

浅析地铁专用无线通信系统的网络覆盖与优化策略

朱赛

(南京地铁运营有限责任公司)

摘要: 本文详细分析了地铁通信专用无线系统的覆盖技术及网络优化策略, 并探讨了未来技术发展的趋势和潜在应用场景。通过研究站台、站厅以及隧道的信号覆盖, 并考察了信号优化方法如调整发射功率和设备配置。文章进一步预测了数字集群技术和 LTE 技术在提升地铁无线通信系统性能中的作用, 指出 5G 技术的引入将极大地提升乘客体验和系统的整体效率。

关键词: 地铁通信; 无线系统; 网络优化; 信号覆盖

一、地铁无线系统概述

1. 系统构成

地铁专用无线系统是确保地铁运营顺畅不可或缺的组成部分。这一系统主要由车载台、固定台、手持台及行车调度台组成。每一种台站均使用专门设定的频点和网络, 旨在提高通信的有效性。系统的设计采用 800 MHz 频段, 这是一种为地铁通信量身定做的专用频段。通过这样的专用设置, 系统能够在高要求的安全性和可靠性标准下运作。无论是车载的设备, 还是地面的固定设施, 均以确保稳定通信为目标, 配备了高标准的技术支持, 以应对日常运营中可能出现的各种挑战。

2. 技术特点

地铁无线系统的技术特点体现在其高度的专业化和复杂性。该系统利用 800 MHz 专用无线频段, 极大地减少了与其他商用信号的干扰。此外, 系统的布设考虑到了地铁的独特结构和运营需求, 如站台、站厅和隧道等不同区域采用不同的覆盖技术。例如, 室内区域多采用天线和室内分布系统进行信号分发, 而区间隧道则通过漏缆系统来保持通信的连续性。系统的电源供应设计包括组合开关电源和远端直供两种方式, 确保了设备在各种环境下的稳定运行。此外, 传输系统则采用光缆链接各个重要节点, 通过基站的 BBU 和 RRU 单元, 实现信号的优化和强化, 确保数据的高速交互和信息的准确传递。

二、地铁无线信号覆盖分析

1. 覆盖理论基础

在地铁无线系统的设计与实施中, 覆盖理论是保证信号全面到达每一个角落的基石。此理论涵盖了信号的传播方式、干扰处理和信号强度的维持等多个方面。首先, 信号的传播模型在地铁环境中显得尤为重要, 因为地铁的结构包含了许多复杂的地下空间和封闭区域。理论上, 通过合理的天线布置和信号放大技术, 可以有效地解决这一问题。具体而言, 系统通常采用蜂窝式布局, 以及在关键位置使用漏缆系统, 这有助于弥补隧道和地下站台中信号的不足。

信号覆盖还必须处理各种可能的干扰, 特别是在多

信号环境下保持地铁通信的清晰与稳定。为此, 地铁无线系统经常利用频分多址 (FDMA) 和时分多址 (TDMA) 技术来优化频道的使用, 减少信号之间的干扰。在实际应用中, 基站的配置和信号的分布都会经过精确计算, 以确保各区域内的信号覆盖均匀, 且强度满足通信需求。

地铁无线信号的覆盖理论还强调信号的稳定供电和质量监控。通过采用高效的供电系统和定期的信号质量测试, 可以持续监控覆盖效果, 并及时调整设备设置, 以应对由于地铁运营变动等因素引起的信号覆盖问题。这一理论的实施确保了地铁无线通信在提供连续服务的同时, 也保持了系统的高可靠性和安全性。

2. 地铁无线信号覆盖分析

(1) 站台和站厅覆盖

在地铁站台和站厅中, 无线信号的全面覆盖是确保通信流畅的关键。系统设计者针对这些区域采用了高效的的天馈设备, 这些设备能够广泛分布信号, 确保无死角。具体而言, 站台和站厅的覆盖需求很高, 通常要求信号场强保持在 -65 dBm 以下, 以满足日常通信的稳定性和清晰度。此外, 信号传播模型也被精心设计, 以适应站厅和站台的开放空间结构。信号损耗计算遵循特定的公式, 包括频率、距离和传播因素的综合考量, 确保每个角落均获得足够的信号支持。此种覆盖策略通过科学布置天线和优化设备输出功率, 有效地满足了繁忙地铁站的通信需求。

(2) 隧道和区间覆盖

对于地铁隧道和行驶区间, 信号覆盖面临更多的挑战。这些区域通常使用漏缆系统来实现连续的信号传输, 漏缆的布设沿线延伸, 能够有效补充因隧道弯曲和长距离带来的信号衰减。在漏缆的辅助下, 列车在高速移动时仍能保持稳定的通信连接。为了进一步强化信号, 某些长隧道区段还配备了直放站, 这些设施能够放大接收到的信号, 从而强化整体的信号覆盖效果。基站间的无缝切换也得到了特别的优化, 如 GSM 系统中, 基站切换时间需严格控制在 6 秒以下, 确保列车在高速通过时的通信不受影响。

(3) 特殊区域覆盖分析

特殊区域如换乘站和控制中心，对无线信号覆盖有着独特的需求。换乘站因涉及多条线路和复杂的空间布局，要求信号覆盖更为精准和全面。在这些区域，信号覆盖策略需要避免频点冲突和干扰，通常采用更加复杂的频点配置方式，如 ABCABC 复用方式，以区分不同线路和服务的信号。控制中心作为地铁运营的神经中枢，其无线覆盖质量直接关系到地铁系统的运行安全。因此，控制中心通常配备有高性能的定向天线，这些天线能够提供精确的覆盖，同时通过密集的测试和调整，确保每个角落都能接收到稳定而可靠的信号。

三、地铁无线网络优化策略

在地铁无线网络的运维中，对信号进行持续优化是确保通信质量和系统稳定性的关键步骤。网络优化主要包括调整信号强度、优化设备配置及升级关键技术等方面。首先，信号强度的调整是确保网络覆盖均匀性和通信质量的基本措施。通过实地测试覆盖电平，地铁无线系统的运维团队能够获得每个测试点的数据反馈。基于这些数据，运维人员会调整无线基站的耦合器和发射功率，以应对信号过弱或覆盖不均的问题。

此外，优化设备配置也是提升网络性能的重要策略。例如，当测试发现信号电平强度差异较大时，可能需要更换耦合器，将二功分器改为四功分器，以改善信号分配的均匀性。同时，还需对基站的发射功率进行精细调整，常见的设置为-102 dBm，以确保信号在复杂地铁环境中的有效传递。

网络优化还包括对上下行信号的平衡调整，通过更改 RXLEV_ACCESS_MIN 等参数，减少信号不平衡的差值，提升整体的通信效率。在这一过程中，不断的测试和数据分析帮助确定覆盖的最佳状态，从而在不同区域和不同时间保持通信质量的一致性。

最后，SLOW_RESELECT_HY_STERESIS 等延迟参数的调整也是优化策略的一部分，这有助于在列车通过交叉区域时实现信号的无缝覆盖。通过这些综合措施，地铁无线网络的性能得到了明显的提升，为乘客和运营人员提供了更加稳定和可靠的通信服务。

四、地铁无线通信的未来发展

1. 技术创新展望

随着科技的不断进步，地铁无线通信技术也面临着新的发展机遇。未来的技术创新主要集中在提高数据传输效率和增强系统安全性两个方面。

第一，数字集群技术，特别是 TETRA 系统，正在成为地铁无线通信的重要技术支撑。该系统能够整合语音和数据传输，优化通信流程，缩短响应时间，同时提升

系统的整体安全性。

第二，未来地铁无线通信还将更多采用 LTE 技术，这种技术支持更高的数据传输速率，能够满足日益增长的数据需求，特别是在视频监控和紧急响应等方面的应用。

第三，随着 5G 技术的普及，地铁无线通信系统预计将融合更多的 5G 功能，实现更高的网络吞吐量和更低的延迟。这将极大地提升乘客体验，使得乘客在地铁行进过程中也能享受到高速的互联网服务。同时，5G 技术的引入还将促进地铁无线系统在安全监控、智能调度等方面的应用，使地铁运营更加智能化和安全性。

2. 应用场景扩展

地铁无线通信技术的应用场景在未来也将得到显著扩展。随着技术的进步，地铁无线通信不仅限于传统的车辆调度和紧急通信，还将扩展到乘客信息服务、车辆监控以及与智能城市接口的整合等多个领域。例如，地铁无线系统可以提供实时乘车信息和路线优化建议，改善乘客出行体验。同时，通过无线系统的整合，地铁运营可以实现更精准的车辆追踪和调度，提高运营效率和安全水平。

此外，随着物联网技术的发展，地铁无线通信系统也将更多地与各种智能设备和传感器集成，实现车站的智能监控和环境管理。这些技术的应用不仅能够提高地铁系统的运行效率，还能增强乘客的安全保障，例如通过智能分析乘客流量数据，优化车站和车厢的人流分布，减少拥挤现象，提升乘客乘坐的舒适度。这些创新的应用场景将使地铁无线通信系统成为城市公共交通的重要支撑，极大地推动城市交通系统的现代化和智能化发展。

五、结语

笔者的研究显示，优化地铁无线通信系统不仅需要现有技术如 FDMA 和 TDMA 的基础上进行技术升级，还需引入如 TETRA 和 LTE 的先进技术，以应对增长的数据需求和提高系统的安全性。此外，5G 技术的融入预示着地铁无线通信系统将更广泛地应用于乘客信息服务和车辆监控等新领域。随着技术的不断进步和应用场景的扩展，地铁无线系统的未来将显著影响城市交通的智能化和现代化发展，为城市地铁安全运行提供强有力的支持。

参考文献：

[1]顾熙妍.地铁无线通信多系统接入的抗干扰技术及覆盖效果测试[J].科技创新,2022,(08):67-70.

[2]林洁.地铁通信的无线系统覆盖和网络优化分析[J].网络安全技术与应用,2022,(05):89-90.