

城市轨道交通全自动运行模式下的车地无线 综合通信网络方案分析

刘 洋

(中铁第四勘察设计院集团有限公司通信信号设计研究处, 430063, 武汉//工程师)

摘 要 针对城市轨道交通全自动运行模式下的车地无线通信需求,对 LTE(长期演进)技术的承载能力和频率规划方案进行了分析,发现 LTE 技术传输带宽受限,需要建立备用的无线通信传输通道。提出了一种适用于城市轨道交通全自动运行线路的 LTE+WLAN(无线局域网)的综合车地无线通信网络方案,利用 LTE A/B 双网系统设备进行车地无线通信安全类和非安全类业务的综合承载。WLAN 作为 TCMS(列车监控管理系统)、车载 CCTV(闭路电视)、车载 PIS(乘客信息系统)的备用传输通道,可满足车地无线通信业务的带宽需求和可靠性需求,并保障城市轨道交通运营安全。

关键词 城市轨道交通;全自动运行系统;车地无线通信

中图分类号 U239.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.12.006

Analysis of Train/Ground Wireless Communication Under Full Automatic Operation Mode of Urban Rail Transit

LIU Yang

Abstract Aiming at the train/ground wireless communication demands under full automatic operation mode of urban rail transit, the technology capacity and frequency planning of LTE (long term evolution) are analyzed. Due to the limitation of LTE system transmission bandwidth, the establishment of a standby wireless communication transmission channel is urgently needed. In this paper, an integrated LTE+WLAN scheme of train/ground communication network applicable to the full automatic operation of urban rail transit is proposed, which uses LTE A/B double network equipment to integrate the comprehensive bearing of security and non-security business of train/ground wireless communication. Being the standby transmission channel of TIMS (train integrate management system), on-board CCTV (closed-circuit television) and PIS (passenger information system), WLAN could meet the requirements of wireless communication bandwidth and reliability, ensure the safety operation of rail transit.

Key words urban rail transit; full automatic operation; train/ground communication

Author's address Communication & Signal Design & Research Department, China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 430063, Wuhan, China

目前,我国城市轨道交通车地无线通信传输技术主要以 WLAN(无线局域网)技术为主,且已有较多成功的案例,其在经济性、宽带性等方面具有一定的优势^[1-2]。但 WLAN 技术固有的局限性限制了城市轨道交通车地无线通信技术的进一步发展,主要体现在:

1) 抗干扰能力差。WLAN 技术的工作频段为开放的 2.4 GHz 频段。近年来,乘客 WIFI(无线网络)大功率设备应用逐渐增多,容易对地铁车地无线通信传输造成干扰,严重影响列车运行安全性。

2) 覆盖距离短、越区切换多、维护不便。WLAN 天线覆盖范围较小,需约 200 m 左右布设一个天线,导致区间内无线有源设备数量多,造成维护困难。

3) 服务质量无法保证。由于车地无线通信业务较多,WLAN 无法实现多业务并发时的按优先级调度,造成各系统相互争抢通信资源,这样可能会影响关键安全业务信息的交互。

为提高车地无线通信网络的可靠性,保证列车运行安全,各大城市开展了 LTE(长期演进)技术承载车地无线通信业务的研究。LTE 是 3GPP(第三代合作伙伴计划)制定的全球通用标准,采用了 OFDM(正交频分复用)、MIMO(多输入多输出)、HARQ(混合自动重传请求)等先进技术,有效地提高了数据传输速率和频谱效率等^[3]。LTE 工作在非开放性的 1.8 GHz(1 785~1 805 MHz)频段,且其采用小区间干扰协调技术(ICIC)和干扰抑制合并技术(IRC)减小干扰,大大提高了抗干扰能力。其

次,LTE 区间设备覆盖范围达 1.2 km,大大减少了越区切换次数和设备维护量。另外,LTE 技术还能通过预先定义的承载业务类型实现优先级调度和资源分配,为保证生产安全类业务提供了很大的便利。

目前,LTE 综合承载车地无线通信业务已有成功应用,如北京燕房线全自动驾驶线路^[4]、南京宁高线等。但需指出,LTE 虽为非开放频段,但却为交通、电力、石油等行业共用(参见工信部无[2015]65 号文),因此很多城市难以申请到 20 MHz。另外,通过运营场景分析发现,全自动运行模式比常规运行模式下城市轨道交通线路的车地无线通信业务^[5],如列车运行控制信息、车辆运行状态监测量、新增行车路况监视和乘客紧急呼叫视频等均有所增加,因此 LTE 技术在传输带宽方面可能受限。由此可以看出,LTE 技术虽然可靠性和抗干扰能力较强,但在系统带宽能力方面存在着不足;WLAN 技术虽然抗干扰能力弱,但在经济性和宽带性方面具备一定的优势。

综上所述,针对城市轨道交通全自动运行模式下的车地无线通信网络建设需要,对车地无线通信网络方案进行了分析研究,提出合理可行的车地无线通信网络组网方案,可为城市轨道交通全自动运行线路的车地无线通信网络建设方案提供参考。

1 全自动运行模式下的车地无线通信需求分析及业务承载方案

2.1 车地无线通信业务信息

2.1.1 基于通信的列车控制业务

基于通信的列车控制(CBTC)业务用于传输全自动运行模式下的实时数据,从而对列车运行状态进行监督、控制和调整。此应用需求属于生产安全信息业务,且通常需要采用独立的双网冗余通信信道。

2.1.2 乘客信息系统紧急文本业务

乘客信息系统(PIS)紧急文本业务一般由播控中心下发,通过地面 PIS 服务器传输至车载 PIS 终端,用于通知乘客列车运营信息或其他紧急信息。此业务属于生产安全信息业务。

2.1.3 车辆运行状态监测业务

列车监控管理系统(TCMS)通过传感器采集车辆关键设备系统信息并上传至地面监测中心,保障车辆运行期间的正常运转。此业务属于生产安全

信息业务。

2.1.4 车载闭路电视业务

车载闭路电视(CCTV)业务是将车厢内、车载乘客紧急呼叫处的行车路况监视图像信息传输至地面控制中心进行集中监控。其中,车载乘客紧急呼叫一般通过车载紧急呼叫事件触发,相应的视频图像自动上传至控制中心监视工作站;车载视频监控图像通常由车载本地存储,且可由中央操作员实时任意调看(一路或多路图像)。车载乘客紧急呼叫和行车路况监视均属于生产安全信息业务。

2.1.5 车载 PIS 业务

车载 PIS 业务是通过地面服务器将视频图像信息传输至车厢内进行播放,此业务属于非生产安全信息业务。

2.2 车地无线通信业务带宽需求

通过以上对于车地无线通信业务的需求分析,参考目前实际带宽应用情况,汇总全自动运行模式下的车地无线通信业务带宽需求,如表 1 所示。

表 1 车地无线通信业务带宽需求

项目		带宽需求/(Mbit/s)	
		下行线路	上行线路
安全 生产类 业务	CBTC	2.00	2
	PIS 紧急文本	0.04	
	车辆运行状态监测		8
	乘客紧急呼叫视频		2
非安全 生产类 业务	轨道路况监视图像		2
	车载 PIS	6.00	
	车载视频监控图像		16
	合计	8.04	30

注:极限情况下每小区按 4 列列车进行考虑;CBTC、PIS 紧急文本及车辆运行状态监测为冗余双网传输;CBTC 中每列列车带宽为 512 kbit/s;PIS 紧急文本中每列列车带宽为 10 kbit/s;车辆运行状态监测中每列列车带宽为 2 Mbit/s;车载视频监控图像中每列列车上传视频图像的路数为 2 路,每路带宽为 2 Mbit/s

2.3 车地无线通信业务传输带宽及承载方案分析

2.3.1 承载能力分析

由于 LTE 在服务质量保证、抗干扰能力方面有着不可替代性,因此优先考虑采用 LTE 技术承载车地无线通信业务,尤其是生产安全类业务。根据表 1 中车地无线通信业务的带宽需求,在全自动运行模式下考虑采用 LTE 技术进行综合承载,则有:

A 网上行:“CBTC+车辆运行状态监测”的承载能力为 10 Mbit/s;A 网下行:“CBTC+PIS 紧急文本”的承载能力为 2.1 Mbit/s;B 网上行:“CBTC+车辆运行状态监测+乘客紧急呼叫视频+轨道路况监视图像+其他视频”的承载能力为 30 Mbit/s;B 网下

行:“CBTC+PIS 紧急文本+车载 PIS”的承载能力为 8.1 Mbit/s。

由此可以看出,即使 LTE 车地无线系统申请到 20 MHz 频谱,也仅能满足安全生产类业务的需求,但无法满足业务综合承载,需要采用 WLAN 宽带无线技术来补充解决。

2.3.2 频率规划方案

以 20 MHz 频谱为例,LTE 系统的频率规划方案如下:

1) 方案一:A、B 网各选取 10 MHz 进行组网,其中 A 网频率范围为 1 785~1 795 MHz,B 网频率范围为 1 795~1 805 MHz;上下行线路时隙配比采用 3:1。此时 A 网上行线路承载“CTBC+TCMS”业务,A 网下行线路承载 CBTC 业务;B 网上行线路承载“CBTC+TCMS+乘客紧急呼叫视频+轨道路况监视图像”业务,B 网下行线路承载“CBTC+PIS 紧急文本”业务。

2) 方案二:A 网选取 5 MHz、B 网选取 15 MHz 进行组网,其中 A 网频率范围为 1 785~1 790 MHz,B 网频率范围为 1 790~1 805 MHz;上下行线路时隙配比采用 3:1。此时,A 网上下行线路均只承载 CBTC 业务;B 网上行线路承载“CBTC+TCMS+乘客紧急呼叫视频+轨道路况监视图像”业务,B 网下行线路承载“CTBC+PIS 紧急文本”业务。

由此可以看出,无论采用 A 网 10 M、B 网 10 M 还是 A 网 5 M、B 网 15 M 的频率规划方案,B 网上行线路承载业务带宽均受限,因此需要补充建设 1 套车地无线传输系统。目前 WLAN 系统主流采用 802.11ac 标准,其平均带宽可达到 80 Mbit/s,完全可以满足需求。因此,建议将 WLAN 系统作为车地无线通信信息传输的备用通道,用于传输“TCMS+乘客紧急呼叫视频+轨道路况监视图像+其他视频”业务。

3 车地无线综合通信网络建设方案

通过对车地无线通信业务需求、承载能力及频率规划等方面进行分析得知,需要建设 1 套 LTE 系统保证系统生产安全类业务的传输;另外,还需要建设 1 套 WLAN 系统作为车地无线通信信息传输的备用通道。

3.1 LTE 系统组网

3.1.1 系统组成

由于 LTE 系统需要承载信号系统中的 CBTC 业务,因此,LTE 网络须按照 A、B 双网进行设

计^[6]。在主、备控制中心分别设置演进分组核心网(EPC)设备;在车站和车辆基地设置 BBU(基带处理单元)+RRU(射频拉远单元)设备,且在线路区间根据需要设置 RRU 设备;在列车上设置 TAU(车载接入单元)设备,且在每列列车的车头和车尾同时设置 A 网+B 网 TAU 设备。

3.1.2 传输组网

由于 LTE 系统需要承载 CBTC 业务,因此,A、B 双网的 BBU 设备至核心网 EPC 之间的传输通道需要分别进行考虑。为共享传输网络资源,建议 A 网单独新建 1 套光纤网,B 网采用专用通信传输系统网络。需要注意的是,B 网专用通信传输系统需要支持 1588V2 协议,保证 LTE 系统时间同步。

3.1.3 无线覆盖

以城市轨道交通地下线路为例,建议 LTE A/B 网在左右隧道各敷设 1 根漏缆进行区间无线覆盖;场段内采用室外铁塔天线覆盖,建筑物内采用室内分布系统进行补充覆盖;车站内采用室内分布系统进行覆盖。

3.1.4 服务质量保障

对于城市轨道交通全自动运行模式下的不同车地无线通信业务,可分别定义不同的 QCI(服务质量等级)值,如表 2 所示。由表 2 可知,QCI 值越小,其优先级越高,且在多业务并发条件下可将资源优先分配给优先级较高的业务。

表 2 服务质量设置表

项目	QCI	资源类型	优先级
CBTC	1	GBR	2
车辆运行状态监测	2	GBR	4
PIS 紧急文本	2	GBR	4
车载视频监控图像	6	Non-GBR	6
车载 PIS	7	Non-GBR	7

注:GBR 表示保证比特速率;Non-GBR 表示非保证比特速率

3.1.5 LTE 推荐组网架构图

为保证全自动运行模式下中心设备的可靠性,宜将两套 LTE 核心网设备分别放至主、备控制中心,如图 1 所示。图 1 中,A 网仅承载 CBTC 业务,并采用独立工业以太网方式进行组网;B 网综合承载“CBTC+车载 CCTV+车载 PIS”业务,并利用专用传输系统进行组网。

3.2 WLAN 系统组网

3.2.1 系统组成

根据全自动运行模式下车地无线业务需求和

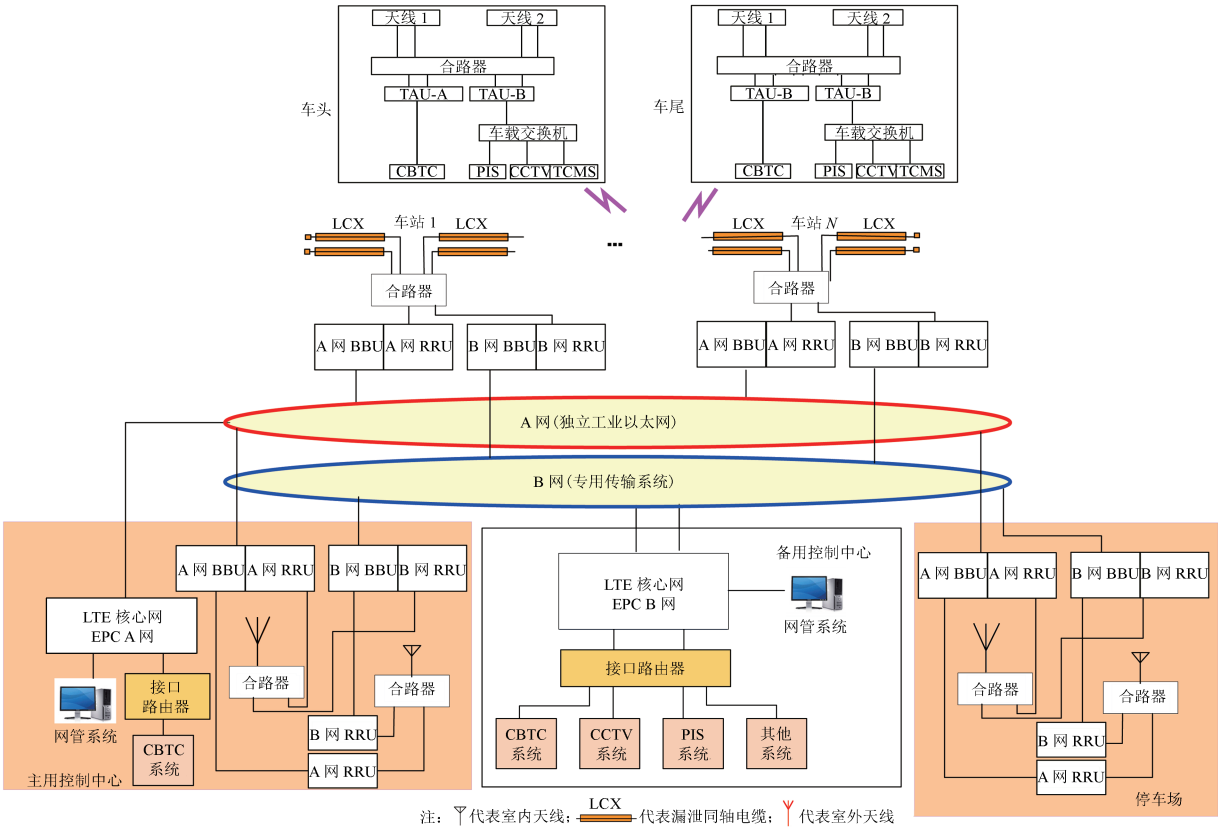


图 1 城市轨道交通全自动运行模式下的 LTE 车地无线通信组网架构

LTE 系统能力,需要建设 1 套 WLAN 系统来传输“TCMS+乘客紧急呼叫视频+轨道路况监视图像”业务,并将其作为备用通道。由于 WLAN 承载的大都为非安全生产信息类业务,因此 WLAN 网络采用常规的单网设计方案,主要由中心的无线控制器、无线接入点(AP(无线接入点),带光口)、天线及光电缆等设备和线路组成。

3.2.2 传输组网

由于 WLAN 系统仅包含单网业务,因此仅需考虑单网 WLAN 车站设备至 WLAN 中心设备之间的传输通道。为共享传输网络资源,建议利用专用通信传输系统网络。

3.2.3 系统架构

WLAN 系统组网架构与常规线路基本相同,仅存在车地无线通信承载业务间的差异,目前既有应用中已有许多轨道交通线路采用常规 WLAN 方案^[7-8],因此本文不再对其进行赘述。

4 结语

本文提出 LTE+WLAN 的综合车地无线通信网络建设方案,不仅能够满足 CBTC、PIS 紧急文本、车

辆运行状态监测、车载 CCTV 及车载 PIS 等车地无线通信业务的带宽需求,还能根据预先设定的优先级进行通信资源分配和调度,为全自动驾驶模式下的车地无线通信网络建设方案提供参考。

参考文献

[1] 杨雪,赵运臣,裴红涛.城市轨道交通车地无线的网络架构及应用[J].都市快轨交通,2014(21): 5.

[2] 钟飞.802.11n 无线局域网技术在城市轨道交通高速车-地通信环境下的应用研究[D].广州:华南理工大学,2012.

[3] 李照敬,葛淑云.基于 LTE 技术的城市轨道交通综合承载业务需求分析[J].铁路通信信号,2015(51): 74.

[4] 戴克平.TD-LTE 在城轨全自动运行系统中的应用研究[J].铁路技术创新,2015(4): 9.

[5] 李苏雯,王浩.全自动无人驾驶模式下对通信系统的需求分析[J].铁路计算机应用,2015(7): 57.

[6] 林威.基于 TD-LTE 的地铁无线综合承载网[J].现代城市轨道交通,2016(4): 1.

[7] 刘增祥,彭星辉,庄威.基于无线局域网技术的乘客信息系统车地无线通信网络的设计与试验[J].城市轨道交通研究,2015(12): 27.

[8] 葛淑云,马丽兰,戴克平,等.基于 LTE 技术的城市轨道交通车地通信综合承载环形道试验方案[J].铁路通信信号工程技术,2015(12): 36.

(收稿日期:2018-02-07)