

基于 WLAN 的车地无线通信窄带抗干扰研究

魏秀颖

雄安轨道快线有限责任公司 河北 保定 071799

【摘要】：分析同频/邻频干扰对 CBTC 车地无线通信系统的影响机理，提出了该类型问题的分析思路 and 流程，对无线 AP 的退避机制进行深入分析。提出升级窄带通信制式，通过抬高功率谱密度、降低系统底噪，实现解决运营线路的无线通信系统抗干扰问题的目的。经过现场实验验证所提出窄带抗干扰解决方案的有效性，为基于 WLAN 的 CBTC 车地无线通信系统抗干扰性能提升提供了重要参考。

【关键词】：城市轨道交通；车地无线通信；无线干扰；窄带通信制式

Research on Narrowband Interference of Vehicle-ground Wireless Communication based on WLAN

Xiuying Wei

Xiongan Rail Express Co. Ltd. Hebei Baoding 071799

Abstract: This paper analyzes the influence mechanism of the same frequency/adjacent frequency interference on CBTC vehicle-to-ground wireless communication system, puts forward the analysis idea and flow of this type of problem, and deeply analyzes the retreat mechanism of wireless AP. This paper proposes to upgrade the narrowband communication system to solve the anti-interference problem of the wireless communication system of operational lines by raising the power spectral density and reducing the system noise. Field experiments verify the effectiveness of the proposed narrowband anti-jamming solution, which provides an important reference for the improvement of anti-jamming performance of WLAN-based CBTC vehicle-ground wireless communication system.

Keywords: Urban rail transit; Vehicle-ground wireless communication; Wireless interference; Narrowband communication system

研究背景

城市轨道交通是解决城市交通拥堵问题和满足人民美好出行愿望的重要途径。随着计算机、通信和控制等技术的发展，基于通信的列车运行控制（CBTC）系统逐渐成熟并得到应用，目前已成为城市轨道交通列车运行控制系统的主流制式。我国城市轨道交通自本世纪初期开始引入 CBTC 系统，随着 2008 年奥运会前北京地铁 10 号线和奥运支线的开通，CBTC 系统逐渐开始在我国城市轨道交通得到大规模应用。2010 年具有我国自主知识产权的北京地铁亦庄线等示范工程的顺利完成，为我国 CBTC 系统的蓬勃发展拉开了序幕。截至目前，几乎所有的新开通地铁线路均采用了 CBTC 系统。

现有的 CBTC 系统车地无线通信基本依托于早期的 WLAN（Wireless Local Area Network）和目前主用的 LTE-M（LTE for Metro）。受限于信号系统通信技术的限制，国内 CBTC 系统推广早期车地无线通信系统都选择了 2.4GHz 的工科医频段作为工作频段，2.4GHz 频段的频率范围是指 2.4GHz-2.4835GHz，该频段可免费试用，无需特殊的许可手续，因此得到了广泛的使用，包括 Wi-Fi、蓝牙、Zigbee、RFID、数字无绳电话等都选择了该频段，其中应用量最大的是采用 IEEE 802.11 系列协议的 Wi-Fi 设备。随着 2.4GHz 频段的电磁频谱环境日渐饱和，CBTC 系统的无线抗干扰能力越来越弱以及 LTE 技术在 PIS、CCTV、集群等系统的逐渐推广，新建线

路开始采用 LTE-M 承载 CBTC 车地通信系统，信号系统无线干扰问题得到很大改善。但是既有采用 WLAN 的运营线路的干扰问题仍是亟待解决的。针对遇到的无线干扰攻击，李勇提出了基于卡尔曼滤波的列车位置预估防御方案，后车通过前一时刻的 MA 信息反推前车的位置信息，达到减少无线干扰造成的不必要紧急停车，保证列车平稳运行的目的。除了优化 ATP 算法，从无线系统本身出发，合理分配频谱资源、保证充分冗余、提高天线增益也是解决干扰的重要手段。此外增加带通滤波器以及无线调优也是降低邻频和同频干扰的重要手段。分析运营线路，常见的无线干扰中，运营商无线频段的影响很明显，统一规划地铁线路相关无线系统制式频点、定期扫频监控无线环境可以实现合理控制线路周边干扰源。为了对干扰源进行有效定位，彭章友先后提出 RSSI 测距定位算法和基于测角信息的干扰源定位算法。

从 ISM 2.4GHz 的 13 个可用信道中，分析得出干扰源与通信业务所在频点越近，干扰越严重，干扰源数量越多，车地无线系统吞吐量受影响越大。基于上述结论提出合理规划频点，更换窄带设备，增加干扰信号屏蔽措施等解决措施。

现有 CBTC 系统车地无线的承载方式主要有自由波天线、漏缆和漏泄波导三种，仿真实验以及实际运营线路干扰分析表明，漏缆和漏泄波导的抗干扰能力均优于自由波天线并且相对稳定，可以从改造传输形式上考虑无线干扰问题的解决方式。

而对于存在自由波天线和波导管两种传输形式的线路,车顶自由波接收天线会在使用波导管的高架段接收到外部干扰信号,需要通过精确定位列车位置并控制电子开关切换车载接收天线的方式来提升抗干扰能力。

作为早期建设开通的线路,北京地铁某线采用 2.4GHz 来承载车地无线系统。并且在开通初期,受限于土建条件在高架段的碎石道床选择自由波天线作为传输媒介。随着周边基础设施建设日渐增多,该段车地无线受干扰严重。尽管通过无线设备的改造并升级成窄带得到一定的缓解,但早晚高峰仍频发因干扰导致的列车降级问题,对乘客出行造成了很大影响。因此,对北京地铁某线车地无线优化方案进行深入的研究分析,为我国后续其他运营线路的抗干扰能力提升,提高运行可靠性具有重要意义。

1 问题分析

1.1 问题描述

在北京地铁某线开通初期,土建设计包含高架段和地下段两部分,信号选择 2.4GHz 承载车地无线通信,并且为避免后续高架段的自由无线干扰,大部分高架段选择波导管,地下段全部为自由波天线。但有一段高架段因为碎石道床的原因,以当时的技术条件不具备假设波导管的能力,选择了自由波天线作为传输媒介。

随着城市建设的不断发展,民用 2.4GHz 的 WIFI 覆盖增多,周边同频/邻频干扰源越来越多,导致高架自由波段频繁出现无线干扰导致列车降级故障。统计近年来紧急制动问题,故障呈季节性爆发,理念故障统计。

1.2 问题分析

该线路使用自由波与波导管 2 种传输媒介。为兼容 2 种传输媒介,车载 WGB 同时安装四根天线,实现信号的正常收发。系统初期应用时,由于 WLAN 设备的普及度不高,车载自由波天线能够收到的干扰信号不足以影响到车地无线系统的正常运行。随着 WLAN 设备的普及,车载自由波天线的存在,导致车载设备在高架区段,频繁发生信道退避,从而影响无线上行数据的发送。

车地无线系统使用的设备是基于 IEEE 802.11 标准协议下的工业设备,使用的是载波侦听多路访问/冲突避免机制(CSMA/CA)对于无线 AP 而言,其信道退避原理如下:

AP 侦测的环境底噪的计算方式及该值与 ED_threshold 的关系如下:设备每 10s 采集到的数值为该周期第一个 200ms 统计出的底噪值,如果这个值小于 -95dBm 时,CCA=底噪值,此时,CCA+ED_threshold=底噪值+ED_threshold;如果这个值大于等于 -95dBm 时,CCA= -95dBm,此时,CCA+ED_threshold= -75dBm。

该周期剩余时间,AP 在发送数据前侦听信道状态:

若没有侦听到有大于 CCA+ED_threshold 的信号能量时,认为信道空闲,AP 发送数据;若侦听到有大于等于 CCA+ED_threshold 的信号能量时,AP 会进行退避,并侦听信道状态,在确认信道空闲后,发送数据。

根据上述传输机制分析,通过采集高架自由波 AP 模块底层数据,发现部分 AP 模块接收噪声偏高,造成 AP 模块触发信道退避,影响 AP 模块无线数据发送。导致 CBTC 系统应用层表现为,车地无线传输网络关联正常,却没有车地无线数据传输。

2 CBTC 无线通信系统改造提升抗干扰性能方案

针对此问题,该线路进行了车地无线设备改造,并将原 20M 带宽传输更换为 5M 带宽传输的窄带通信制式,用于解决高架自由波区域因无线环境问题导致的通信中断。

2.1 窄带提升传输性能原理介绍

通用型 802.11g 协议的无线通信制式,容易受到地铁沿线的企业、居民 WLAN 信号的干扰。改用窄带通信设备,修改无线信号占用频道带宽,子载波间隔、功率谱密度等。变更 WLAN 的信号制式,避免通用 WLAN 技术的干扰。

使用窄带系统,与同在 802.11 标准协议下的通用设置的宽带模式不同,避免了与通用宽带同频、邻频干扰,避免信道占用高导致的退避,进一步提高了 DCS 系统抗干扰能力。

窄带信号的频谱压缩,信号的功率谱密度增大相当于功率抬升,同时信道带宽变小,底噪减小,两者相叠加使得信噪比抬升,提高了系统外抗干扰能力。

无线信号功率谱密度提升,接收功率增大,理论上可以提升 3~6dB;同时无线信道压缩,系统底噪降低,理论上系统底噪降低 6dB。

综合上述改变,窄带相对宽带系统稳定性至少提升 4 倍,故障概率至少下降到原有系统的 25%以下。因此窄带升级可以有效提升无线通信系统的抗干扰能力。

2.2 现场验证

深入分析车地无线中断原因,并确认窄带通信制式可以提升无线抗干扰能力后,开始开展现场升级,验证窄带升级效果。现场车地无线为双网,升级单张网络为窄带,保留另外一张网络为宽带的方式。通过对早晚高峰运营车辆增加场强监测,通过分析场强记录数据对比窄带(蓝色)和宽带(红色)的传输性能参数。

2.2.1 空口丢包率

窄带空口平均丢包率为 0.86%,宽带空口平均丢包率为 3.47%;升级窄带后丢包率下降 75.2%。

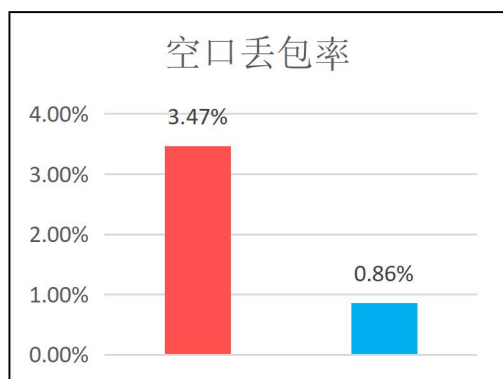


图1 宽窄带空口丢包率对比图

2.2.2 信噪比

窄带下行平均信噪比 39.9dB，宽带下行平均信噪比 33.2dB，改善 6.7dB；窄带上行平均信噪比 43.8dB，宽带上行平均信噪比 33.8dB，改善 10dB；升级后信噪比提升至少 4 倍（信号每上升 3dB，强度提高 1 倍）。

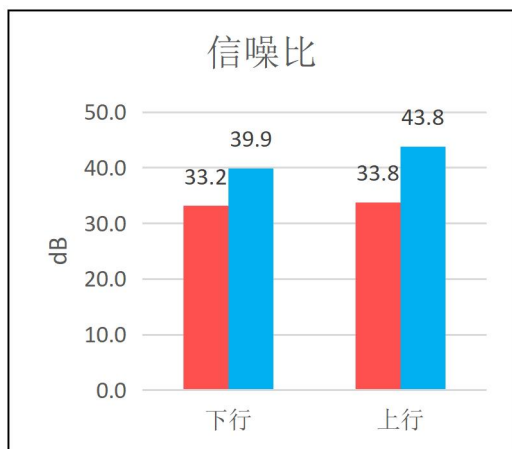


图2 宽窄带信噪比对比图

2.2.3 底噪

窄带下行平均底噪-98.5dB，宽带下行平均底噪-89.8dB，降低 8.7dB；窄带上行平均底噪-102.5dB，宽带上行平均底噪-92.7dB，降低 9.8dB；升级后底噪降低约 8 倍（信号每上升 3dB，强度提高 1 倍）。

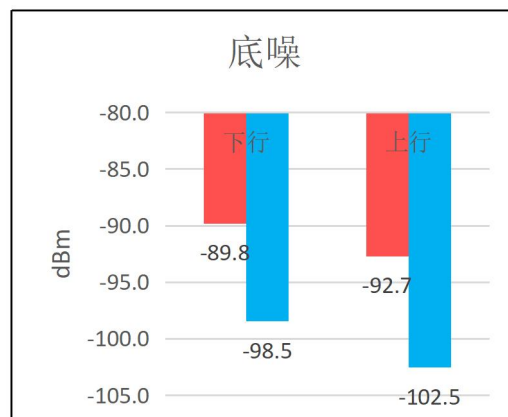


图3 宽窄带底噪对比图

3 总结

随着技术的不断发展，LTE-M 开始替代 WLAN 成为 CBTC 车地无线通信系统的主要承载方式，但是早期已经开通的使用 WLAN 的线路仍然面临着无线通信干扰导致列车故障降级的问题。在此提出的升级窄带通信制式的解决方式对现阶段无线干扰导致的降级问题可以起到缓解作用，并未从本质上解决无线干扰问题。即便是现阶段主流的 LTE-M 制式也同样存在干扰问题，只是抗干扰能力对比 WLAN 有了很大的提升。如何提高车地无线通信的可靠性，为城市轨道交通安全可靠运行提供保障，将是需要我们不断深入研究解决的持续性问题。

参考文献:

- [1] 赫欣.CBTC 系统的干扰共存分析[D].北京邮电大学,2019.
- [2] 李勇,顾晓峻,徐中亮.CBTC 系统在无线干扰下的平稳运行措施[J].铁道通信信号,2020,56(09):68-71.
- [3] 石军.地铁 CBTC 车地无线通信系统中防 WiFi 干扰的措施[J].科技传播,2017,9(23):124-125+142.
- [4] 张磊.地铁 CBTC 系统无线通信技术抗干扰方案[J].铁路通信信号工程技术,2016,13(01):69-72.