

上海轨道交通 2 号线车站无线接入点 信号强度分布问题研究

吴磊¹ 邵跃堂² 杨明来^{1*}

(1. 上海应用技术大学轨道交通学院, 201418, 上海;

2. 上海工程技术大学电子电气工程学院, 201620, 上海//第一作者, 硕士研究生)

摘要 针对上海轨道交通 2 号线车站内易出现无线接入点(AP)信号故障的情况,选取该线路张江高科站和金科路站作为研究对象,对 AP 信号强度分布进行了分析,并找出产生通信故障的原因,并提出解决措施。采用专业软件建立车站模型,通过分析得到仿真数据和实测数据相吻合,验证了模型的正确性。利用模型仿真场强分布,分析了车站内 AP 信号随距离变化的分布特点。分析了 AP 在有车和无车时的信号强度变化情况以及两车站内 AP 信号强度分布的相似性。同时根据理论分析得到 AP 信号受干扰的原因,并从降低干扰源、切断干扰路径等方面提出一系列解决措施,以保障良好的通信质量。可为其他车站的 AP 信号强度分析和通信故障分析提供参考。

关键词 城市轨道交通; 车站; 无线接入点信号强度; 故障分析

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.03.025

Research on Wireless AP Signal Intensity Distribution at Stations on Shanghai Metro Line 2

WU Lei, SHAO Yuetang, YANG Minglai

Abstract Aiming at the occurrence of AP (access point) signal failures at stations on Shanghai metro Line 2, based on the cases of Zhangjiang High-tech Station and Jinke Road Station, the distribution of AP signal intensity is analyzed to identify the communication failure and propose correct solutions. Then, a station model is established by using professional software, and an analysis shows that the simulation data are in good agreement with the measured data, thus confirming the correctness of the model. Next, the model is used to simulate the distribution of field strength, and analyzed the distribution characteristics of AP signal with distance variation at the stations. The similarity of AP signal strength changes when trains

stop or not stop at station, and the similarity of AP signal intensity distribution between two stations are analyzed, the reasons for AP signal interference are detected by theoretical analysis, thus a series of measures are proposed to ensure the communication quality by reducing the interference sources and cutting off the interference path. This research provides a reference for AP communication failure analysis at other metro stations.

Key words urban rail transit; station; wireless access point signal intensity; fault analysis

First-author's address School of Railway Transportation, Shanghai Institute of Technology, 201418, Shanghai, China

无线通信目前已成为城市轨道交通领域车-地通信的主要方式,其通信的可靠性对城市轨道交通的安全起着至关重要的作用。近年来,我国普遍采用 AP(接入点)设备作为节点组成的 WLAN(无线局域网) Mesh 网络进行车地间的信息传输^[1],但由于 AP 设备存在可靠性和技术制式等方面的原因,经常会出现车地通信的异常情况,造成列车信号沟通不畅、联动失效等问题,从而影响列车运行效率。本文以上海轨道交通 2 号线金科路站和张江高科站为工程背景,分析 AP 信号强度分布,找出其一般规律,并从场强角度分析 AP 设备易受干扰的原因,为分析通信故障提供参考。

1 车站 AP 信号强度测试方法

为保证测试条件的一致性,测试分有车和无车两种情况。本文采用 FLUKE Air Check 仪器采集数据,每 9 m 为 1 个测试点,每个测试点在有车和无车两种情况下至少测 3 组数据并取其平均值。

测量数据得到之后,采用 Wireless Insite 软件进行建模,通过对比发现仿真数据和实测数据相吻合,

* 本文通信作者

从而验证了模型的正确性。利用仿真车站模型 AP 场强空间的分布状况,总结 AP 信号强度分布的一般性规律,分析信号强度较弱且设备通信容易受干扰的位置,为 AP 通信故障分析处理提供理论支持。

2 车站 AP 信号强度仿真分析

2.1 仿真模型

车站 AP 场强分布仿真如图 1 所示。图 1 中, AP 场强分布颜色体现了信号强度的强弱,色度条数据显示 AP 场强范围为 $-98.9 \sim -26.8$ dBm。通过和实测数据对比,可知 AP 场强衰减趋势一致,但数据存在偏差。



图 1 车站 AP 场强分布仿真图

经过分析可知,仿真数据和实测数据存在偏差主要包括两个原因:

(1) 模型误差。在实际车站中存在的各种通信设备、复杂建筑结构以及人流都可以造成信号衰减,而仿真软件难以还原如此复杂的通信环境。这将会导致仿真结果和实测结果无法完全吻合。

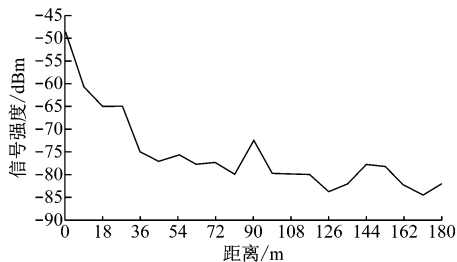
(2) 测试误差。仿真图显示的是同一时刻下 AP 场强随距离的分布趋势,而在实际测试中各个点的场强并非同时测试,这也会导致数据存在误差。针对模型误差,本文在仿真车站模型中加入一些墙壁、钢轨等“障碍物”,力求接近真实通信环境。针对测试误差,在实际测量中每一个点需测试 3 组以上数据,并取其平均值,这样可降低一定的误差。通过修正模型,使仿真结果和测试结果相吻合。AP 场强实测数据和仿真数据对比如图 2 所示。

2.2 有车和无车两种情况下 AP 信号强度分析

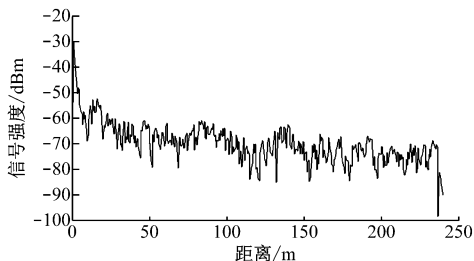
图 3 为张江高科站上行线有车和无车两种情况下 AP 信号强度的分布情况。由图 3 可知,有车时站内 AP 信号强度比无车时会增大。经计算,无车时站内 AP 平均信号强度约为 -76 dBm,有车时约为 -71 dBm,有车时 AP 平均信号强度比无车时约提升 5 dBm。这是由于 AP 和 MR(移动广播)进行报文传输前,会在公共信道进行一次“握手”,“握手”成功之后,为防止通信断连,信号强度将会被加强。

2.3 车站和隧道中 AP 信号强度分析

车站和隧道 AP 场强仿真如图 4 所示。由图 4



a) AP 场强实测数据



b) AP 场强仿真数据

图 2 AP 场强实测和仿真数据变化趋势图

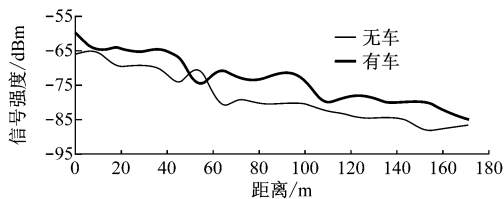


图 3 张江高科站上行线有车和无车时 AP 信号强度分布图

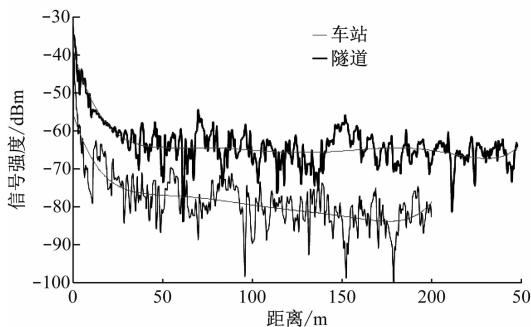


图 4 车站和隧道 AP 场强仿真图

可知,车站内 AP 信号强度衰减速度快于隧道,并且在同样距离内,隧道 AP 信号强度高于车站。这是由于在客流以及车站复杂的环境下,AP 场强衰落更剧烈,因此在车站中更容易发生通信故障^[2]。为保证通信质量,在车站内两 AP 距离应比隧道内更短。

2.4 场强叠加

金科路站和张江高科站站内 AP 叠加场强的分布情况如图 5 所示。由图 5 可知,两 AP 间叠加信号强度成“马鞍形”,AP 场强变化趋势符合交叉覆盖的规律,列车进站时会寻找最大的 AP 信号进行

通信连接。由于车站中部 AP 信号强度最低,则在该位置最有可能发生 AP 通信故障。经过计算,两个车站 AP 场强重叠区的边缘场强在 -80 dBm 以上,这样就可以保证 MR 在两 AP 间平顺切换^[3]。由图 5 可知,在距离 90 m 处 AP 场强波动基本均位于 -80 dBm 之上,所以在外界没有大功率设备干扰通信的条件下,MR 可在两车站 AP 间平顺切换且不会断连,但不排除其中一个 AP 设备发生故障或者车站周围存在大功率设备干扰信号而引起通信故障。

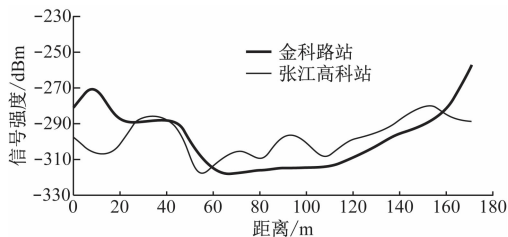


图5 车站AP场强叠加分布图

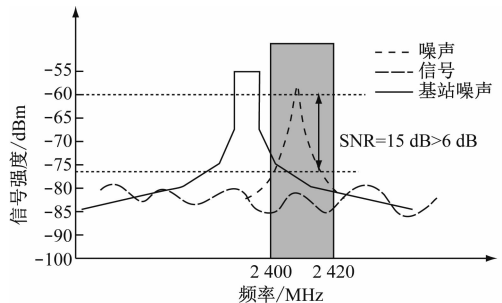
3 车站无线通信系统故障分析

目前,城市轨道交通无线通信大多采用 2.4 GHz 频段,此频段也是无线局域网、无线接入系统、蓝牙技术设备、点对点或点对多点扩频通信系统等各类无线电台站的共用频段^[4]。因此,对无线通信系统造成干扰的主要是同频干扰。而造成通信质量下降的主要原因是信噪比下降。信噪比下降包括两个原因,分别为噪底抬升和饱和失真,因此城市轨道交通车站内必须采取措施来防止噪底抬升和饱和失真的产生。

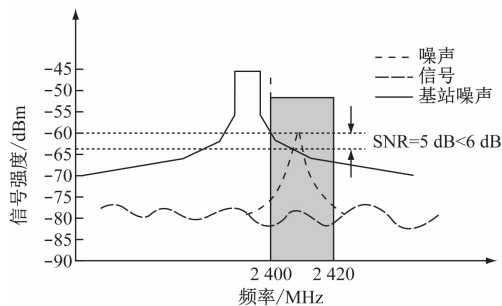
3.1 噪底抬升

噪底抬升原理如图 6 所示。由图 6 可知,正常情况下,由于基站信号功率较低,基站信号落入城市轨道交通通信工作频段内的干扰噪声信号功率亦较低,该通信工作频段内信噪比良好,故通信可正常进行;基站增大发射信号功率时,带来并落入到城市轨道交通通信系统工作频段内的干扰噪声信号功率较大,造成噪底抬升、信噪比恶化、通信异常甚至中断的现象。

例如,在上海轨道交通 11 号线嘉定段沿线有很多通信基站,且相互之间距离较近,基站信号落入到城市轨道交通通信系统频段内的功率很高,AP 设备目标信号被基站信号湮没,造成信噪比较差,且低于噪声门限,甚至无法解调,导致 AP 时常出现通信故障、通信延时以及设备重启,为列车运行带



a) 正常情况



b) 增大基站发射功率

注:SNR 为信噪比

图6 噪底抬开原理图

来安全隐患。

3.2 饱和失真

通常情况下,射频接收机接收到的信号功率都很小,接收机需要将接收到的射频信号经过频率变换(下变频)和信号放大处理,并转变为 ADC(模拟-数字转换器)采样电路需要的合适电压范围,因此接收机的接收链路具有移动的增益。这些增益在接收机中可以分布在 RF(射频)频率部分及模拟基带信号部分。假设接收机最大输入电平为 -50 dBm ,在未加滤波器的情况下,接收机可接收到饱和失真的信号(见图 7)。

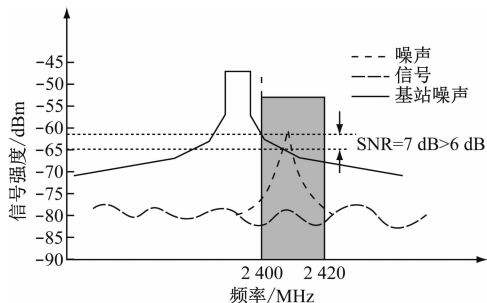


图7 饱和失真原理图

由图 7 可知,由于基站发射过强的信号,接收机接收到的信号信噪比为 $7\text{ dB} > 6\text{ dB}$,理论上信号可以正确地进行解调,但由于接收机接收到的未经滤波器过滤的最大信号强度为 -47 dBm ,该值大于接

收机的最大输入信号强度 (-50 dBm), 这样接收机在处理信号的过程中会造成接收信号的失真, 从而增加误码率^[5], 使得车站内 AP 通信设备不能接收到完整且正确的信号, 从而对车-地通信、AP-AP 间的通信造成影响, 存在一定的安全隐患。

4 车站无线通信系统故障解决措施

为减少 AP 信号误码率, 以及提升信号强度, 可从以下 3 个方面入手来保障车站无线通信系统的通信质量: ①降低干扰源; ②切断干扰路径; ③合理布置 AP 位置。

4.1 降低干扰源

采取在基站侧加装滤波器来降低干扰源。基站侧加装滤波器的原理是降低干扰源干扰的一种方式, 这种降低干扰源的方式主要是为了降低由于基站发射机非线性产生的落入到 2.4 GHz 频段内的干扰信号。

图 8 为加装滤波器和未加装滤波器两种情况下 AP 接收机接收到的信号在频域上的示意。未加装滤波器时, 接收机接收到基站发送的信号如图 10 a) 中的灰色频谱所示, 此时 $2\,400\sim 2\,420\text{ MHz}$ 频段内 AP 接收到的城市轨道交通控制信号的信噪比为 $5\text{ dB} < 6\text{ dB}$, 无法进行解调; 加装滤波器后, 接收机接收到的基站发送的信号如图 10 b) 中的灰色频谱所示, 此时 $2\,400\sim 2\,420\text{ MHz}$ 频段内 AP 接收到的

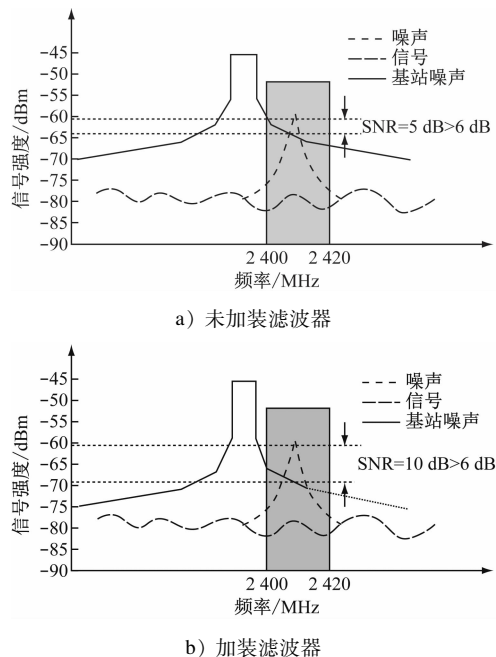


图 8 加装滤波器和未加装滤波器两种情况下 AP 接收机接收到的信号在频域上的示意图

城市轨道交通控制信号信噪比为 10 dB , 该值小于 6 dB , 可以进行正常解调。

4.2 切断干扰路径

考虑到部分方案实施可能会影响移动基站信号, 从而对城市轨道交通通信系统造成影响, 因此可从切断干扰路径的角度出发来对方案进行优化, 比如选择屏蔽墙设计方案。

该方案在加装屏蔽网之后, 使得运行在屏蔽网中的通信系统的信道环境产生变化。这是由于站台或者高架固定 AP 发出的无线信号向四周发射时, 遇到屏蔽网会产生反射, 进而会造成无线信号从固定 AP 到达列车 MR, 或者从列车 MR 到达固定 AP 之间的路径会有多条, 即多径效应。通常情况下多径效应会使得同时从发射机发出的信号通过不同路径到达接收机的时间不同, 从而产生时延。如果时延过大, 则晚到的信号会叠加到下一帧信号中, 从而降低下一帧信号的信噪比。但是多径效应对目前 2 号线通信系统的影响不大, 主要原因如下:

(1) 屏蔽网屏蔽的空间较小, 在固定 AP 与列车 MR 之间的多径信道传输路径段时延较小;

(2) 目前应用在 2 号线上的通信协议速率较低, 仅有 1 Mbit/s , 因此帧与帧之间的时间间隔较大。

综上所述, 屏蔽网的加装不会对城市轨道交通通信系统造成太大影响。

4.3 合理布置 AP 点位置

车站内 AP 通信要满足最低接收水平^[6]。根据规范要求, 最低信号强度要高于 -80 dBm 。但为了防止车站内相邻 AP 出现故障而影响到车-地通信, 需要确保非相邻的两个 AP 留有足够的信号余量。通常车站内相邻 AP 的距离为 170 m , 非相邻 AP 的最短距离约为 340 m 。图 3 b) 中, 两 AP 间距离大于 100 m 时, 一部分信号强度落到 -80 dBm 以下; 当两 AP 间距离为 170 m 时, AP 场强会有较大几率处于 -80 dBm 以下, 这影响到了 AP-AP 之间的通信; 当非相邻的两 AP 间距离为 340 m 时, AP 场强落到 -80 dBm 以下, 使得误码率偏大, 导致通信延时, 从而增大了列车事故几率; 当相邻 AP 间距离为 100 m , 且其中一个 AP 发生故障, 而非相邻 AP 间距离为 200 m , 且在 200 m 内两 AP 平均场强处于 -80 dBm 以上, 这样可保证较强的抗干扰能力以及良好的通信质量。

5 结语

本文仿真分析了上海轨道交通 2 号线车站内 AP 信号强度的变化趋势,阐述了 AP 场强分布规律,解释了较大波动幅度的信号强度对车-地通信的不利影响。当列车进站时,为保证车-地通信顺畅,可提升 AP 信号强度,防止断连影响列车运行。但如果车-地通信时 AP 未及时提升信号强度,导致通信不稳定,列车和控制中心信息不能同步,极可能会影响列车正常运行。通过分析,发现张江高科站和金科路站 AP 的场强分布曲线变化趋势均一致,证明车站内 AP 场强分布具有相似性,符合交叉覆盖规律,列车进站时需优先选择信号最强的 AP 进行连接。测试了上海轨道交通 2 号线江苏路站和娄山关路站等车站,发现均符合以上特点。根据无线通信的共性规律,由以上 4 站分析得到的场强规律均适用 2 号线;同时,采用相同通信机制的其他城市轨道交通车站内 AP 也同样具有相同的场强分布规

律。针对这些场强共性,从降低干扰源、切断干扰路径和合理布置 AP 位置等方面提出增强信号强度和保障通信质量的措施,这对其他车站的车-地通信故障分析和 AP 位置布置也具有参考意义。

参考文献

[1] HIERTZ G R, ZANG Y, MAX S, et al. WLAN mesh standardization and high performance extensions[J]. IEEE Network the Magazine of Global Internetworking, 2008, 22(3):12.

[2] 宁咏梅. 隧道内车站信号系统方案研究[J]. 铁道通信信号, 2013, 49(12):19.

[3] 张志刚. 基于 WLAN 的列车控制系统中轨旁 AP 快速切换方法研究[D]. 西安:西安理工大学, 2011.

[4] 杨兴. 干扰地铁无线通信系统的相关因素和对策探析[J]. 科技与创新, 2014(2):136.

[5] 林福昌, 李化. 电磁兼容原理及应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2009.

[6] 李莉. 关于地铁通信的无线系统覆盖探索与研究[J]. 通讯世界, 2017(23):33.

(收稿日期:2018-03-23)

(上接第 6 页)

长达 35 a 的起步阶段仅有 4 个城市开通 7 条线路,总运营里程为 146 km,年均仅 4.2 km;2000—2018 年短短 18 a 的快速发展,已累计有 35 个城市开通 185 条线路,总运营里程为 5 761 km,年均达 320 km。城轨交通的快速发展带动了城镇化发展,基础设施建设对经济发展亦起到明显的拉动作用。我们要抓住城轨交通的发展机遇,夯实行业发展基础,推动城轨交通由大变强,从快速发展向高质量发展转变。在政策、人才、资金和技术带动下,走出一条建设融资、管理运营、综合开发等可持续发展

之路,推动城轨交通形成自求平衡、滚动推进、高质量发展的良性循环模式。

参考文献

[1] 宋敏华. 我国城市轨道交通发展回顾与思考[J]. 城市轨道交通研究, 2018(5):8.

[2] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于加强城市快速轨道交通建设管理的通知(国办发[2003]81号)[Z]. 北京:国务院办公厅, 2003.

(收稿日期:2018-10-25)

(上接第 82 页)

[4] 贾晓宏. 地铁车辆段运用库的工艺特点与分析[J]. 科技交流, 2011(1):116.

[5] 肖瑞金. 轨道交通全自动运行车辆段设计研究[J]. 都市快轨交通, 2018(1):58.

[6] 张雄, 李剑虹. 论地铁车辆段洗车线布置型式及能力分析[J]. 铁道工程学报, 2007, 24(6):75.

[7] 步文亮, 王洪昆, 刘光涛. 车辆段调车作业全过程自动化的研究与实现[J]. 铁道机车车辆, 2007, 27(3):44.

[8] 刘迪. 北京轨道交通燕房线(主线)工程阎村北停车场停车

列检库工艺设计[J]. 科技与创新, 2015(2):71.

[9] 中铁第四勘察设计院集团有限公司. 城市轨道交通无人自动运行运营需求规范[R]. 武汉:中铁第四勘察设计院集团有限公司, 2017.

[10] 中铁第四勘察设计院集团有限公司. 城市轨道交通无人自动运行功能需求规范[R]. 武汉:中铁第四勘察设计院集团有限公司, 2018.

(收稿日期:2018-08-03)