

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2020.05.006

城轨云化建设背景下的高速车地通信测试

刘 杰

(新华三技术有限公司, 北京 100191)

摘 要: 介绍基于无线局域网(WLAN)的车地无线技术在高速轨道交通场景中的通信性能测试项目的、测试情况以及测试结果, 测试组网采用 5 725~5 850 MHz 频段 80 MHz 频宽组网, 轨旁 AP 设备按照间距 200 m 的间隔进行部署。通过测试验证了 WLAN 技术在列车高速移动场景下的各项通信性能指标, 经过测试验证 WLAN 车地无线链路平均切换时延小于 12 ms、平均丢包率小于 0.1%、平均传输时延小于 2 ms。在 120 km/h、160 km/h 场景下车地通信速率可达到 350 Mbps 以上, 在 80 km/h 场景下车地通信速率可达到 450 Mbps 以上。本次测试可为后续市域铁路等高速轨道交通项目乘客信息系统业务承载提供参考依据。

关键词: 轨道交通; 无线局域网(WLAN); 乘客信息系统(PIS); 160 km/h; 高速; 车地无线; 性能; 云化

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2020)05-0028-05

High-Speed Train-Ground Communication Test in the Context of Metro Digital Transformation toward Cloud

LIU Jie

(H3C Technologies Co., Limited, Beijing 100191)

Abstract: This study briefly introduces the test results of the communication performance between the train-ground wireless technology based on WLAN in the high-speed rail transit scene. The test used a frequency band of 5725 MHz – 5850 MHz and adopted bandwidth of 80 MHz, and the trackside AP equipment was deployed 200 m intervals. The communication performance indexes of the WLAN technology in high-speed train moving scenarios were verified through tests. The test confirmed that the WLAN train-ground average wireless link switching delay is less than 12 ms, the average packet loss rate is less than 0.1%, and the average transmission delay is less than 2 ms, respectively. At 120 km/h and 160 km/h, the communication rate at the scene of alighting can reach above 350 mbps, and at 80 km/h, it can reach above 450 mbps. Through the test, the communication performance shows that WLAN technology is well-adapted to the high-speed train moving scene, and this research also provides a reference point for future high-speed rail transit projects.

Keywords: rail transit; WLAN; passenger information system (PIS); 160 km/h; high-speed; train-ground communication; performance; Cloud

“十三五”期间, 中国城市轨道交通(以下简称“城轨”)迎来了建设高峰期。截至 2019 年 12 月 30 日, 中国内地累计 40 个城市投运城轨交通线路 6 736.2 km。各地城轨建设范围逐步向市郊、卫星城、市域方向发

展, 以这种模式建设的城轨线路时速可达 140~160 km/h, 同时城轨建设云化趋势日益加深。参照中国城市轨道交通协会“横向到边、纵向到底”的城轨云建设思路, 乘客信息系统(passenger information system, PIS)作为重要的生产业务系统之一需要纳入到整个城轨云平台中。城轨云化建设实现了各业务系统间的数据共享, 是未来城轨智能化的前提。对于城轨车地无线通信系统来说则要求其能够在高速移动场

收稿日期: 2020-01-02 修回日期: 2020-05-22

作者简介: 刘杰, 男, 本科, 工程师, 主要从事城轨车地通信技术及工程实施的研究, liujie@h3c.com

景下实现大数据量的传输,同时由于 PIS 主要传输视频数据,还要求车地无线通信系统的传输时延及丢包率满足视频传输的需求。

1 云化环境下车地无线业务承载需求

随着城轨数据中心及业务云化转型的推进,COCC(运营协调与应急指挥中心)及 PCC(乘客信息系统编播中心)的建设在全国各地愈发兴起,COCC 内通过设置线网级别视频分析平台,综合处理全网、全线、全车的视频图像,提升智慧运营管理水平,全车视频流量上传需求日益明显;PCC 通过线网总中心整体推送组播媒体流量,同样对车地无线传输带宽及链路质量提出新的挑战。

乘客信息系统(PIS)是依托多媒体网络技术,以计算机系统为核心,以车站和车载显示终端为媒介向乘客提供信息服务的系统。PIS 在正常情况下,提供乘车须知、服务时间、列车到发时间、列车时刻表、管理者公告、政府公告、出行参考、股票信息、媒体新闻、赛事直播、广告等实时动态的多媒体信息;在火灾、故障及恐怖袭击等非正常情况下,提供动态紧急疏散提示^[1]。PIS 直接面向乘客,与乘客的乘坐体验密切相关,是城轨实现智能化、智慧化的重要组成部分。在实时数据流的情况下,目前城市轨道交通 PIS 中,

车地无线数据通信网承载的上层业务主要包括数字图像信息、列车紧急疏散信息、列车预告信息,同时需要将车载 CCTV 监控视频传输到控制中心^[2]。其中数据量最大的业务就是数字图像信息,当前普遍要求图像清晰度达到 1 080 P 甚至 2 K、4 K,如果传输图像采用 H.264 编码方式,则传输一路图像速率为 6~8 Mbps,采用 H.265 编码方式则需传输速率为 3~5 Mbps。车载 CCTV 监控主要由车厢内的监控摄像机、列车前后隧道监控摄像机、受电弓监测摄像机组成。单列车摄像机部署数量普遍在 20~30 台,个别线路单列车摄像机部署数量可达 80 台。在忽略网络开销和带宽预留的情况下,每列车至少产生 200 Mbps 应用层码流。因此,车地无线通信系统在保证传输时延及丢包率满足车地无线通信要求的前提下至少提供 200 Mbps 的应用层传输带宽。

2 车地无线通信技术分析

目前,应用最广泛的城轨 PIS 车地无线通信技术就是基于 IEEE 802.11 的无线局域网技术。

2.1 基于 IEEE 802.11 系列的无线局域网

基于 IEEE 802.11 系列的无线通信系统,也称无线局域网(WLAN)。目前应用于 PIS 主要是 IEEE 802.11ac 标准。WLAN 方案主要技术参数及应用比较如表 1 所示。

表 1 WLAN 方案主要技术参数及应用比较

Tab. 1 Key technical parameters and scenarios of WLAN technology

名称	802.11 a	802.11 b	802.11 g	802.11 n	802.11 ac	802.11 ax
标准发布时间	1999 年 9 月	1999 年 9 月	2003 年 6 月	2009 年 9 月	2012 年 2 月	2019 年
频率/GHz	5.8	2.4	2.4	2.4/5.1/5.8	5.1/5.8	2.4/5.1/5.8
最高速率/(Mbps)	54	11	54	600	6 933.3	9 607.8
承载业务	PIS/CCTV/CBTC	CBTC	PIS/CCTV/CBTC	PIS/CCTV/CBTC	PIS/CCTV/CBTC	PIS/CCTV/CBTC
可用信道数	较多	少	少	多	较多	多

目前行业内性能最好的 IEEE802.11 ac 无线接入点产品可支持 80 MHz 频宽,在采用 4×4 MIMO 的模式下,在普速线路(时速 80 km/h)可提供 400 Mbps 以上的无线接入速率。按照每路数字视频数据 5 Mbps 码流来计算至少可同时上传 80 路视频数据流,可以满足当前车地通信数字视频的传输需求。

2.2 IEEE802.11ac 的快速切换

快速切换是 WLAN 在地铁隧道覆盖应用遇到的技术难题之一,传统 WLAN 的 AP 间切换时间在 1~2 s 以内,无法满足高速地铁列车的 WLAN 切换应用。针对轨道交通的应用特点,结合全互联(Mesh)网络和

快速切换技术,可以实现列车移动过程中的活跃链路切换,并保证报文不丢失。列车在行进过程中,车载无线天线不停地扫描新的轨旁设备,并选择信号质量最好的 2 个轨旁设备信号与之建立一主一备的全互联(Mesh)连接。主通道连接用于车载天线与轨旁有线网络之间的数据传输,从通道连接用于主通道连接的切换备份,当主通道出现干扰或突然衰落时,从通道能够立刻接管主通道的数据连接,从而确保列车在行进过程中车载设备与轨旁设备的链路无缝切换,业务流量连续不中断。在 MESH 组网模式下车头、车尾的切换模型不同,车尾方向切换效果略好于车头方向。

在实际线路中车头 AP 与车尾 AP 大多采用主备的工作模式,且主用车尾方向车载 AP 与地面进行数据通信^[2]。

2.3 产品特性可适应轨道交通使用环境

城市轨道交通环境特殊,轨旁环境和车载环境对于无线网络设备的安装部署都有不同要求。无线网络设备要求具备简便安装部署的特性。对于轨旁设备要求支持 220 V AC 供电且支持光纤接口用于数据传输,对于设备的防护等级要求其可实现对隧道环境粉尘、水的防护,也可通过加装防护箱满足防护要求。对于车载设备要求支持 110 V DC 供电,网络接口采用抗震防松脱的 M12 接口,满足车辆的机架安装方式。对于轨旁 AP 的部署间隔,考虑到无委会对于发射功率的限制以及轨道交通场景冗余覆盖的需求,通常按 150 m(直线段)间隔来进行部署。弯道区间根据其曲线半径适当缩短部署间隔。车地无线设备的部署效果和调试优化会直接影响车地通信性能,目前普遍都以人工调试为主。未来可引入自动化的运维工具实时了解无线网络性能,进一步提高车地通信网络的安全性。

3 WLAN 车地无线通信技术在高速移动环境下的测试

2019 年 6 月,新华三技术有限公司在全国范围内率先完成了基于 WLAN 的车地无线技术在高速轨道交通场景的通信性能测试。本次测试的试验场地为铁道科学研究院国家铁道试验中心。国家铁道实验中心是全国唯一的综合性科研试验基地,具备 47 km 试验线路、车机工电辆等专业,具备性能试验、可靠性验证、检测认证等能力。本次试验搭建了与实际运营环境一致的场景,开展实车实线试验。测试 120 km/h 及 160 km/h 高速移动环境下的车地无线性能,包括车头、车尾不同方向的切换时延、丢包率、吞吐量以及 80 km/h 速度级吞吐量性能极限测试。

3.1 测试目标

通过前期的理论评估,WLAN 技术结合合理的切换协议是可以在列车高速行驶的场景下构建一套大带宽、低时延的车地通信网络。组织本次测试目的就是在尽量贴合实际应用场景的情况下验证 WLAN 的车地通信性能,主要验证在列车以 120 km/h 及 160 km/h 高速移动的场景下,WLAN 车地无线通信网络的切换时延、丢包率、通信速率是否可以满足当前城轨 PIS 对车地无线通信网络的需求,为后续线路建设提供重

要的参考依据。

3.2 测试组网

在设备站部署以太网交换机,以太网交换机通过光纤组成千兆以太网,并通过光纤连接部署在轨旁的 AP。无线控制器 AC 和地面测试 PC 通过以太网口连接其中一台以太网接入交换机。轨旁 AP 统一安装在轨道外侧,每台轨旁 AP 连接 2 根板状天线,天线分别朝向轨道的前方和后方。两套车载 AP 和外置板状天线部署在列车上,测试时需根据需要分别模拟车头 AP 和车尾 AP。车头 AP 及车尾 AP 互为主备,即同时只有一台车载 AP 设备与地面进行无线通信。轨旁及车载设备组网如图 1、2 所示。

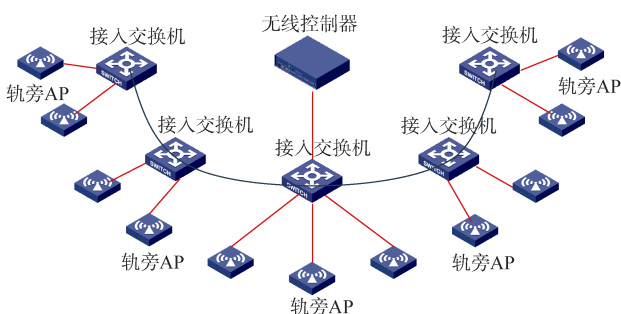


图1 地面测试组网拓扑

Fig. 1 The topology of test environment on the ground

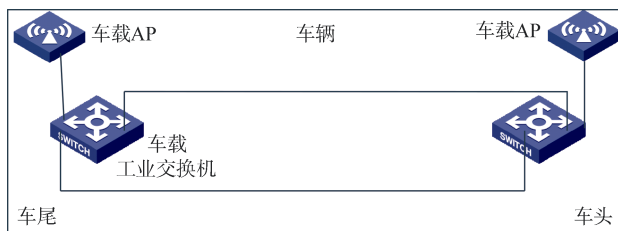


图2 车载测试组网拓扑

Fig. 2 The topology of test environment vehicle-mounted

3.3 频率规划

本次WLAN车地无线通信测试采用5.8 GHz频段,具体工作频率为5 725~5 850 MHz采用同频组网。

3.4 测试方案

3.4.1 车地无线链路切换测试

列车分别以时速 120 km/h、160 km/h 正常运行,每 1 s 读一次车载 AP 关联的主链路轨旁 AP 的 MAC 地址。使用测试仪从列车向地面以 1 ms 间隔发送报文,在 AC 侧使用 Wirshark 开启有线抓包,通过测试软件记录切换时间的时间戳,在抓包文件中找到对应的时间点,根据测试记录分析接收端切换的时间,计算切换延时的。

3.4.2 车地无线系统有背景流量下的链路切换测试

列车分别以时速 120 km/h、160 km/h 正常运行，每 1 s 读一次车载 AP 关联的主链路轨旁 AP 的 MAC 地址。增加 8 Mbps 背景流量，使用测试仪从列车向地面以 1 ms 间隔发送报文，在 AC 侧使用 Wirshark 开启有线抓包，通过测试软件记录切换时间的时间戳，在抓包文件中找到对应的时间点，根据测试记录分析接收端切换的时间，计算切换延时。

3.4.3 车地无线传输丢包、时延测试

列车分别以时速 120 km/h、160 km/h 运行，调整 PC 的时间与车载 AP 时间相同，以方便对应分析链路切换测试记录，在车载 AP 下直连的 PC 和地面 AC 端 PC 上运行无线性能测试软件，记录全程丢包、时延参数，保存全程测试文件进行数据整理，分析全程丢包时间点与车地无线链路切换时间的关系。

3.4.4 车地无线系统有背景流量下的丢包、时延测试

列车分别以时速 120 km/h、160 km/h 运行，调整 PC 的时间与车载 AP 时间相同，以方便对应分析链路切换测试记录，增加 8 Mbps 背景流量，在车载 AP 下直连的 PC 和地面 AC 端 PC 上运行无线性能测试软件，记录全程丢包、时延参数，保存全程测试文件进行数据整理，分析全程丢包时间点与车地无线链路切换时间的关系。

3.4.5 车地无线系统有效传输带宽测试

列车分别以时速 80 km/h、120 km/h、160 km/h 运行，在车载 AP 直连的 PC 及地面 AC 端 PC 上分别运行流量测试工具软件 IxChariot，一边作为客户端一边作为服务器，利用软件测试车地无线有效传输的平均带宽等信息。

3.5 测试结果与分析

3.5.1 车地无线链路切换测试

通过表 2 可看出，在车尾方向 120 km/h 及 160 km/h 速度环境下，在有背景流量和无背景流量时平均切换时延均小于 12 ms。

表 2 切换时延
Tab. 2 Handoff delay

速度/(km/h)	场景	平均切换时延/ms
120	未加载背景流量	2.5
	加载 8 Mbps 背景流量	9.4
160	未加载背景流量	11.1
	加载 8 Mbps 背景流量	9.3

3.5.2 车地无线系统传输丢包、时延测试

从表 3、表 4 的测试结果来看，在列车以 120 km/h 及 160 km/h 的速度移动时，其丢包率相对于普速线路并没有显著提高，平均传输时延也均没有超过 2 ms。通信性能指标可以满足 PIS 无线通信需求。

表 3 丢包率(无背景流量)

Tab. 3 Packet loss rate

速度/(km/h)	平均丢包率/%
120	0.000
160	0.000

表 4 传输时延(无背景流量)

Tab. 4 Transition delay

速度/(km/h)	时延平均值/ms
120	1.8
160	1.7

3.5.3 有背景流量车地无线系统传输丢包、时延测试

从表 5、表 6 的测试结果来看，添加 8 Mbps 背景流量后，在列车以 120 km/h 及 160 km/h 的速度移动时，其丢包率相对于普速线路并没有显著提高，平均丢包率均小于 0.1%，平均传输时延也均没有超过 2 ms，通信性能指标可以满足 PIS 无线通信需求。

表 5 丢包率(添加 8 Mbps/s 背景流量)

Tab. 5 Packet loss rate

速度/(km/h)	平均丢包率/%
120	0.080
160	0.042

表 6 传输时延(添加 8 Mbps/s 背景流量)

Tab. 6 Transition delay

速度/(km/h)	时延平均值/ms
120	1.9
160	1.7

3.5.4 车地无线有效传输带宽测试

从图 3~图 5 的测试结果来看，车地通信的传输速率在 120 km/h 及 160 km/h 时车地通信速率都可以达到 350 Mbps，且并没有因为速度的增加而降低。但在 80 km/h 时通信速率有显著增加，可达到 480 Mbps。就目前常见的业务系统高需求来说，在高速移动场景下 WLAN 车地无线通信系统仍能满足数字视频数据的传输。

1) 80 km/h 速度，10 流吞吐量测试结果如图 3 所

示。图3中最后拖尾部分为无线覆盖的边缘区,统计结果时删除。

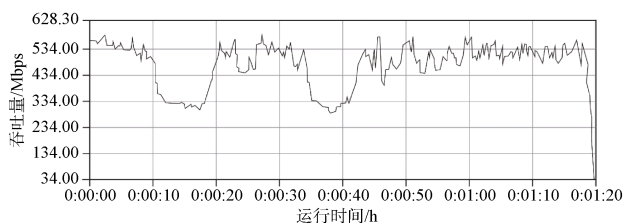


图3 80 km/h速度, 10流吞吐量测试结果

Fig. 3 Output performance under 80 km/h

2) 120 km/h速度, 10流吞吐量测试结果如图4所示。图4中最后拖尾部分为无线覆盖的边缘区,统计结果时删除。

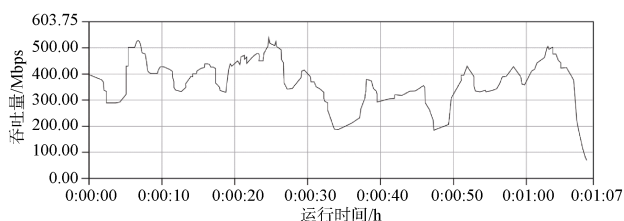


图4 120 km/h速度, 10流吞吐量测试结果

Fig. 4 Output performance under 120 km/h

3) 160 km/h速度, 10流吞吐量测试结果如图5所示。图5中最后拖尾部分为无线覆盖的边缘区,统计结果时删除。

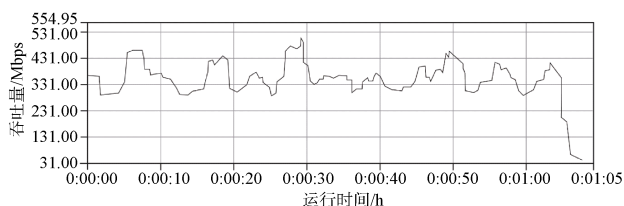


图5 160 km/h速度, 10流吞吐量测试结果

Fig. 5 Output performance under 160 km/h

4 结论

通过本次高速移动环境下的 WLAN 车地通信性能测试可以得到以下结论:

1) 在列车高速移动场景下丢包率和传输时延并没有明显劣化的表现。可见列车高速移动时车载 AP 与轨旁 AP 的链路切换良好, 平均丢包率可控制在 0.1% 以下。端到端传输时延可控制在 2 ms 以内, 完全可满足 PIS 车地通信需求。

2) 车速在 80 km/h 和 120 km/h 及 160 km/h 时车地通信速率有明显变化, 但车辆时速从 120 km/h 提升到 160 km/h 时车地通信速率并无明显变化。在 160 km/h 及 120 km/h 时车地通信速率可达到 350 Mbps, 完全可满足车载 PIS 视频的下发和全车 CCTV 摄像机的视频实时上传。80 km/h 时车地通信速率还有显著提高可满足未来各项新业务对车地通信的要求。

城轨云化建设的大趋势下数据和资源的整合成为可能, 同时也为城轨智能化提供了基础平台。未来智慧化的城轨系统对于车地通信的速率也会有更高的要求。市域铁路线的建设模式也要求车地通信系统能够适应高速移动的环境。WLAN 技术凭借其优异的传输速率和高速适应性完全满足未来车地通信建设的通信性能需求, 同时 WLAN 技术仍然具备较大的性价比优势, 可更好地降低城轨建设的初期投资。

参考文献

- [1] 陈嘉. 城轨列车乘客信息系统标准化研究[J]. 中国质量与标准导报, 2019(11): 40-43.
Research on Standardization of Passenger Information System of Urban Rail Train Chen Jia (Technology Center, Shanghai Shentong Metro Co. Ltd.)
- [2] 张亦然. 城市轨道交通 PIS 系统车地无线数据传输技术[J]. 信息化研究, 2014, 40(5): 10-12.

(编辑: 王艳菊)

南京地铁 AED 实现全覆盖

随着宁高城际团结圩地铁站自动体外除颤器(AED)安装完毕, 在今年6月份启动的地铁站点第二批共134台AED的投放全部结束。加上去年设置在南京地铁换乘站和客流量较大站点的35台, 169台的总量不仅让南京地铁实现“救命神器”AED的全覆盖, 保证每个车站至少有一台的水平, 也成为长三角城市中的第一例。

对于突发心脏骤停的市民而言, 一台自动体外除颤器可以说是最有效的“救命神器”。只要在合适的条件下, 正确使用AED对患者进行除颤和心肺复苏, 可以在黄金4min内挽救生命, 这也是目前最有效制止猝死的方法。去年, 南京市红十字会首批购买了100台AED, 其中的35台设置在南京地铁换乘站和客流量大的站点。今年4月30日, 苜蓿园地铁站附近一健身馆内一名女子出现心脏骤停, 健身馆教练、地铁站值班站长、值班警员等接连对女子进行心肺复苏, 并使用地铁站设置的AED对女子进行电除颤, 成功救人。

摘编自 <https://www.camet.org.cn/2020-09-01>