

上海城市轨道交通无线局域网干扰测试分析

吴英杰 朱 俊

(上海地铁维护保障有限公司通号分公司, 200235, 上海//第一作者, 助理工程师)

摘 要 介绍了既有 CBTC(基于通信的列车控制)系统中 2.4 GHz DCS(数据通信子系统)的概况,以及 5G 频段 Wi-Fi(无线保真)产品在城市轨道交通中的应用背景。阐述了 5G 频段 Wi-Fi 产品应用对城市轨道交通 2.4 GHz 无线通信可能造成的影响及危害。利用已有的 5G 频段 Wi-Fi 产品,对既有 CBTC 系统 2.4 GHz 无线信号设备进行现场干扰测试分析。测试结果表明:上海城市轨道交通现有的 5G 频段 Wi-Fi 产品对 2.4 GHz 无线通信不会产生任何干扰和影响。

关键词 城市轨道交通; 基于通信的列车控制; 通信数据子系统; 干扰分析

中图分类号 U231.7
DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.11.031

Interference Test Analysis of Shanghai Urban Rail Transit Wireless LAN

WU Yingjie, ZHU Jun

Abstract The general situation of 2.4 GHz DCS (data communication subsystem) in the existing CBTC (communication-based train control) system, and the application background of 5 GHz frequency band Wi-Fi products in urban rail transit are introduced. The possible impact and harm of 5 GHz frequency band Wi-Fi product application on urban rail transit 2.4 GHz wireless communication are expounded. The existing 5 GHz frequency band Wi-Fi products are used to test and analyze the field interference with the 2.4 GHz wireless signaling equipment of the existing CBTC system. The test results show that the existing 5 GHz frequency band Wi-Fi products of Shanghai urban rail transit will not have any interference or impact on 2.4 GHz wireless communication.

Key words urban rail transit; CBTC; DCS; interference analysis

Author's address Telecom & Signaling Branch, Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., 200235, Shanghai, China

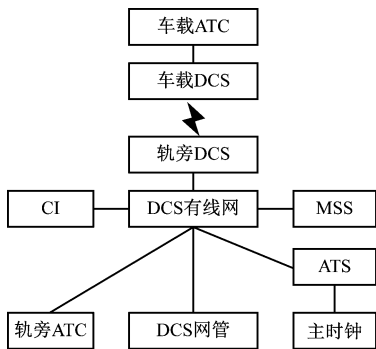
基于 5 GHz 频段的 Wi-Fi(无线保真)产品在城市轨道交通各专业的应用越来越多。既有 CBTC(基于通信的列车控制)系统各种应用数据间的通信是由 DCS(数据通信子系统)负责的。其中,车载

与轨旁设备间的连接采用自由无线方式建立,该无线传输技术运行在 IEEE 802.11 g 协议标准的 2.4 GHz 频段。据不完全统计,在北京地铁、上海城市轨道交通、南京地铁、深圳地铁的部分线路中,DCS 的工作频段均为 2.4 GHz。为了确保 DCS 通信正常,本文对现有的 5 GHz 频段 Wi-Fi 产品进行现场测试,并分析城市轨道交通其他专业的 5 GHz 频段 Wi-Fi 产品是否会对 DCS 的正常运作造成影响。

1 Wi-Fi 干扰测试的背景分析

1.1 DCS 介绍

DCS 作为 CBTC 系统的一部分,为 ATS(列车自动监控)、CI(计算机联锁)、MSS(维护支持系统)、ATC(列车自动控制)等的应用提供 2 套完全冗余的通信通道,以实现各子系统设备之间端到端的连续冗余通信。如图 1 所示,DCS 分为 3 部分:有线部分、无线部分和网管部分。其中,无线部分位于列车和轨旁,用于实现车载和轨旁设备的数据通信。



注: ATC——列车自动控制。

图 1 DCS 的组成结构示意图

Fig. 1 Diagram of DCS composition and structure

DCS 无线通信协议遵循 IEEE 802.11g 标准,物理层运行工作频段为 2.4 GHz。为减少其他系统对 DCS 无线通信的干扰,DCS 采用了 2 条独立的通信通道作为其冗余原则。这 2 条信道频的频点分别为

2 477 MHz 和 2 417 MHz,并分别命名为红网、蓝网。

1.2 5 GHz 频段 Wi-Fi 产品在城市轨道交通行业应用的背景介绍

2016 年 11 月 29 日,国务院印发了《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》,对城市轨道交通行业提出了明确的要求。其中,在设备上的要求主要包括:要强化轨道交通装备的领先地位;突破产业关键零部件及绿色智能化集成技术;进一步研发列车牵引制动系统、列车网络控制系统、通信信号系统、电传动系统、智能化系统、车钩缓冲系统、储能与节能系统、高速轮对、高性能转向架、齿轮箱、轴承、轻量化车体等关键系统和零部件,形成轨道交通装备完整产业链;加强永磁电机驱动、全自动运行、基于 4G(第 4 代移动通信技术)的无线综合承载等技术研发和产业化;等等。由此,各种基于 5 GHz 频段的 Wi-Fi 产品应运而生。

2 5 GHz 频段 Wi-Fi 产品的应用对城市轨道交通 CBTC 2.4 GHz 无线通信的影响

无线传播是指无线电波在自由空间的传播方式,存在传输质量不稳定、信号容易受干扰、保密性差和易被截获等缺点。既有 DCS 无线通信负责轨旁设备与车载的数据通信,在 2.4 GHz 频段上的传输功率为 24 dBm,接收器的敏感度为 -90 dBm(速率为 6 Mbit/s)。而城市轨道交通在用的 5 GHz 频段 Wi-Fi 产品的使用频段为 5.150 ~ 5.350 GHz、5.725 ~ 5.850 GHz。从理论角度来看,根据傅里叶级数推断,这 2 个不同频率的函数是正交的,基本可以排除对 CBTC 系统 2.4 GHz 频段造成的干扰。下文通过现场实际测试来验证这一推断。

3 CBTC 系统 2.4 GHz 无线通信干扰测试

根据中国交通运输协会 2013[10]号《城市轨道交通 CBTC 信号系统行业技术规范—需求规范》以及信号合同中的要求,CBTC 车地无线通信性能须满足丢包率小于 1%,以及车地有线-无线传输延时

小于 150 ms 的要求。因此,本次 Wi-Fi 干扰测试以这 2 项指标作为测试项,对城市轨道交通 MMIS(移动互联网系统)项目中 5 GHz 频段信号对既有 CBTC 无线通信产生的干扰进行测试。

3.1 测试准备

在实施该无线干扰测试前,需要进行的准备工作有:

- 1) 选择 1 列完成了 MMIS 项目及 CBTC 车载无线设备调试的测试列车。
- 2) 车库内 MMIS 项目及 CBTC 轨旁 AP(接入点)设备均按要求安装调试完毕。
- 3) 为模拟最恶劣的测试环境,车库内除测试股道外,其余股道均停满了车辆。

3.2 MMIS 项目数据参数

- 1) 典型数据传输速率:200 Mbit/s(5 GHz 频段时)。
- 2) 理论最大数据传输速率:867 Mbit/s(5 GHz 频段时)。
- 3) 输出功率:以现场调试优化后的数值为准。
- 4) 最大数据输出功率:27 dBm(5 GHz 频段时)。
- 5) 无线工作频段:5.150 ~ 5.350 GHz、5.725 ~ 5.850 GHz。
- 6) 无线通信协议标准:IEEE 802.11n。

3.3 测试步骤及结果

如图 2 所示,在停车库内选取 MMIS 项目和 CBTC 设备直线安装距离最远的 1 条停车列检线,其股道的 A 端和 B 端在同一直线上,分别可以放置 1 列电客列车。首先将测试列车停放在靠近停车库库门的股道 A 端进行测试;测试完成后再通过调车作业,将测试列车调至离库门较远的股道 B 端进行测试。测试全过程使用同 1 列车,以避免不同列车工况不同而造成参数差异。由现场验证是否满足 DCS 的无线通信需求:时延小于 150 ms;丢包率小于 1%。

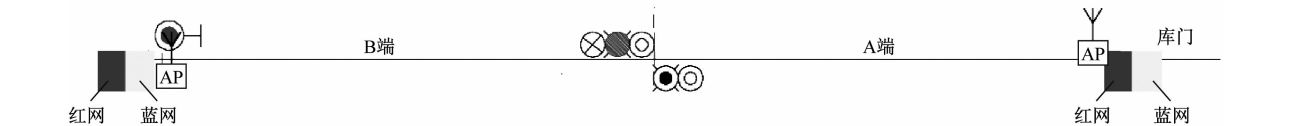


图 2 调试股道示意图
Fig. 2 Schematic diagram of track debugging

3.3.1 基准测试

在 5 GHz 频段 Wi-Fi 无线设备断电条件下,测试列车在股道 A 端和 B 端 DCS 车地通信的端到端性能,测试时间为 10 min。此测试的目的在于给出 CBTC 无线通信的基准通信性能。在股道 B 端列车静止状态的情况下,得到的测试结果为:在 2.4 ~ 2.5 Ghz 频段内扫频 2 417 MHz、2 427 MHz、2 467 MHz、2 477 MHz 等 4 个频点,测试得到的功率分别为 - 88 dBm、- 87.5 dBm、- 86.5 dBm、- 88.6 dBm;红网的丢包率为 0.024%,车地通信延时为 53 ms;蓝网的丢包率为 0.036%,车地通信延时为 53 ms。基准测试的项目均符合要求。

3.3.2 干扰测试项目 1

将 5 GHz 频段 Wi-Fi 设备上电,同时 5 GHz 频段 Wi-Fi 无线设备以典型数据传输速率进行车地无线业务传输。如图 5 所示,在 2.4 ~ 2.5 Ghz 频段内扫频 2 417 MHz、2 427 MHz、2 467 MHz、2 477 MHz 等 4 个频点,得到的测试功率分别为 - 85.2 dBm、

- 77.3 dBm、- 70.2 dBm、- 79.5 dBm。

然后,列车在股道 A 端进行 CBTC 端到端测试,测试时间为 15 min。测试结果为:红网的丢包率为 0.021%,车地通信延时为 14 ms;蓝网的丢包率为 0.023%,车地通信延时为 15 ms。测试结果符合要求。

3.3.3 干扰测试项目 2

将 5 GHz Wi-Fi 设备上电,同时 5 GHz 频段 Wi-Fi 设备按典型数据传输速率进行车地无线业务传输。然后列车在股道 B 端进行 CBTC 的端到端测试,测试时间为 15 min。测试结果为:红网的丢包率为 0.036%,车地通信延时为 55 ms;蓝网的丢包率为 0.010%,车地通信延时为 16 ms。测试结果符合要求。

3.4 测试结果分析

将正线上使用频点的测试结果进行汇总,如表 1 所示。由表 1 可知,各测试结果的时延均小于 150 ms,丢包率均小于 1%,现场测试结果满足 DCS 无线通信需求。

表 1 Wi-Fi 干扰测试结果汇总
Tab.1 Summary of Wi-Fi interference test results

测试股道	测试频点	时延对比/ms		丢包率对比/%		最大连续丢包个数对比/个	
		最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
股道 A 端	红网(2 477 MHz)	88	55	0.836	0.110	8	4
	蓝网(2 417 MHz)	75	40	0.808	0.229	2	2
股道 B 端	红网(2 477 MHz)	53	13	0.022	0.042	1	1
	蓝网(2 417 MHz)	18	15	0.008	0.010	1	1

注:最大连续丢包个数是指连续未能到达其预期目标的数据量(数据包)的个数。

4 结语

本文的 Wi-Fi 干扰测试,仅仅针对城市轨道交通内部其他专业对信号专业的干扰进行了测试。与上文的无线测试环境相比,城市轨道交通线路沿线的实际无线环境更为复杂。特别是高架线路区段所处环境更为开放,所受到的干扰更多。随着无线技术的发展,将来会有更多的新型无线技术应用于城市轨道交通领域。对于如何进一步降低外界环境对 DCS 无线通信的干扰,本文建议如下:① 增加外部网络环境的监控,最好能做到实时监测,监测时若发现所处环境电波干扰超出平时正常参数,应及时预警;② 优化设备内部参数,进一步提高设备的滤波效率和抗干扰能力,进而降低通信丢包率与延时,以保障城市轨道交通的正常运营。

参考文献

[1] 国务院. 国务院关于印发“十三五”国家战略性新兴产业发展规划的通知:国发〔2016〕67 号〔Z/OL〕. 2016-12-19〔2021-03-02〕. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/19/content_5150090.htm.
State Council of the People's Republic of China. Notice of the State Council on issuing guideline on emerging sectors of strategic importance during the 13th Five-Year Plan; GF〔2016〕No. 67〔Z/OL〕. 2016-12-19〔2021-03-02〕. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/19/content_5150090.htm.
[2] 卡斯柯信号有限公司. 上海地铁 12 号线信号系统 DCS 规格书技术资料:A510089/371/V1.5.0〔R〕. 上海:卡斯柯信号有限公司,2012.
Casco Signal Ltd. Shanghai line 12 signalling DCS subsystem design specification ref: A510089/371/V1.5.0〔R〕. Shanghai: CASCO Signal Ltd., 2012.

(收稿日期:2021-04-27)