

基于RFID的 无源室分监控检测精度提升研究

Research on Improving Detection Accuracy of Passive Distributed Antenna System Monitoring Based on RFID

田彦豪,陈小奎,侯彦庄(中国铁塔股份有限公司郑州科技创新中心,河南 郑州 450000)

Tian Yanhao, Chen Xiaokui, Hou Yanzhuang (Zhengzhou Science and Innovation Center of China Tower Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China)

摘要:

无源室分是室内覆盖的主流方案,但无源室分无法被监控的特点带来了故障发现难等问题,基于RFID技术的监控技术是主要方案,但检测精度低导致应用效果不佳。对RFID的主流检测方案及影响检测精度的原因进行了剖析,并针对性地提出对应改进方案,理论分析和实际验证结果表明,改进方案可有效提升检测精度。

关键词:

室分监控; RFID; 检测精度

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2025.11.011

文章编号: 1007-3043(2025)11-0056-05

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

Passive distributed antenna system (DAS) is the mainstream solution for indoor coverage. However, the characteristic of passive indoor distribution systems being unmonitorable brings challenges in fault detection. Monitoring technology based on RFID is the primary solution, but poor detection accuracy leads to suboptimal performance. It analyzes mainstream detection methods using RFID and identifies factors affecting detection accuracy, and targeted improvement strategies are proposed. Theoretical analysis and practical verification results demonstrate that these enhancements can effectively improve detection accuracy.

Keywords:

DAS monitoring; RFID; Detection accuracy

引用格式: 田彦豪,陈小奎,侯彦庄. 基于RFID的无源室分监控检测精度提升研究[J]. 邮电设计技术, 2025(11): 56-60.

1 概述

统计数据表明,超过70%的数据业务发生在室内,高价值商务客户80%工作时间都位于室内,室内无线网络覆盖的重要性日益凸显。无源室分因其建设运营成本低、支持频率范围广和多运营商多系统共享的独特优势,成为室内覆盖的主流方案。但由于无源室分的无源器件和天线节点众多,分布网络复杂,自身又无法被监控,导致长期存在故障发现难、故障定位难、故障监管难和覆盖分析难等短板。

为有效解决无源室分的故障发现难等固有短板问题,业界主要有基于射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)和蓝牙的2种技术方案,但基于蓝牙的技术方案在部署成本、实施难度和维护便利性等方面较基于RFID的技术方案均有明显劣势,无源室分监控实际采用的大多是基于RFID的技术方案。

基于RFID技术的无源室分监控方案通过室分链路损耗检测的结果来判断设备状态和链路质量,所以室分链路损耗的检测精度对无源室分监控的效果有直接影响。从实际应用情况来看,基于RFID的无源室分监控方案检测精度等关键性能指标较差导致其应用效果不佳。本文对影响检测精度的因素进行系统

收稿日期: 2025-09-24

分析,提出针对性解决方案,并搭建环境对该方案的效果进行了验证。

2 主流检测方案及检测精度分析

2.1 检测原理

基于 RFID 的无源室分监控方案系统示意如图 1 所示,RFID 室分网关输出端口通过 RFID 合路器连接室分系统,并经耦合器连接室分天线,室分天线内部或者表面贴有 RFID 标签。

在室分链路损耗检测期间,RFID 室分网关发射

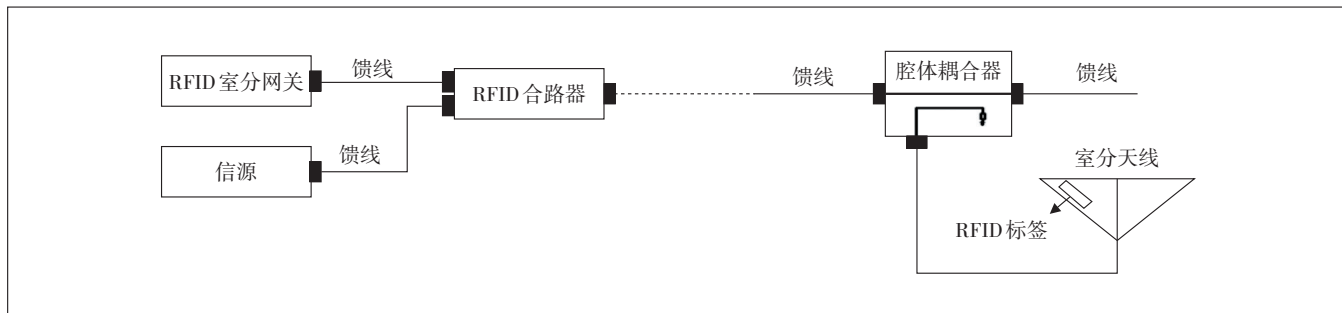


图 1 基于 RFID 的无源室分监控方案系统示意

RFID 扫频信号,天线内置 RFID 标签被激活后,会发射与被激活时的同频信号,经同样的路由,返回 RFID 室分网关,RFID 室分网关通过算法计算其链路损耗值。对于不同标签,RFID 室分网关可通过标签唯一的 EPC 编码(与天线点位绑定)来进行区分。

2.2 主流检测方案

基于 RFID 的无源室分监控中对链路损耗的检测方案主要有上行法和下行法。

上行法主要基于标签激活后反馈到达 RFID 室分网关的应答信号强度(RSSI)来进行链路损耗的计算。在采用上行法时,RFID 室分网关可采用恒定功率发射射频信号,不需要变功率。举例说明,在 RFID 室分网关发射 30 dBm 的信号,在 0 dB 链路损耗(RFID 室分网关与天线直连)情况下,如果标签被激活,RFID 室分网关收到标签的应答 RSSI 信号强度为-30 dBm。在工程现场,当 RFID 室分网关同样发射 30 dBm 的信号,如收到该标签应答的 RSSI 信号强度为-60 dBm,则链路损耗计算为 $-30 - (-60) = 30$ dB。

下行法是采用 RFID 室分网关轮询时改变发射功率幅度的方式来确定天线内置标签在现场的最小激活功率,进而计算出链路损耗。举例说明,天线内置标签的最小激活功率为-2 dBm,此值是在标签粘贴在天线之后,使用 RFID 室分网关测试得到的,也就是说,当 RFID 标签接收到的信号功率 ≥ -2 dBm 时会将标签激活,标签就会反馈激励的信号给 RFID 室分网关。RFID 室分网关在工作时会扫频和调整功率幅度发射,使用二分查找法等方式调整发射功率,直至找到一个

能够将 RFID 标签激活的现场最小激活功率数值。因 RFID 室分网关的发射功率调整步长为 1 dB,假如当 RFID 室分网关输出 20 dBm 能将标签激活,输出功率为 19 dBm 时无法激活,则视 20 dBm 为该标签的现场最小激活功率数值,此时 RFID 室分网关至此面天线的链路损耗 $L = 20 - (-2) = 22$ dB。

2.3 检测精度分析

上行法逻辑虽然较简单,但 RFID 标签应答的上行 RSSI 信号强度受环境等因素随机波动较大,且与链路损耗并不成严格的反比线性关系。在实际使用中虽然可以通过采用数据清洗及滤波算法等方式进行计算来减少测量误差,但受限于其技术路线,链路损耗精度仍差于下行法。

下行法链路损耗的计算公式为:链路损耗=RFID 标签现场激活 RFID 室分网关最小功率-RFID 标签最小激活功率值,其精度主要受限于 RFID 室分网关发射功率和 RFID 标签最小激活功率的精度。而业界 RFID 室分网关发射功率可实现的调整步长为 1 dB; RFID 标签最小激活功率一般采用同一类型天线取典型频点最小激活功率统计平均值方式,不能够真实反映各天线自身的真实最小激活功率值,引入了个体误差,直接影响设备状态和链路质量的判断结果。

基于以上原因,现有检测算法均因实现方式有其固有缺陷,检测精度仅为 ± 3 dB 左右。

3 检测精度的解决方案研究

通过上行法和下行法的链路损耗计算方式可以

看出,下行法虽然较上行法有一定的技术路线优势,但受RFID室分网关发射功率和RFID标签最小激活功率2种因素精度的影响,下行法的检测精度也不够理想。下面从提升RFID室分网关发射功率精度和RFID标签最小激活功率精度2个维度来研究改进系统检测精度的方案。

3.1 提升RFID室分网关发射功率精度

一般可通过增加数控步进衰减器(Digital Step Attenuator, DSA)的方式提升RFID室分网关发射功率的精度。RFID室分网关的射频发射链路的原理示意如图2所示,其中MCU(Microcontroller Unit)为射频板单片机,UHF RFID Reader为RFID读卡器芯片,SAW(Surface Acoustic Wave)为发射通路滤波器,PA(Power Amplifier)为功放,RF_PORT为RFID室分网关输出端口。

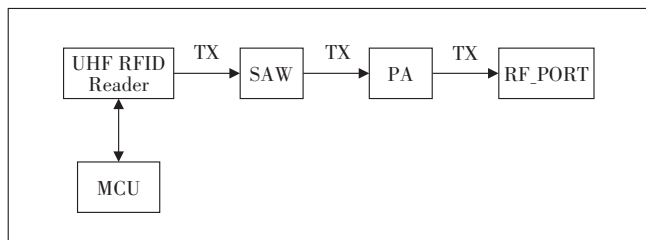


图2 RFID室分网关的射频发射链路原理示意

MCU通过控制RFID读卡器芯片来调整(降低或提升)自身的发射输出功率,从而达到调整RF_PORT端口输出功率值的目的。在RFID室分网关生产阶段,会对RFID室分网关进行输出功率值的采集,该工序操作是将MCU控制读卡器芯片的输出功率值,与端口实际输出功率值进行同步采集,形成如表1所示的对应表。

表1 RFID读卡器芯片输出功率和RF_PORT输出功率对应表

序号	RFID读卡器芯片输出功率/dBm	RF_PORT输出功率/dBm
1	18	33
2	17	32
3	16	31
...
30	-11	4

由表1可以看出,参与链路损耗计算的RFID室分网关最小发射功率数值精度受限于RFID读卡器芯片输出功率调整步长,目前RFID读卡器芯片的功率调整步长为1 dB,所以RFID室分网关功率的最小调整

步长为1 dB。因此,在极限情况下,因功率调整步长而引入的链路损耗测量误差就接近1 dB。

引入DSA来提升RFID室分网关功率的最小调整步长精度是可行的方案之一,具体实现方式如下:将RFID室分网关的射频发射链路方案进行如下优化,在SAW和PA间增加DSA,DSA受MCU的控制,MCU可控制RFID读卡器芯片以某一恒定功率输出(如18 dBm),通过MCU控制DSA来调整PA的输入功率,从而调整RF_PORT端口的功率,具体实现方案如图3所示。

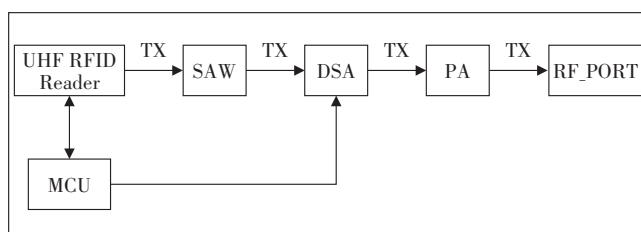


图3 改进的RFID室分网关的射频发射链路原理示意

因DSA的调整步长优于1 dB,通过DSA的调整可减少因功率调整步长较大而引入的链路损耗测量误差。以0.5 dB步长的DSA为例,RFID读卡器芯片输出功率、DSA衰减值和RF_PORT输出功率的对应关系如表2所示。

表2 改进的RFID读卡器芯片输出功率、DSA衰减值和RF_PORT输出功率对应表

序号	RFID读卡器芯片输出功率/dBm	DSA衰减值/dB	RF_PORT输出功率/dBm
1	18	0.0	33.0
2	18	0.5	32.5
3	18	1.0	32.0
4	18	1.5	31.5
5	18	2.0	31.0
...
...	18	29.0	4.0

从表2可以看出,功率调整步长由原来1 dB的精度提升至0.5 dB,举例说明,假设RFID室分网关的功率调整步长为1 dB,工程现场实际链路损耗为20.2 dB,天线入口标签的最小激活功率为-2 dBm,则理论上网关在现场最小发射功率为18.2 dBm时,即可将标签激活。但受限于功率调整步长,在网关发射功率为18 dBm时,标签未被激活,则发射功率为19 dBm时将标签激活,网关视标签现场的最小激活功率为19

dBm,则此时的现场最小激活功率误差为 $19-18.2=0.8$ dBm。如网关的功率调整步长为0.5 dB,则网关最小发射功率为18.5 dBm就可将标签激活,此时的现场最小激活功率误差为 $18.5-18.2=0.3$ dBm。

综上所述,通过增加DSA的方式可有效提升RFID室分网关发射功率的精度,可根据需求采用更高性能的DSA,实现功率调整步长精度提升至0.1 dB。而DSA的物料成本不大,在整个网关成本占比较低,综合比较其优势和成本,此方案是值得采纳的。

3.2 提升RFID标签最小激活功率的精度

一般通过读取EPC USER区的RFID标签最小激活功率替代同一类型RFID标签典型频点最小激活功率平均值的方式,来提升RFID标签最小激活功率的精度。

RFID标签最小激活功率一般采用的是同一类型天线取典型频点最小激活功率平均值方式。即同一类型天线,在生产阶段对RFID标签的最小激活功率

值进行一定统计,RFID室分网关采用统计的平均值用于轮询时的链路损耗计算。此方式虽然简单,但实际未针对各天线进行测试取值,从而引入了个体偏差。

RFID标签芯片通常有以下分区:EPC(Electronic product code)区、TID(Tag identifier)区、USER区和密码区等,其中USER区为可读可写的存储区域,允许用户存储自定义数据。

如图4所示,在天线生产时,针对各成品天线进行RFID标签最小激活功率的测试,并将测试的各天线的最小激活功率数值写入RFID标签USER区,RFID室分网关轮询进行链路损耗计算时,首先通过RFID室分网关向RFID标签发送Read指令,RFID标签收到有效Read命令后,返回RFID标签USER区的RFID标签最小激活功率值,然后RFID室分网关根据读取到的USER区的RFID标签最小激活功率计算链路损耗,消除了因天线个体不同RFID标签最小激活功率差异带来的误差。

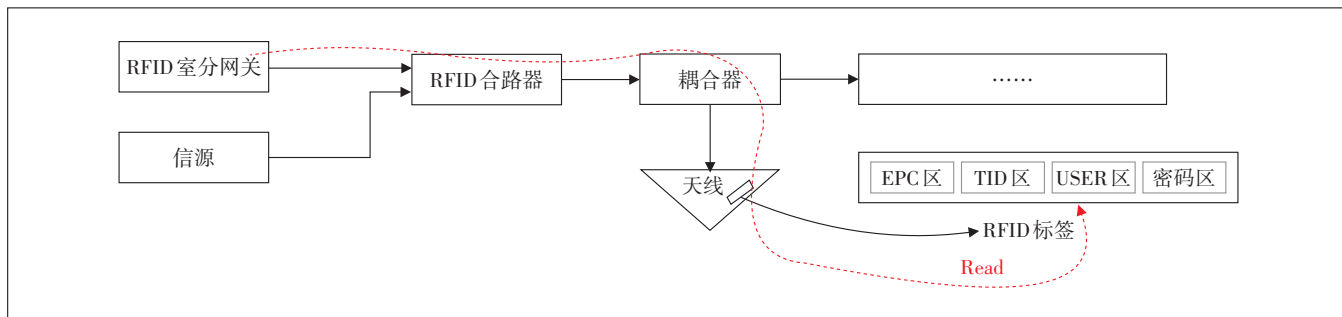


图4 改进的RFID标签最小激活功率获取示意

4 效果验证

搭建测试系统对改进系统进行效果验证,其中RFID室分网关选取增加0.5 dB步长DSA的RFID室分网关,RFID标签选取将最小激活功率数值写入USER区的RFID标签。测试组网如图5所示,使用网络分析仪测试RFID室分网关输出端口至天线入口总的链路损耗,通过调节可调衰减器的衰减度,使得衰减器+链路损耗值为 $10\text{ dB}\pm 1\text{ dB}$ 。

a) 使用网络分析仪测试RFID室分网关输出端口OUT1至ANT1实际链路损耗,记录为 L_1 ,依次测试OUT1至ANT2、OUT2至ANT3和OUT2至ANT4的链路损耗,分别记录为 $L_2\sim L_4$ 。

b) 在PC侧,分别读取ANT1~ANT4的链路损耗值,记录为 $L_5\sim L_8$; $|L_1-L_5|$ 即为ANT1的链路损耗检测精

度,同理计算ANT2~ANT4链路损耗精度,记录4面天线链路损耗的检测精度。

c) 调节可调衰减器的衰减度,使得衰减器+链路损耗值分别为 $15\text{ dB}\pm 1\text{ dB}$ 、 $20\text{ dB}\pm 1\text{ dB}$ 、 $25\text{ dB}\pm 1\text{ dB}$ 、 $30\text{ dB}\pm 1\text{ dB}$ 、 $35\text{ dB}\pm 1\text{ dB}$,重复步骤a)~b),记录各天线链路损耗值,并计算链路损耗精度。

测试结果如表3所示,测试精度均在1 dB以内,达到预期目标。

5 结束语

针对基于RFID技术的无源室分监控检测精度差的问题,本文从RFID室分网关内部的机制和RFID标签的算法提出了改进方案,并搭建测试系统进行了效果验证。结果显示,该方案可有效提升检测精度,供无源室分部署基于RFID技术的监控系统参考。

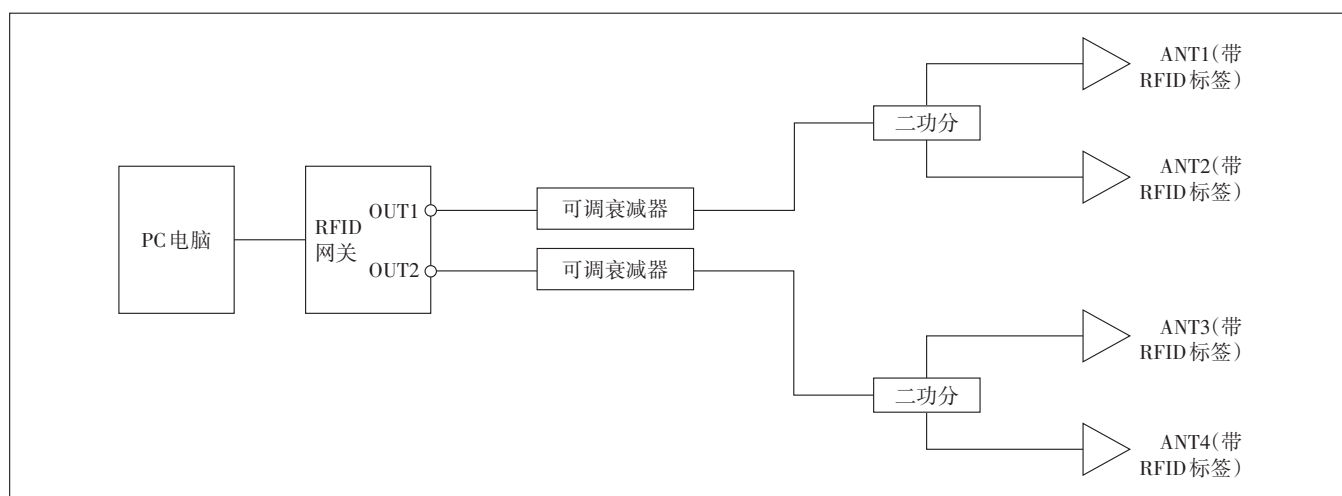


图5 链路损耗检测精度测试示意

表3 链路损耗精度验证测试结果(单位: dB)

网络分析仪实测值				网管测试值				链路损耗精度			
OUT1- ANT1	OUT1- ANT2	OUT2- ANT3	OUT2- ANT4	OUT1- ANT1	OUT1- ANT2	OUT2- ANT3	OUT2- ANT4	IOUT1- ANT1	IOUT1- ANT2	IOUT2- ANT3	IOUT2- ANT4
10.2	10.2	10.2	10.2	9.3	9.4	9.6	9.6	0.9	0.8	0.6	0.7
15.5	15.5	15.5	15.5	15.3	15.3	15.7	15.5	0.2	0.2	0.2	0.0
19.8	19.8	19.8	19.8	20.1	19.4	19.6	20.0	0.3	0.4	0.2	0.2
24.9	24.9	24.9	24.9	24.9	24.4	24.9	24.3	0.1	0.5	0.0	0.6
30.3	30.3	30.3	30.3	30.0	29.4	29.6	30.2	0.3	0.9	0.7	0.1
34.9	34.9	34.9	34.9	34.4	34.1	34.4	34.4	0.5	0.8	0.5	0.5

参考文献:

- [1] 汪祝东,梁钟伟.一种基于智慧室分的可监控型RFID无源信号分合路装置:CN202220433032.0[P]. 2022-03-01.
- [2] 张欣旺,曹景阳,徐飞,等.智慧室分系统研究及应用[J].移动通信,2018,42(9):46-51.
- [3] 黄炎水.一种关于RFID技术在室分监控中的应用[J].中国新通信,2019,21(9):116-117.
- [4] 田彦豪,陈小奎,毕猛,等.一种基于RFID技术的网关和无源室分系统:CN202223405616.6[P]. 2022-12-13.
- [5] 高艳丽,谢绍富,孟凡良,等.室内无源分布系统监控方案研究[J].山东通信技术,2021,41(1):6-8.
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.信息技术 射频识别 800/900MHz空中接口协议:GB/T 29768-2013[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [7] 王军.RFID技术在移动通信室内分布天线系统监控中的应用[J].现代电信科技,2013(6):59-63.
- [8] 石玉伟,邵莹.基于RFID技术的新型室分天线监控系统应用研究[J].中国新通信,2019,21(24):106-108.
- [9] 于建.基于RFID技术的智慧室分解决方案[J].移动信息,2022(12):76-78.
- [10] 李俊胜.室内通信线缆智能分布系统设计[D].天津:天津理工大学,2017.
- [11] 曾声华.实现“智慧网优”的可行性方案[J].电子世界,2014(10):459-459,460.
- [12] 贾思远.一种基于射频识别技术的室分监控系统:CN201720089362.1[P]. 2017-01-24.
- [13] 许艺腾.一种基于RFID室分监控系统的移动网络质量诊断方法和系统:CN201810964551.8[P]. 2018-08-23.
- [14] 王朋辉,刘继勇.基于RFID技术的远程监控系统[J].移动通信,2011,35(21):43-45.
- [15] 罗华斌,方道奎,王永刚,等.4G i天线——智慧型室分天线馈线系统[J].移动通信,2014(7):73-77.

作者简介:

田彦豪,毕业于郑州大学,工程师,学士,主要从事5G室分相关新技术、新方案研究和网络规划优化等工作;陈小奎,毕业于北京邮电大学,工程师,硕士,主要从事5G室分产品创新与研究工作;侯彦庄,毕业于重庆邮电大学,工程师,硕士,主要从事5G室分相关创新产品和方案研究工作。