

基于应用数据融合分析的无线电监管系统的开发与应用

尚建强¹ 李洪坤¹ 常荷花¹ 纪曙光¹
SHANG Jianqiang LI Hongkun CHANG Hehua JI Shuguang

摘要

近年来,随着各行业数字化、智能化平台和应用快速涌现,推动相关无线电设备爆发式增长,然而此类无线电设备多使用 ISM 频段,普遍采用宽带数字调制,发射功率小,基层无线电管理部门难以实施有效监管。基于此,文章首先对智慧城市建设中普遍应用的无线电技术和设备进行了梳理与阐述。在此基础上,提出了一种通过分析应用数据以辅助发现并“粗定位”无线电干扰的方法,通过此方案丰富了无线电监管的技术手段,提高了无线电监管工作效率;另外,该系统可视化的应用数据展示界面能让设台用频单位和公众用户更易于理解和接受,显著提升了交流沟通效率,将进一步促进与其他行业监管部门的交流协同。

关键词

数据分析;无线电监管;粗定位;系统开发应用

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2025.08.028

0 引言

随着社会数字化转型的快速推进,各种数字化、智能化平台和应用快速涌现,成为推动经济社会高质量发展的重要驱动力,并带动相关无线电设备持续爆发式增长。然而,此类无线电设备多使用 ISM 频段,普遍采用宽带数字调制方式,发射功率小,部分设备间断、移动发射,无规律可循,现有的监测设施和监管方式难以实现有效监测^[1]。2023 年 12 月 11 日至 12 日举行的中央经济工作会议上,提出要大力推进新型工业化,发展数字经济,加快推动人工智能发展,打造生物制造、商业航天、低空经济等若干战略性新兴产业。这一系列举措旨在通过科技创新推动产业创新,以颠覆性技术和前沿技术催生新产业、新模式、新动能,发展新质生产力,为经济稳增长注入新动能,重塑新优势。以上都对基层无线电管理部门加强此类应用的无线电秩序监管,以更好地服务推动新型工业化工作,提出了新任务、新课题。

1 智慧城市中的无线电应用

1.1 新兴的数字化、智能化应用及其无线电设备

随着无线智能传感器技术的不断提升和成本的降低^[2],以及无线传感网络构建灵活自主、数据安全性高、无流量资费等诸多优势^[3],各类数字化、智能化平台或系统大量使用无线电传感器作为获取数据的基础设备^[4]。从应用领域看,遍及智慧农业、工业互联网以及环保、应急、交通、能源等各类智慧城市应用。就设备功能而言,主要有环境监测,如温湿度、光照、土壤等传感器;远程仪表,如水电气暖等公

共事业部门大量使用的压力表、流量计、液位仪等;设备监控,如智慧井盖、植保磁控阀等的远程控制设备;视频监控,如各类监控摄像头、巡检无人机等。此外,卫星定位(GNSS)终端虽不是典型的无线电发射设备,但却是智慧城市建设中使用数量最多、最广泛的设备之一,不仅大量应用于定位车辆等移动物体,而且被大量应用于固定设施,通常配合 GIS 使用,此类设备也是受干扰数量最多的设备^[5]。无线电设备在智慧城市中的应用情况如图 1 所示。

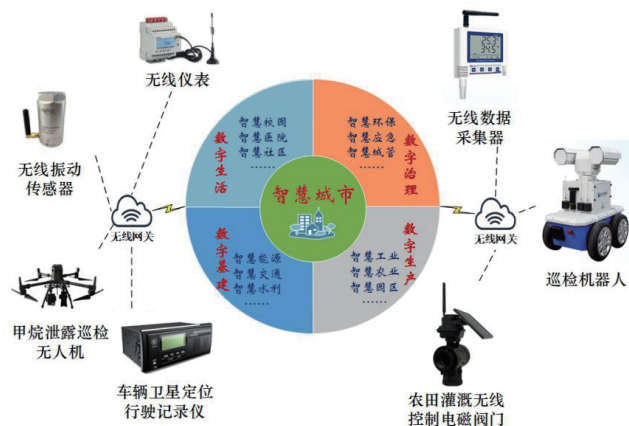


图 1 无线电设备在智慧城市中的应用示意图

1.2 涉及的主要无线电通信技术和频段

当前,智慧城市平台或系统中使用的无线电设备常涉及三类无线电业务:一是用于设备数据传输、设备远程控制的 Zigbee^[6]、Lora、BLE(低功耗蓝牙)、Wi-Fi 等,系统通常包括收发终端和无线网关,使用的无线电频率集中在 ISM 频段,如果将范围拓展到智慧家居等生活领域,相关无线电技术种类更多,例如华为 Hilink 协议、Thread、

1. 东营市工业和信息化局 山东东营 257000

[基金项目] 东营市自然科学基金项目资助(2024ZR04)

Z-Wave、NFC、UWB 等；二是通信运营商物联网业务，主要是 NB-IoT 等物联网业务^[7]，使用无线电频段主要集中在 800、900、1 800、2 100 MHz 等 IMT（国际移动通信系统）规划频段；三是卫星定位，大部分使用 GPS 终端、北斗卫星导航终端或者兼容两种系统，其中 GPS 的民用频段分别是 L1（1 575.420 MHz）、L2（1 227.60 MHz）、L5（1 176.450 MHz），北斗卫星导航系统主要是北斗三号公开服务频段（中心频率），分别是 B1I（1 561.098 MHz）、B1C（1 575.420 MHz）、B2a（1 176.450 MHz）、B3I（1 268.520 MHz）、B2b（1 207.140 MHz），具体如表 1 所示。

表 1 智慧城市应用中常见的无线电技术与频率表

业务类型	无线电技术或系统	涉及无线电频段（中心频率）
数据传输 设备控制	Zigbee、Lora	433 MHz、470~510 MHz
	BLE、Wi-Fi	915 MHz、2.4 GHz、5.1 GHz、5.8 GHz 等频段
物联网 （运营商）	NB-IoT	800 MHz、900 MHz、1 800 MHz、2 100 MHz 等 IMT 规划频段
卫星定位	GPS 北斗三号	1 575.420 MHz、1 561.098 MHz
		1 227.60 MHz、1 176.450 MHz
		1 268.520 MHz、1 207.140 MHz

2 系统设计开发与应用尝试

ISM 频段无线电设备和卫星导航终端设备在工业互联网等平台或系统中被大量使用，相关无线电干扰投诉已成为基层无线电管理遇到的重要无线电干扰类型，此类干扰往往直接影响企业和群众的生产生活。为实现加强管理和方便用户双重目标，目前比较普遍的监管措施主要有部署密度较高的传感器型无线电监测网络^[8]，或者加大对特定区域的移动监测值守密度和时长等^[9]，然而上述方法都需要较高的经费和较多人力保障，对于机构改革后的基层无线电管理机构而言困难较大，也难以实现对如此点多面广的无线电设备的有效监管。

鉴于此，本文打破主要依靠频谱监测的传统监管思维，借助其他部门可共享的无线电应用数据甚至功能，通过对相关无线电设备的通联数据进行分析处理，进而了解该频段的电磁频谱使用情况，辅助主动发现并初步“粗定位”潜在的无线电干扰，以期在提高无线干扰处置效率的同时，能够显著降低监测值守工作量。

2.1 应用数据的来源与筛选

为实现既定目标，不仅需要有一定数量且可靠、稳定的应用数据作为基础支撑，而且数据应来源于无线电监管的重点区域或行业，且具有较高的可挖掘价值。基于上述原则，

本文依托大数据管理部门的数据共享机制，选取鲁北某临港化工产业园区的智慧园区管理平台作为系统开发的试验数据来源。

该临港化工产业园区位于中国渤海油田和胜利油田两大油田主产区，园内及周边水陆交通繁忙，设台单位集中，历来是无线电业务应用密集区域。近年来，在产业数字化转型和高标准应急管理要求双重推动下，各类智慧园区系统和应用快速上线，大量使用无线电数据采集设备和通信设备用于监控关键生产设备设施，部分应用甚至实现了设备全覆盖，如危化品运输车辆监管等。该智慧园区部分传感设备设置情况如图 2 所示。

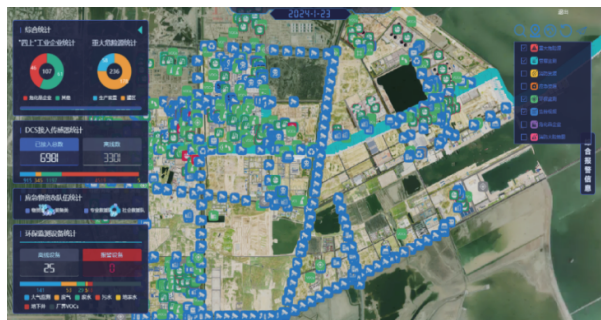


图 2 智慧园区应急管理类传感设备设置图

从图 2 中可见，接入该智慧园区平台的应急管理类固定联网设备多达 7 230 个，主要有 6 981 个用于关键生产设施安全风险监控的温度、液位等传感器，249 个用于环保监测的大气、污水等监测设备，平均密度超过 186.1 个/km²。此外，还有通过公众移动通信网络接入智慧园区系统的数千台危化品运输车辆安装的卫星定位设备，以及其他企事业单位暂未接入智慧园区系统的无线计量表、巡检无人机、机器人等使用无线电的设备。上述设备通常采用有线、无线或者有线无线兼容的通信模式，其应用数据导入系统时应注意排除使用有线通信方式的设备。

2.2 系统设计与开发

该系统以导入、分析、处理行业应用中的无线电设备的通联数据为基础，按照无线电管理与交通、海事、园区等部门工作协同的思路设计了数据流程和交互功能。具体如图 3 所示。

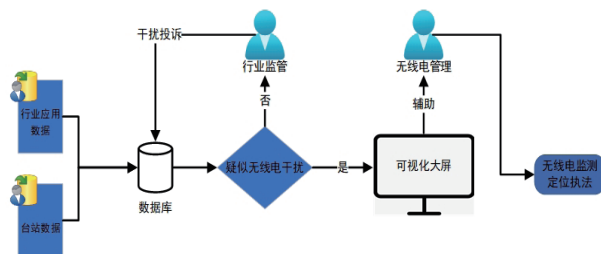


图 3 系统数据及交互流程设计简图

首先，通过将设定时段或者用户投诉干扰时段的无线电相关应用数据导入系统，经过筛选处理，将数据展示到系统

可视化大屏。以系统目前测试的卫星导航信号监管功能为例，通过将特定时段的危化品运输车辆卫星定位数据、园区经营实体数据，以及现有无线电监管系统中的 AIS、ADS-B、无线电台站等数据融合展示在系统可视化大屏上，同时将系统算法初步判定的异常数据用不同颜色区别显示，最终在地图上告警显示存在疑似无线电干扰的区域，其中判定算法会将集中持续出现异常数据的区域判定为疑似存在干扰区域。无线电监管部门可依据系统展示情况与其他部门或设台单位进行沟通，甚至协同开展重点监测、定位与执法工作。

该系统开发采用 B/S 方式进行架构设计，并采用微服务架构进行开发。可细分为异常信号预警服务、无线电台站数据 GIS 融合展示服务、可视化服务、机场无线电态势动态感知服务和产业园区无线电频谱利用展示服务等模块，为保证系统的稳定性与流畅性，使用 Redis 进行系统缓存。系统整体上采用前后端分离的模式，前端主要采用 Vue2 和 Element UI 进行开发，后台主要使用基于 Java 的 Spring boot 框架进行开发，数据存储采用混合存储架构，即关系型数据存储使用 MySQL，频谱数据和行业应用数据使用 MongoDB，以提高系统性能。在安全方面的设计，严格遵守无线电管理应用安全体系架构规范等规则要求。系统大屏实时界面如图 4 所示。



图 4 系统可视化大屏实时显示截图

2.3 系统的实际应用尝试

系统可获取的卫星定位数据的数据量、稳定性、覆盖度等指标都较好，可直接开展真实场景下的应用测试。智慧园区内危化品运输车辆卫星定位情况如图 5 所示。



图 5 智慧园区危化品运输车辆卫星定位数据展示图

从图 5 中可见，园区内实时定位车辆 2 467 台，该园区占地 38.85 km²，平均密度超过 63 台 / km²，而且危化品运输车辆主要集中在主干道、港区、危化品仓储区等 GNSS 干扰

多发区域，可为掌握港口、园区等重点区域的 GNSS 信号干扰情况提供充足稳定的应用数据支撑。将范围扩大到全市域范围，实时定位车辆数量将超过 16 500 台 / 日，同时结合无线电监管系统中既有的船舶 AIS 数据和飞机 ADS-B 等数据，为探索市域范围 GNSS 无线电干扰“全时空”协同监管，提供更加完整可靠的应用数据支撑。

系统在实时显示基础上，也可展示车辆、飞机、船舶的历史轨迹，判定并以不同颜色区别显示异常定位数据。目前，系统只对定位出现瞬间大范围偏移、数据丢失等异常状态的车辆、船舶用不同颜色显示其出现异常之前的位置，并将异常数据集中多发的区域认定为疑似出现干扰区域，即实现对无线电干扰的“粗定位”。系统数据的筛选显示如图 6 所示。



图 6 系统卫星定位数据筛选显示图

3 小结与展望

未来，将重点加强与数字化、智能化应用相关的无线电监管工作，作为无线电管理机构服务推动新型工业化工作的关键着力点，有利于提高无线电监管部门的影响力和号召力。通过基于应用数据融合分析的无线电监管系统的开发和测试，探索了通过分析应用数据以辅助发现并“粗定位”无线电干扰的方案，丰富了无线电监管的技术手段，提高了无线电监管工作效率；另外，该系统可视化的应用数据展示界面能让设台用频单位和公众用户更易于理解和接受，显著提升了交流沟通效率，也有利于促进与其他行业监管部门的交流协同。

该系统对大数据管理方法的探索运用，拓展了无线电监管的技术手段，通过深入挖掘行业无线电应用数据的潜在价值，对提升无线电监管能力具有重要意义。下一步该系统将从以下几个方面持续优化以提高实用价值：（1）变换数据源，通过接入拟建的市级工信大数据平台，实现数据的自动实时导入，同时扩展数据种类，例如通过接入监控视频数据远程排查移动干扰源；（2）进一步完善数据分析算法，借鉴其他行业成熟的数据挖掘应用和算法^[10]，提升对无线电干扰的自动告警效率；（3）不断积累和完善相关无线电设备使用数据，指导帮助设台用频单位提高频谱利用效率，降低建设与维护成本，加速实现数字化转型。

基于深度学习算法的视觉图像超分辨率自适应重建方法

史之的¹ 张 祎¹
SHI Zhidi ZHANG Yi

摘 要

视觉图像超分辨率重建在于从低分辨率图像中恢复高频细节信息,这一过程常受到噪声干扰、模糊效应和遮挡问题的影响。仅依赖超分辨率特征或边缘信息进行图像重建,难以全面捕捉图像中的复杂非局部相关性特征,导致重建图像的细节还原不足,结构相似性指数(SSIM)降低,整体清晰度受到影响。为此,文章提出一种基于深度学习算法的视觉图像超分辨率自适应重建方法。采用引导滤波方法对输入图像进行预处理,以削弱噪声干扰并保留图像的边缘和细节信息。通过尺度变换技术计算细节差异度,为后续重建提供精确的输入。利用深度学习卷积神经网络构建监督学习框架,提取低分辨率图像中的非局部相关性特征,并通过几何图元法和纹理可视化方法进一步优化特征提取过程,实现超分辨率特征检测。结合超分辨率特征、图像统计特性和边缘信息,通过正交匹配追踪算法对低分辨率特征进行稀疏编码,还原高分辨率图像块,并生成高质量的重建图像。实验结果表明,该方法重建的图像与实际图像之间的结构相似性指数高达0.98,有效提升了图像分辨率和重建质量。

关键词

深度学习算法;超分辨率;自适应重建;结构相似性;稀疏编码

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2025.08.029

0 引言

如今,人们常借助相机设备记录生活与工作中的重要信息,而图像质量主要通过分辨率来衡量。受硬件设备所限,图像往往会出现分辨率较低的问题,因此图像超分辨率重建

技术成为提升图像质量的主要手段。

为提高视觉图像分辨率,研究者们提出了多种方法。谭成兵等人^[1]利用卷积神经网络学习深度视觉特征并进行编码,实现图像超分辨率重建。卷积神经网络(CNN)虽然能够有效提取局部特征,但其感受野有限,难以捕捉图像中长距离的非局部相关性特征,导致重建图像可能无法充分还原细节

1. 郑州西亚斯学院计算机与软件工程学院 河南郑州 450000

参考文献:

- [1] 徐弘良. 基于深度学习的无线电智能识别系统设计[J]. 上海信息化, 2022(12): 45-48.
- [2] ANASTASI G, CONTI M, FRANCESCO M D, et al. Energy conservation in wireless sensor networks: a survey[J]. Ad hoc networks, 2009, 7(3): 537-568.
- [3] 江河, 李晓茹, 孙敏. 物联网下多无线传感网络中不同信道信息融合方法[J]. 传感技术学报, 2023, 36(6): 972-977.
- [4] 韩晓晨. 无线电传感器[J]. 品牌(下半月), 2014(11): 151.
- [5] LI X X, GE M R, DAI X L, et al. Accuracy and reliability of multi-GNSS real-time precise positioning: GPS, GLONASS, BeiDou, and Galileo[J]. Journal of geodesy, 2015, 89: 607-635.
- [6] 千承辉, 张希明, 徐丹琳, 等. 基于 ZigBee 无线传感网络的人员定位系统设计与实现[J]. 微型机与应用, 2016, 35(21): 72-74.

- [7] 赵小飞. 电信运营商物联网业务的变革[J]. 信息通信技术与政策, 2020(11): 7-13.
- [8] 陈军. 浅谈无线电监测在计算机网络安全中的应用[J]. 中国宽带, 2024, 20(2): 103-105.
- [9] KOLB C E, CANAGARATNA M R, NELSON D D, et al. Mobile laboratory with rapid response instruments for real-time measurements of urban and regional trace gas and particulate distributions and emission source characteristics[J]. Environmental science & technology, 2004, 38(21): 5694-5703.
- [10] 姚芳兵, 王伦文, 张铃. 数据挖掘理论在无线电监测中的应用[J]. 微机发展, 2003(6): 40-41.

【作者简介】

尚建强(1987—), 男, 山东东营人, 硕士研究生, 研究方向: 无线电频谱监测、软件开发。

(收稿日期: 2025-04-30 修回日期: 2025-07-28)