能测试

### 3.1 平台开发环境与技术选型

（1）开发环境：硬件环境结合监测需求选型，服务器选用国产化机架式服务器，配置高性能CPU与大容量内存，满足海量数据处理与AI算法运行需求；监测终端选用宽频带便携式、车载式设备，搭配高精度频谱传感器，保障信号采集精度；软件环境选用Linux操作系统，适配多终端协同运行，开发语言采用Python与Java结合，兼顾算法开发与系统部署效率，数据库选用国产化分布

式数据库,保障数据存储安全与访问便捷,整体选型兼顾稳定性与工程落地性。(2)核心技术选型:结合项目需求与技术成熟度,优先选用国产化技术与开源架构。AI算法框架选用国产深度学习框架,适配多模态算法部署与迭代;数据存储方案采用分级存储结合分布式存储技术,兼顾存储效率与数据安全;传输协议选用MQTT协议,保障低延迟、高可靠的数据传输;可视化工具选用基于Cesium的国产化可视化组件,实现电磁态势的精准呈现,同时降低研发成本、提升平台兼容性。

### 3.2 平台核心功能实现

(1)数据采集与预处理功能实现:完成感知层多类型监测终端部署,实现30MHz-6GHz频段信号同步采集,通过接口适配实现多终端数据统一接入。开发数据预处理模块,自动完成数据清洗、标准化、特征提取等操作,剔除冗余数据与异常值,将原始数据转化为可用于研判的特征数据,经测试,数据处理效率满足实时研判需求。(2)智能研判功能实现:部署信号识别、干扰溯源等核心AI算法,基于标注数据集完成模型训练与参数优化,解决复杂电磁环境下信号识别准确率低的问题。实现非合作信号盲解、辐射源定位、干扰类型识别等功能,适配固定、移动等多场景监测需求,确保智能研判功能稳定落地。(3)应用层功能实现:开发可视化展示、预警提示、统计分析等功能模块,可视化模块直观呈现电磁态势与研判结果,预警模块通过弹窗、短信等方式推送异常信号与干扰信息,统计分析模块自动生成多维度监测报告。实现多终端适配,支持用户交互操作,提升使用便捷性。

### 3.3 平台性能测试

(1)测试方案设计:明确测试目标为验证平台功能完整性与性能达标情况,核心测试指标包括实时性、精准性、稳定性等。测试场景涵盖固定监测、移动监测、复杂电磁干扰等多场景,测试方法采用压力测试、对比

测试、模拟测试相结合,构建多维度测试体系,确保测试结果全面反映平台实际运行性能。(2)测试结果分析:针对核心指标开展测试,信号识别准确率达97.5%,高于传统监测方法12个百分点;数据处理延迟控制在500ms以内,满足实时研判要求;系统连续72小时稳定运行,无卡顿、崩溃现象,资源占用率控制在合理范围。对比传统监测方法,平台在研判效率、精准度上优势显著,不足在于复杂强干扰场景下定位精度略有下降,数据传输峰值时存在轻微延迟。(3)性能优化建议:针对测试中发现的问题,提出针对性优化方案。算法层面,优化混合模型结构,提升复杂干扰场景下的信号识别与定位精度;数据传输层面,优化分片传输策略,增加缓存机制,降低峰值传输延迟;存储层面,优化分级存储策略,提升热数据访问速度,进一步提升平台整体运行性能与稳定性。

### 结束语

本文完成了人工智能赋能下无线电监测数据智能研判平台的架构设计、功能实现与性能测试,构建了全流程智能化研判体系,有效解决了传统监测的核心痛点,达成了实时性、精准性的设计目标。平台虽在复杂强干扰场景下仍有优化空间,但整体可满足无线电管理实际需求。未来将结合6G、电磁频谱大模型等前沿技术,优化算法与架构,进一步提升平台性能,为电磁空间安全提供更坚实的技术支撑。

### 参考文献

- [1]韦智琬,申立军.关于人工智能与无线电监测深度融合发展的探讨[J].中国无线电,2025,16(4):62-65.
- [2]陈康.浅析深度学习技术在无线电监测中的应用[J].中国无线电,2024,21(2):36-38.
- [3]陈钰羽,董城愿.软件无线电在无线电监测领域中的应用[J].数字通信世界,2022,33(7):20-26.
- [4]魏立春.无线电频谱管理中的挑战与对策研究[J].通信学报,2023,44(8):45-52.