

轨道交通车地无线公频干扰问题分析及优化策略研究

陈 序 田小超

郑州轨道交通运营有限公司 河南 郑州 450000

摘 要：随着轨道交通无线通信系统的快速发展，车地无线公频干扰问题日益凸显，严重影响了通信系统的稳定性和可靠性。本文首先概述了轨道交通无线通信系统的发展历程、应用现状及主流无线通信标准及频段分配。接着，详细分析了公频干扰的类型、来源及其对轨道交通运行的影响。最后，提出了频谱资源优化管理、技术优化措施、空间与时间隔离策略以及设备与系统层面的优化策略，以期为解决轨道交通车地无线公频干扰问题提供参考。

关键词：轨道交通；车地无线公频干扰问题；优化策略

引言：轨道交通作为现代城市交通的重要组成部分，其无线通信系统的稳定性和可靠性直接关系到列车运行的安全与效率。然而，随着无线通信技术的广泛应用和城市环境的日益复杂，车地无线公频干扰问题愈发突出。本文旨在深入分析轨道交通车地无线公频干扰的类型、来源及其对轨道交通运行的具体影响，并探讨有效的优化策略，以期为提高轨道交通无线通信系统的抗干扰能力和整体运行效率提供理论支持和实践指导。

1 轨道交通无线通信系统概述

1.1 轨道交通无线通信系统的发展历程

轨道交通无线通信系统的发展始于上世纪中期，随着技术的不断革新，经历了从模拟到数字、从简单通信到综合信息传输的转变。早期，轨道交通无线通信主要采用模拟无线列调系统，实现列车与地面之间的基本通话功能。随后，随着数字化技术的引入，TETRA集群无线通信系统（800MHz专有频段）等数字无线通信系统逐渐成为主流，为轨道交通提供了更加稳定、高效的语音调度与数据传输服务。近年来，随着LTE（专有频段）和WLAN（2.4GHz公频）等技术的广泛应用，轨道交通无线通信系统正逐步向更高带宽、更低时延的方向演进，以满足未来轨道交通对高清视频传输、远程监控等多元化业务需求。

1.2 无线通信技术在轨道交通中的应用现状

无线通信技术在轨道交通中的应用已十分广泛，涵盖了列车调度、信号传输、安全监控、乘客信息服务等多个方面。通过无线通信系统，列车司机可以与调度中心进行实时通话，确保行车安全；同时，无线通信还支持列车自动控制信号的传输，实现列车的精准运行。此外，无线通信系统还用于安全监控，能够实时监测列车运行状态和轨道环境，及时发现并处理安全隐患。在乘客信息服务方面，无线通信系统提供了车载Wi-Fi、移动

支付等便捷服务，提升了乘客的出行体验。

1.3 主流无线通信标准及频段分配

目前，轨道交通无线通信系统采用的主流标准包括TETRA集群无线通信系统和LTE，同时辅以WLAN作为补充。TETRA（800MHz专有频段）作为地铁行业广泛采用的无线通信标准，其频段分配严格遵循国家无线电管理规范，以确保列车调度、应急通信等关键业务的稳定运行。LTE（专有频段）凭借其高带宽、低时延的特性，正逐步在地铁车地无线通信中推广应用，支持高清视频监控、实时数据传输等业务需求。此外，WLAN（2.4GHz公频）也在部分场景下用于非安全类数据传输，如乘客信息系统（PIS）等。

2 轨道交通车地无线公频干扰问题分析

2.1 干扰类型

在轨道交通车地无线通信系统中，公频干扰问题不容忽视，它直接影响着通信系统的稳定性和可靠性。公频干扰主要包括以下几种类型：（1）同频干扰。同频干扰是指两个或多个使用相同频率的无线通信系统在相同或相近的地理区域内同时工作时，相互之间产生的干扰。在轨道交通中，如果多个基站或AP（接入点）使用相同的频率进行通信，且它们之间的空间隔离度不足，就会产生同频干扰。这种干扰会导致信号质量下降，严重时甚至会使通信中断。（2）邻频干扰。邻频干扰是指相邻频道的无线通信系统在工作时产生的干扰。虽然相邻频道的频率有一定的间隔，但当信号强度足够大或接收机的选择性不够好时，邻频信号仍然可能干扰到有用信号的接收。在轨道交通无线通信系统中，邻频干扰同样会降低通信质量，影响列车与地面之间的信息传输。（3）互调干扰。互调干扰是指多个不同频率的信号在非线形器件中混合时，产生新的频率分量，这些新的频率分量可能落在有用信号的接收频带内，从而造成干扰。

在轨道交通无线通信系统中,互调干扰主要来源于发射机、接收机等设备的非线性特性,以及传输线路中的非线性元件。互调干扰会严重影响通信系统的性能,降低信号质量。(4)多径干扰。多径干扰是指在无线通信系统中,信号通过多条路径传播到接收端时产生的干扰。由于每条路径的信号传播距离、传播介质和反射情况都不同,因此到达接收端的信号会有不同的时延和相位差。这些信号的叠加会导致接收端信号质量的下降,严重时会产生误码和通信中断。在轨道交通中,列车在隧道、高架桥等复杂环境中行驶时,多径干扰尤为严重。

2.2 干扰来源分析

(1)其他无线通信系统(如WiFi、蓝牙等)。随着无线通信技术的普及,WiFi、蓝牙等无线通信设备在轨道交通沿线大量存在。这些设备的工作频率可能与轨道交通无线通信系统相近或相同,从而产生干扰。特别是当乘客在列车上使用这些设备时,干扰问题尤为突出。

(2)城市商用移动通信系统。城市商用移动通信系统如2G、3G、4G乃至未来的5G网络,其基站遍布城市各个角落。这些基站的工作频率可能与轨道交通无线通信系统产生重叠或邻近,从而引发干扰。此外,随着移动通信技术的不断发展,基站密度不断增加,干扰问题日益严重^[1]。(3)轨道交通内部其他设备。轨道交通系统内部也存在许多无线通信设备,如列车控制系统、信号系统、监控系统等。这些设备在工作时可能产生相互干扰,特别是在频率规划不当或设备布局不合理的情况下。此外,列车自身的电磁辐射也可能对无线通信系统产生干扰。

2.3 干扰对轨道交通运行的影响

(1)信号传输质量下降。干扰会导致信号传输质量下降,表现为信号强度减弱、误码率增加等。这不仅会影响列车与地面之间的信息传输效率,还可能导致信息丢失或误传,从而影响列车运行的安全性和可靠性。

(2)列车控制系统误动作。列车控制系统是轨道交通系统的核心部分,它负责控制列车的行驶速度、方向、停车等关键操作。如果列车控制系统受到干扰,可能会导致系统误动作,如错误地触发紧急制动、改变行驶方向等。这些误动作将严重影响列车运行的安全性和效率。

(3)运营安全隐患增加。干扰问题不仅会影响列车控制系统的正常运行,还可能对轨道交通系统的整体运营安全构成威胁。例如,如果信号系统受到干扰导致信号显示错误,可能会导致列车追尾、碰撞等严重事故。此外,干扰还可能影响乘客信息系统的正常运行,给乘客带来不便和恐慌。因此,必须采取有效措施来减少和消

除干扰问题,确保轨道交通系统的安全、高效运行。

3 轨道交通车地无线公网干扰优化策略研究

3.1 频谱资源优化管理

频谱资源是无线通信的基础,优化频谱资源管理是解决公网干扰问题的关键。(1)专用无线频率的申请与分配。针对轨道交通无线通信系统的特殊需求,应积极向国家无线电管理部门申请专用无线频率。通过专用频率的使用,可以确保轨道交通无线通信系统免受其他无线通信系统的干扰。同时,在获得专用频率后,应进行合理分配,确保不同区域、不同设备之间的频率使用不冲突,提高频谱资源的利用效率。(2)合理规划无线通信频段。在获得专用频率的基础上,需要对无线通信频段进行合理规划。这包括确定合适的频段宽度、频段间隔以及频段内的信道划分等。通过合理规划,可以确保轨道交通无线通信系统在不同场景下都能获得稳定的通信性能,减少因频段规划不当而导致的干扰问题。(3)避免与其他无线通信系统的频段重叠。为了避免与其他无线通信系统的频段重叠,需要在频谱规划阶段进行充分的调研和分析。了解周边无线通信系统的频段使用情况,确保轨道交通无线通信系统的频段选择不会与其他系统产生冲突。

3.2 技术优化措施

技术优化是解决公网干扰问题的重要手段。通过采用先进的通信技术,可以显著提高轨道交通无线通信系统的抗干扰能力。(1)采用扩频通信技术。扩频通信技术通过扩展信号的频谱宽度来降低信号的功率密度,从而提高系统的抗干扰能力。跳频扩频和直序扩频是两种常用的扩频通信技术。跳频扩频通过快速改变信号的载频来避免干扰,而直序扩频则通过将信号与伪随机序列进行调制来扩展信号频谱。在轨道交通无线通信系统中,可以根据具体需求选择合适的扩频通信技术来提高系统的抗干扰性能^[2]。(2)应用多载波技术。多载波技术如正交频分复用(OFDM)通过将高速数据流分割成多个低速数据流,并分别在不同的子载波上进行传输,来提高系统的频谱效率和抗干扰能力。OFDM技术具有抗多径干扰能力强、频谱利用率高等优点,在轨道交通无线通信系统中具有广泛应用前景。(3)强化纠错码的应用。纠错码通过添加冗余信息来检测并纠正数据传输过程中的错误。在轨道交通无线通信系统中,由于环境复杂、干扰源众多,数据传输过程中难免会出现错误。因此,强化纠错码的应用可以有效提高数据传输的可靠性,减少因错误而导致的通信中断问题。

3.3 空间与时间隔离策略

空间与时间隔离策略是解决公频干扰问题的有效补充手段。通过优化信号源设备的空间布局、采用定向天线以及合理调整不同系统信号的工作时间,可以进一步降低干扰问题的影响。(1)信号源设备的空间布局优化。信号源设备的空间布局对于无线通信系统的性能具有重要影响。通过优化信号源设备的布局,可以减少不同设备之间的信号干扰。例如,在轨道交通沿线合理设置基站或AP的位置和数量,可以确保信号覆盖全面且干扰最小。同时,对于列车上的无线通信设备,也应进行合理布局,避免设备之间的相互干扰。(2)采用定向天线减少干扰。定向天线具有指向性强、干扰小的优点。在轨道交通无线通信系统中,通过采用定向天线可以进一步降低干扰问题的影响。定向天线可以将信号主要集中在特定的方向上,从而减少其他方向上的干扰。同时,通过调整定向天线的角度和增益,可以进一步优化无线通信系统的性能。(3)合理调整不同系统信号的工作时间。在轨道交通无线通信系统中,不同系统信号的工作时间可能会存在重叠。为了避免因工作时间重叠而导致的干扰问题,可以通过合理调整不同系统信号的工作时间来解决。例如,可以通过时隙分配、频率复用等技术手段来优化不同系统信号的工作时间分配,确保它们之间不会相互干扰。同时,在列车调度和运行过程中,也可以根据实际情况灵活调整信号的工作时间,以适应不同的运行需求^[3]。

3.4 设备与系统层面的优化

设备与系统层面的优化是提高轨道交通无线通信系统抗干扰能力的关键。通过增强轨道交通无线通信的发射功率、降低其他通信源的发射功率以及引入冗余备份系统等措施,可以进一步提高系统的稳定性和可靠性。

(1)增强轨道交通无线通信的发射功率。在不影响其他无线通信系统正常运行的前提下,可以适当增强轨道交通无线通信的发射功率。通过提高发射功率,可以增强信号的覆盖范围和传播距离,从而提高无线通信系统的

抗干扰能力。但需要注意的是,发射功率的增加应基于详细的频谱分析和环境评估,以确保不会对其他无线通信系统造成不必要的干扰。(2)降低其他通信源的发射功率。在轨道交通沿线,除了轨道交通无线通信系统外,还可能存在其他无线通信设备,如公共Wi-Fi热点、私人移动通信设备等。这些设备的发射功率如果过高,可能会对轨道交通无线通信系统产生干扰。因此,可以通过政策引导、技术限制等手段,降低这些设备的发射功率,以减少对轨道交通无线通信系统的干扰。(3)引入冗余备份系统提高可靠性。为了提高轨道交通无线通信系统的可靠性,可以引入冗余备份系统。冗余备份系统可以在主系统出现故障或受到严重干扰时,迅速接管通信任务,确保列车与地面之间的信息传输不受影响。冗余备份系统可以采用热备份或冷备份的方式,根据实际情况进行灵活配置。同时,为了降低冗余备份系统对频谱资源的占用,可以采用频谱共享或动态频谱接入等技术手段。

结束语

综上所述,轨道交通车地无线公频干扰问题对通信系统的稳定性和列车运行的安全构成严重威胁。通过实施频谱资源优化管理、技术革新、空间与时间隔离策略及设备与系统层面的优化,可以有效缓解并降低干扰影响。未来,随着通信技术的不断进步和创新,轨道交通无线通信系统将更加智能、高效,为乘客提供更加安全、舒适的出行体验。

参考文献

- [1]王壮.城市轨道交通信号系统车地无线冗余方案探索[J].铁路通信信号工程技术,2022,(10):60-61.
- [2]刘晓舟.5G移动通信技术在城市轨道交通车地无线通信系统中的应用探讨[J].数字技术与应用,2022,(09):94-95.
- [3]潘威炜.城市轨道交通车地无线通信技术的演进历程及未来发展[J].城市轨道交通研究,2022(08):75-76.