

基于 LTE-M 技术的城市轨道交通车地通信应用

张 衡^{1,2} 侯筱岩³ 辛 鑫^{1,2}

(1. 北京市地铁运营有限公司技术创新研究院分公司, 100044, 北京; 2. 地铁运营安全保障技术北京市重点实验室, 102208, 北京; 3. 北京市地铁运营有限公司通信信号分公司, 100082, 北京//第一作者, 高级工程师)

摘 要 针对北京地铁实际运营中出现的车地通信问题,阐述了车地通信应用现状和业务需求,选取了典型试验段设计并搭建了 LTE-M(地铁长期演进)系统,通过动态测试与分析,验证了在 10 MHz 及 20 MHz 频宽时 LTE-M 系统的基本性能和承载能力,并提出了应用建议。

关键词 城市轨道交通; 车地通信; LTE-M 技术

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.12.039

Application of Urban Rail Transit Vehicle-wayside Communication Based on LTE-M Technology

ZHANG Heng, HOU Xiaoyan, XIN Xin

Abstract Targeting the problems existing in vehicle-wayside communication in the actual operation of Beijing Metro, the application status and business requirements of vehicle-wayside communication are expounded. A typical test section is selected to design and build an LTE-M (long-term evolution metro) system. Through dynamic testing and analysis, it is verified that the basic performance and carrying capacity of the LTE-M system in the 10 MHz and 20 MHz bandwidths are presented, corresponding application suggestions are put forward.

Key words urban rail transit; vehicle-wayside communication; LTE-M technology

First-author's address Beijing Mass Transit Railway Operation Co., Ltd., 100044, Beijing, China

车地通信是城市轨道交通 CBTC(基于通信的列车控制)系统中行车信息上传与下发的重要传输桥梁,是 PIS(乘客信息系统)车载视频直播、紧急文本下发,以及 CCTV(闭路电视)和 TCMS(列车控制与管理系统)信息上传的关键环节,其移动性能、抗干扰性和传输速率等指标直接影响整个系统的传输效果。

北京市地铁运营有限公司所辖线路受建设时的技术条件限制,其车地通信在线路运营中陆续暴

露出了易受干扰、硬件易损、设备老化、覆盖距离短、切换频繁、丢包率高及传输速率局限等问题。LTE-M(地铁长期演进)技术具有抗干扰能力更强、移动性更高、稳定性更好、QoS(服务质量)更有保证的特点^[1-3];因此,逐步在郑州地铁 1 号线、深圳地铁 11 号线、杭州地铁 4 号线、武汉地铁 6 号线等线路的车地通信中得以应用。

1 车地通信业务需求

结合文献[4],北京地铁车地通信系统每列列车无线业务指标最低需求如表 1 所示。

表 1 每列列车无线业务指标最低需求

Tab.1 Minimum requirement for wireless business indicators of each train

承载业务	上行传输速率/ (Mbit/s)	下行传输速率/ (Mbit/s)	单向传输 时延/ms	丢包率/ %
CBTC 系统	0.5	0.5	<150	<1
紧急文本		0.1	<300	<1
TCMS	0.1		<300	<1
PIS		4.0	<500	<1
CCTV 系统	2.0		<500	<1

2 LTE-M 系统应用测试试验

2.1 测试环境

本研究选择北京地铁 15 号线马泉营站至孙河站下行区间为试验段(如图 1 所示),进行改造试验测试。试验段共长 3.3 km,涵盖了隧道、高架、直道、弯道等典型线路环境,具有代表意义。试验列车以正常运行速度(最高 90 km/h)通过测试区间,并进行往返动态测试,以验证 LTE-M 系统在运营线的传输性能和业务承载能力。

2.2 LTE-M 系统结构设计

LTE-M 系统由地面控制中心核心网、轨旁无线

频段,规避频段干扰;② 采取垂直极化与水平极化双漏缆,规避传统 2 根同极化漏缆覆盖时因信号相互干扰而导致的边缘信号无法实现 MIMO,以保证边缘信号的传输速率;③ 在射频馈线端增设带通滤波器,减小了杂散干扰。

3 测试结果与分析

3.1 信号覆盖率

信号覆盖率直接关系到通信系统传输性能。根据 LTE-M 需求规范,无线覆盖指标应满足在 98% 统计概率下 RSRP(参考信号接收功率)不低于 -95 dBm,SINR(信噪比)不低于 3 dB。测试结果为:RSRP 最小值为 -85 dBm,SINR 最小值为 2.6 dB;RSRP > -95 dBm 的概率为 100%,SINR > 3.0 dB 的概率高于 98%。测试结果满足 LTE-M 信号覆盖率要求。

3.2 传输性能

传输性能测试包括传输速率、传输时延、丢包率和越区切换测试。传输速率按单漏缆和双漏缆传输时不同时段配比(SA0 为 1:3,SA1 为 2:2)的传输速率分别测试,结果如表 2 及表 3 所示。

表 2 单漏缆传输速率测试

Tab.2 Single leaky cable transmission rate test								
频率/ MHz	时段 配比	上行传输速率/(Mbit/s)			下行传输速率/(Mbit/s)			
		最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	
20	SA0	19.2	29.27	29.9	12.350	23.50	25.20	
20	SA1	15.2	19.60	20.0	19.203	36.46	40.13	
10	SA0	14.6	19.90	20.4	6.080	10.04	10.54	
10	SA1	11.1	12.40	12.9	10.840	18.60	19.50	

表 3 双漏缆传输速率测试

Tab.3 Double leaky cable transmission rate test								
频率/ MHz	时段 配比	上行传输速率/(Mbit/s)			下行传输速率/(Mbit/s)			
		最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	
20	SA0	19.18	29.25	29.90	16.20	44.13	50.36	
20	SA1	16.36	19.66	19.90	27.32	67.07	79.75	
10	SA0	14.56	19.87	20.45	8.72	18.11	21.07	
10	SA1	10.97	12.41	12.87	14.64	35.50	38.90	

测试结果表明,无论是 20 MHz 还是 10 MHz 在不同时段配比下的上下行传输速率都远大于表 1 中车地通信各业务传输速率之和 7.2 Mbit/s 的最低需求。

各业务单向传输时延如图 4 所示。单向传输时延均满足表 1 中需求。

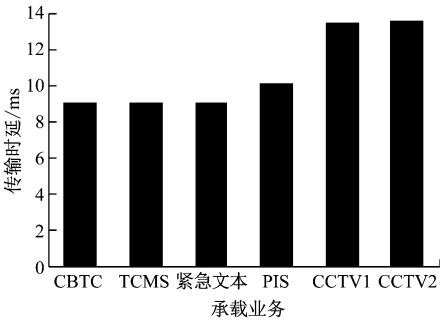


图 4 各业务单向传输时延

Fig.4 Unidirectional transmission delay of each service

在试验中共发生了 100 次以上越区切换,成功率为 100%,最大切换时延为 74.4 ms,满足 LTE-M 通信延时不超过 150 ms 的概率不小于 98%、单设备切换成功率应不小于 99.92% 的要求。

各业务丢包率均为 0,满足表 1 需求。

4 应用建议

1) 无线环境方面:地面环境具有多样性、发展性和不确定性;在工程改造设计前,需对沿线电磁环境进行扫描,为频率规划提供重要参考依据。

2) 业务需求方面:业务需求直接关系到车地通信技术的选择,因此明确业务需求,尤其是传输速率需求是技术选择的根本要求。

3) 信号覆盖方面:在工程改造实施时,做好无线网络优化,特别是在弯道区域,确保无线信号覆盖良好,杜绝传输速率下降。采用水平和垂直双极化漏缆覆盖,可缩短漏缆的安装距离,提高小区边缘传输速率。

4) 抗干扰方面:射频口建议采用优质滤波器,以减小相互之间的阻塞干扰和杂散干扰。当非轨道交通行业的 LTE 系统也分配了 1.8 GHz 频段时,还需考虑提高二者之间的空间隔离度,尽量减少干扰。在高架段的上下行区间采用共小区规划,以规避上、下行同频干扰。

5) 信息安全方面:LTE-M 系统支持高级加密标准加密算法(AES)、第三代移动通信字节流密码加密算法(SNOW 3G)和祖冲之加密算法;但是只有祖冲之加密算法是我国提出的,符合国家密码管理局的要求,应优先采用。

5 结语

本文从北京地铁运营实际情况和需求出发,设计了基于 LTE-M 技术的车地无线通信系统,并在运营线典型试验段进行了实地动态试验测试,验证了在 10 MHz 和 20 MHz 频宽时,LTE-M 系统的基本性能和承载能力,结论如下:

1) 双极化漏缆能够很好地实现 LTE-M 系统信号覆盖,且能够提高系统传输速率。

2) 满足车地通信切换时延小于 150 ms 的要求。

3) 无论是 10 MHz 还是 20 MHz 频宽在不同时隙配比下的上下行传输速率和都远大于车地通信总传输速率 7.2 Mbit/s 的最低需求。

4) 满足承载 CBTC、紧急文本、TCMS、PIS 和 CCTV 视频业务时丢包率小于 1% 和传输时延分别不大于 150 ms、300 ms、300 ms、500 ms、500 ms 的传输要求。

5) 满足列车 90 km/h 时的越区切换时延小于 150 ms 的要求。

参考文献

- [1] ZHU L, YU F R, NING B, et al. Cross-layer handoff design in MIMO-enabled WLANs for communication-based train control (CBTC) systems[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2012,30(4):719.
- [2] 赵晗. 基于 LTE(长期演进)技术的地铁乘客信息系统组网方案分析[J]. 城市轨道交通研究,2015(10):75.
ZHAO Han. Analysis of PIS networking scheme based on LTE technology[J]. Urban Mass Transit, 2015(10):75
- [3] 戴克平,张艳兵,朱力,等. 基于 LTE 的城市轨道交通车地通信综合承载系统[J]. 都市快轨交通,2016(1):69.
DAI Keping, ZHANG Yanbing, ZHU Li, et al. An integrated LTE-based urban rail train ground communication system[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2016(1):69.
- [4] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通车地综合通信系统(LTE-M)总体规范 第 1 部分:系统需求:T/CAMET 04005. 1—2018[S]. 北京:中国铁道出版社,2018.
China Association of Metros. Long term evolution for metro (LTE-M)—generic specification—part 1: system requirements: T/CAMET 04005. 1—2018[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2018.

(收稿日期:2021-01-25)

(上接第 206 页)

3 结论

1) 采用接触网+回流轨牵引供电制式的专用轨回流系统的直流接地保护方案与走行轨回流制式的接地保护方案基本一致,仅在发生正极对地短路时略有不同。通过在变电所直流负极与地之间设置接地漏电保护装置,牵引变电所直流保护方案可在直流系统发生正极对负极、正极对架空地线、正极对钢轨、正极对车辆壳体等各种短路故障时均起到选择性保护的作用。

2) 接触轨+回流轨牵引供电制式与接触网+回流轨制式的专用轨回流系统直流接地保护方案保护原理基本相同,均通过接地漏电保护装置对短路电流形成通路引起断路器动作。由于缺少走行钢轨,需对接地漏电保护装置进行改进。通过检测大地至负极的泄漏电流,并对直流馈线正负极电流差值进行综合判断,可精准切断故障回路,实现选

择性保护。

参考文献

- [1] 张云太. 城市轨道交通第四回流轨牵引供电技术[J]. 现代城市轨道交通,2011(4):8.
ZHANG Yuntai. Technology of traction power supply technology for the fourth traction return rail of transit[J]. Modern Urban Rail Transit, 2011(4):8.
- [2] 喻奇. 地铁专用轨回流牵引供电系统应用方案研究[J]. 城市轨道交通研究,2021(1):37.
YU Qi. Research on application scheme of traction power supply system with special return conductor rail for metro[J]. Urban Mass Transit, 2021(1):37.
- [3] 王晓保. 钢轨电位限制装置与框架保护关系的分析[J]. 城市轨道交通研究,2004(6):56.
WANG Xiaobao. Relation between rail over-voltage protection device and frame protection [J]. Urban Mass Transit, 2004(6):56.

(收稿日期:2022-04-13)