

基于AI的无线电广播发射信号异常检测与安全防护研究

姜成龙

内蒙古自治区广播电视传输发射中心额尔古纳712台 内蒙古 呼伦贝尔 022250

摘要: 无线电广播发射信号的稳定传输至关重要,本文围绕基于AI的无线电广播发射信号异常检测与安全防护展开研究。阐述信号基础理论,分析AI技术在信号检测与防护中的应用基础,构建AI异常检测模型,介绍信号数据采集、预处理、特征提取与类型识别方法,设计AI安全防护技术架构,提出异常信号拦截隔离、发射系统实时防护及协同方法,为保障信号安全传输提供技术支持。

关键词: 无线电广播; 发射信号; AI技术; 异常检测; 安全防护

引言: 无线电广播作为信息传播的关键媒介,在社会发展中发挥着不可替代的作用。其发射信号的稳定传输是保障广播服务质量的基石,然而发射系统内部故障与外部环境干扰易引发信号异常,影响正常信息传播。传统检测与防护方法存在局限性,难以应对复杂多变的信号传输环境。AI技术凭借强大的数据处理与模式识别能力,为解决这一问题提供了新途径,开展基于AI的无线电广播发射信号异常检测与安全防护研究具有重要的现实意义。

1 无线电广播发射信号相关基础理论

1.1 无线电广播发射信号的基本构成

无线电广播发射信号是实现声音信息远距离传输的核心载体,其构成遵循高频载波与低频调制信号相结合的基本逻辑^[1]。高频载波由发射机振荡器产生,具备固定频率与稳定振幅,承担着携带信息并实现远距离辐射的功能,是信号传输的基础载体。低频调制信号源于声音信息的电信号转换,通过声电转换设备将声波转化为音频电信号,再经放大处理后,与高频载波进行调制融合。调制过程通过改变载波的振幅、频率等参数,使音频电信号的信息特征嵌入载波之中,形成完整的广播发射信号。在实际应用中,高频载波的频率范围通常在300kHz - 300GHz之间。

1.2 无线电广播发射信号的传输规律

无线电广播发射信号以电磁波形式在空间中传播,传播规律与信号频率、传播介质及空间环境密切相关。不同频率的广播信号呈现不同传播特性,中长波信号主要沿地面表面进行地波传播,依赖地面介质的电导性实现近距离覆盖,传播过程中能量随距离增加逐渐衰减,受地形影响相对较小。短波信号借助高层大气中的电离层反射实现远距离传播,电离层的电子浓度随昼夜、季节及太阳活动变化,导致短波信号覆盖范围呈现明显的

时间差异性。超短波信号以空间波传播为主,遵循直线传播规律,覆盖范围受天线高度限制,易被高层建筑、山脉等障碍物遮挡。信号传播过程中普遍存在自由空间损耗,能量衰减程度与传播距离的平方呈正相关,同时受气象条件影响,雨雾等天气会加剧信号衰减。

1.3 无线电广播发射信号异常的产生机理

无线电广播发射信号异常的产生源于发射系统内部故障与外部环境干扰两大维度。发射系统内部,振荡器、放大器等核心器件的老化或参数漂移,会导致载波频率不稳定、幅度波动,进而引发信号调制异常,出现过调制、欠调制或载波泄漏等问题。调制器工作点偏移、平衡失衡,会使信号频谱出现杂散分量,破坏信号的正常构成。外部环境中,电离层扰动会导致短波信号传播路径偏移,引发信号衰落甚至中断;工业设备、其他无线电发射装置产生的电磁干扰,会叠加在广播信号之上,导致信号失真。此外,发射天线参数异常、馈线损耗过大,以及气象因素引发的信号传播衰减异常,都会破坏信号的正常传输状态,形成各类信号异常现象。

2 AI技术在信号检测与安全防护中的应用基础

2.1 适用于信号异常检测的AI核心技术类型

适用于无线电广播发射信号异常检测的AI核心技术均围绕信号特征提取与异常识别展开,形成多技术协同适配的体系^[2]。深度学习技术中的卷积神经网络可高效挖掘信号频谱图中的深层特征,适配无线电信号的时频域分析需求,支持复杂环境下微弱异常特征的捕捉。循环神经网络及其衍生的长短期记忆模型具备时序数据处理优势,可精准捕捉无线电广播信号的动态变化规律,适配信号传输过程中的时序异常识别。支持向量机在小样本场景下具备良好的分类性能,可实现信号正常与异常模式的精准区分,弥补深度学习技术对样本量的依赖缺陷。自编码器通过无监督学习模式模拟正常射频信号行

为,能够有效标记未授权传输或信号干扰等异常情况,为未知异常信号检测提供技术支撑。

2.2 AI技术在信号处理中的适配原理

AI技术在无线电广播信号处理中的适配核心的是实现非线性映射与物理规则的深度融合,突破传统线性处理范式的局限。无线电广播信号传输过程中存在的硬件非理想、信道稀疏性、散射非高斯性等复杂因素,均可通过AI技术的非线性表达能力纳入统一处理模型。AI技术可通过端到端学习构建信号输入与处理输出的映射关系,无需手动建模即可适配信号传输中的非线性失真、相位偏移等问题,降低传统信号处理中手工建模的成本与误差。同时, AI技术可结合信号传输的物理特性,将快速傅里叶变换、匹配滤波等传统信号处理算子作为固定层融入模型架构,既保留信号处理的物理含义,又通过数据驱动优化模型参数,实现信号处理精度与效率的双重提升,适配无线电广播信号的复杂处理需求。

2.3 AI技术应用于无线电广播领域的技术前提

AI技术在无线电广播领域的有效应用需依托多方面技术前提,保障技术适配性与工程可行性。信号数据的标准化采集与预处理是基础前提,需通过软件定义无线电等灵活采集设备,获取涵盖不同异常类型、不同传输场景的无线电广播信号数据,经去噪、归一化等预处理流程,形成符合AI模型训练需求的标准化数据集。硬件算力的支撑的必要条件,需结合AI模型的运算需求,实现中央处理器、图形处理器与现场可编程门阵列的协同调度,通过网络蒸馏、结构剪枝等技术优化模型复杂度,满足信号检测与防护的实时性要求。此外,需建立AI模型与无线电广播发射系统的技术适配机制,实现AI处理模块与发射系统的无缝衔接,兼顾模型的泛化能力与系统的运行稳定性,为AI技术在信号检测与安全防护中的落地应用提供保障。

3 基于AI的无线电广播发射信号异常检测技术

3.1 信号异常检测的AI模型构建思路

信号异常检测的AI模型构建围绕广播信号特性与检测需求展开,核心是实现模型性能与实际应用场景的精准适配。模型构建需立足无线电广播信号的时序性、频谱特性,结合AI算法的技术优势,形成从数据输入到异常输出的完整逻辑链路^[1]。构建过程需先明确检测目标与性能指标,结合信号异常的表现形式,选择适配的AI算法架构,兼顾检测精度与实时响应速度。模型构建需遵循层级化设计逻辑,先完成基础网络框架搭建,再通过数据训练优化参数,逐步提升模型对微弱异常信号的识别能力,同时规避过拟合问题,确保模型在复杂传输环

境下的稳定运行,契合无线电广播信号检测的实际技术需求。

3.2 信号数据的采集与预处理方法

信号数据的采集与预处理是AI异常检测的基础,直接决定模型检测效果。数据采集通过专用无线电信号接收设备开展,覆盖不同时段、不同传输环境下的广播信号,确保采集数据的全面性与代表性,采集过程需严格控制采样频率,匹配广播信号的频率范围,避免数据失真。预处理环节围绕数据净化与标准化展开,先通过滤波技术去除工业干扰、环境噪声等冗余信息,还原信号原始特征。再通过数据归一化、归一化处理,消除不同采集场景下的信号幅值差异,将信号转化为AI模型可识别的数字格式。最后通过数据筛选剔除无效数据,完成数据的规整与优化,为后续特征提取与模型训练提供高质量输入。

3.3 信号异常特征的AI提取方法

信号异常特征的AI提取依托算法的特征挖掘能力,实现正常与异常信号的特征区分。提取过程结合广播信号的时域、频域特征,通过AI算法完成特征的层级化提取。深度学习算法可通过卷积操作捕捉信号的频域特征,挖掘信号频谱中的异常分量,同时通过时序建模捕捉信号幅度、频率的动态变化特征,实现深层异常特征的精准提取。机器学习算法通过对标注数据的学习,捕捉信号特征与异常状态的关联,筛选出具有强区分度的核心特征,剔除冗余特征,提升特征提取的效率与准确性。提取方法需适配广播信号的传输规律,确保提取的异常特征具有稳定性与唯一性,为后续异常识别提供可靠支撑。

3.4 信号异常类型的AI识别方法

信号异常类型的AI识别核心是建立特征与异常类型的对应关系,实现不同异常类型的精准研判。识别方法基于训练后的AI模型,将提取的异常特征输入模型,通过模型的分类与推理功能,完成异常类型的判断。有监督学习算法通过对标注异常数据的训练,建立不同异常类型的特征模板,实现已知异常类型的快速识别。无监督学习算法可通过聚类分析,自主识别未标注的异常类型,拓展识别范围。识别过程需优化算法的决策逻辑,减少误判、漏判现象,结合广播信号异常的产生机理,提升识别结果的合理性,确保能够精准区分调制异常、频率偏移、信号衰落等不同异常类型,满足无线电广播发射信号异常检测的实际需求。

4 基于AI的无线电广播发射信号安全防护技术

4.1 信号安全防护的AI技术架构

信号安全防护的AI技术架构围绕广播发射系统的安全需求构建,核心是实现防护功能的层级化、智能化部署。架构设计立足无线电广播信号的传输规律与异常特点,整合AI检测、决策、执行等核心模块,形成从异常感知到防护响应的闭环链路^[4]。架构分为感知层、决策层与执行层,感知层负责采集发射系统运行参数与信号状态数据,为防护决策提供基础输入;决策层通过AI算法对数据进行分析研判,判断异常等级与影响范围,生成针对性防护指令;执行层根据指令完成防护操作,实现异常信号的快速处置。架构设计需兼顾兼容性与扩展性,适配现有发射系统的硬件架构,同时预留接口支持后续技术升级,保障防护系统的长期稳定运行。

4.2 异常信号的AI拦截与隔离技术

异常信号的AI拦截与隔离技术核心是通过AI算法精准识别异常信号,快速阻断其传播路径并实现有效隔离。拦截技术依托前期异常检测模型的识别结果,通过AI自适应滤波算法对异常信号进行精准过滤,抑制异常信号对正常广播信号的干扰。隔离技术通过AI控制逻辑,触发发射系统的隔离模块,将异常信号所在的传输链路路与正常链路路分离,防止异常扩散至整个发射系统。拦截与隔离过程需优化AI算法的响应速度,确保在异常信号产生初期完成处置,同时避免对正常广播信号的传输造成影响,平衡防护效果与广播服务质量。

4.3 发射系统的AI实时防护机制

发射系统的AI实时防护机制以动态监测与主动防御为核心,实现对发射系统全流程的安全守护。该机制通过AI算法对发射系统的振荡器、放大器、天线等核心部件运行参数进行实时监测,捕捉参数波动与异常隐患,提前发出预警并启动防御措施。防护机制具备自适应调整能力,可根据信号传输环境与系统运行状态,动态优化防护参数,适配不同场景下的防护需求。通过AI算法对系统运行数据的持续分析,挖掘潜在安全隐患,实现

从被动防护向主动防御的转变,降低异常信号对发射系统造成的损坏风险。

4.4 防护系统与发射系统的AI协同方法

防护系统与发射系统的AI协同方法核心是实现两大系统的数据互通与动作联动,提升整体安全防护效能。协同方法通过AI数据融合算法,整合防护系统的异常检测数据与发射系统的运行数据,实现信息共享与协同研判。借助AI决策算法,根据系统运行状态与异常情况,协调防护系统与发射系统的动作,确保防护操作与发射系统运行节奏相适配,避免防护操作影响发射系统正常工作。协同过程中需优化数据传输效率,确保AI决策指令快速传递与执行,形成防护与发射的协同闭环,提升整个广播发射系统的安全稳定性。

结束语

基于AI的无线电广播发射信号异常检测与安全防护研究,通过构建AI模型、设计技术架构与方法,实现了对信号异常的有效检测与及时防护。AI技术的融入提升了信号检测的精度与实时性,增强了发射系统的安全防护能力,保障了广播信号的稳定传输。后续需持续优化AI算法,提升其适应复杂场景的能力,推动该技术在无线电广播领域的广泛应用,为广播事业的发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]钱进松.基于数字挖掘无线电广播异常信号识别方法[J].长江信息通信,2023,36(3):232-235.
- [2]刘超.基于深度学习的电视台异常无线电信号监测方法[J].现代传输,2024(5):47-50.
- [3]叶森龙.基于SDR技术的中波广播信号监测系统优化设计[J].电声技术,2025,49(8):14-17.
- [4]李岳松.无线广播电视发射台信号检测系统设计与实现[J].电声技术,2024,48(9):174-176.