

长期演进 (LTE) 技术在上海城市轨道交通中的应用

马 璋

(上海地铁维护保障有限公司, 200235, 上海//工程师)

摘 要 分析了 LTE(长期演进)技术应用于上海城市轨道交通的必要性。结合上海城市轨道交通的运营实际及规划情况,在 CBTC(基于通信的列车控制)业务、集群调度业务、列车紧急文本下发业务、车载视频监控业务等 4 个方面提出了 LTE 的应用需求,并给出了上海城市轨道交通 LTE-M(城市轨道交通车地综合通信系统)频段的分配表。在此基础上,提出 LTE 技术在上海城市轨道交通中的组网方式和系统构成。最后,针对 LTE 技术在上海城市轨道交通应用中的常见问题,提出相关的对策和措施。

关键词 城市轨道交通;长期演进;宽带集群通信;综合承载

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.11.028

Application of LTE Technology in Shanghai Urban Rail Transit

MA Wei

Abstract The necessity of LTE (long-term evolution) technology application in Shanghai urban rail transit is analyzed. Considering the actual operation and planning of Shanghai urban rail transit, the application requirements of LTE technology are proposed from four aspects: CBTC (communication based train control) service, trunked dispatch service, train emergency text distribution service, on-board CCTV (closed circuit television) service. The allocation table of LTE-M frequency band of Shanghai urban rail transit is worked out as well. On this basis, the networking mode and system composition of LTE technology in Shanghai urban rail transit are proposed. Finally, in view of the common application problems of LTE technology in Shanghai urban rail transit, corresponding strategies and counter measures are put forward.

Key words urban rail transit; LTE; broadband cluster communication; integrated bearing

Author's address Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., 200235, Shanghai, China

随着城市轨道交通移动化应用需求和场景的不断增加,对无线通信技术提出了更高的要求。目

前,无线通信技术总体向着高速率、低时延和综合承载等方向演进。为此,选择一个适合城市轨道交通新业务特性的无线通信技术显得尤为重要。

LTE(长期演进)是基于 4G(第四代的移动通信技术)的网络技术,因其具有高带宽、低时延、高可靠性、综合承载等优势,在城市轨道交通中逐渐得以推广和应用。本文对 LTE 技术在上海城市轨道交通中的应用展开研究,以期为其在业内的应用与发展提供参考。

1 上海城市轨道交通应用 LTE 技术的必要性

2015 年,国家工业和信息化部颁布了工信部无[2015]65 号《工业和信息化部关于重新发布 1 785 ~ 1 805 MHz 频段无线接入系统频率使用事宜的通知》。随后,针对采用 CBTC(基于通信的列车控制)系统的新建城市轨道交通线路,中国城市轨道交通协会发布了《关于推荐城轨交通项目新建 CBTC 系统使用 1.8 GHz 专用频段和 LTE 综合无线通信系统的通知》及《城市轨道交通车地综合通信系统(LTE-M)总体规范》。这些文件的陆续颁布,表明了城市轨道交通无线通信技术已从原先单一的窄带需求演进为综合业务承载的宽带需求,而 LTE-M 正是针对城市轨道交通综合业务承载需求的 LTE 系统,由此,LTE-M 已逐渐成为城市轨道交通无线通信发展的主要技术。

通过对 LTE 技术的整体梳理、规划及应用,上海城市轨道交通逐步形成了每条线路在系统架构、功能划分、频率分配等方面的协调统一,并实现线网间无线业务的互联互通。设备系统摆脱了原有的传输模式,实现了一体化的承载。

2 LTE 技术在上海城市轨道交通中的应用需求

根据上海城市轨道交通目前及未来的需求,结

合目前城市轨道交通无线通信技术的依据、规范及标准等相关要求,本文对 LTE-M 在上海城市轨道交通中所承载的主要业务类型及其功能进行阐述。

2.1 CBTC 业务

CBTC 业务即基于通信的列车自动控制业务,其中,车地无线通信是 CBTC 实现列车控制的基础。既有线路的 CBTC 主要采用 WLAN(无线局域网)技术进行车地无线传输,其工作频段为 2.4 GHz 公用频段,理论最大传输距离约为 400 m。无线电波在隧道区间、地面及高架区间内存在不同的传播特点:隧道区间内的弯曲段较多,从而缩短了直射波的传输距离;地面及高架区间内因存在其他民用的无线通信系统,无线电磁环境相对较复杂,同制式干扰源较多,易受到同频干扰。

LTE 技术因采用了专用的频率及分层的架构,可提高无线传输的抗干扰性,网络受到的安全威胁较低。LTE 技术支持高速移动场景,具有良好的切换性能。另外,与 WLAN 设备相比,LTE 设备功率更大、频段更低、覆盖范围更大,可以大量减少区间设备数量,提高系统的可维护性。因此,采用 LTE 技术来承载 CBTC 业务,可有效提高 CBTC 通信的抗干扰性、可靠性、可维护性等性能,确保列车运行和列车控制的稳定、可靠。

2.2 集群调度业务

集群调度业务为固定用户和移动用户间提供迅速、有效的通信手段,其中:固定用户主要包括 OCC(运营控制中心)、车辆段、车站等调度人员;移动用户主要包括列车司机、防灾和维修等的运维人员。集群调度业务可直接应用于行车调度和运维指导,是提高调度指挥及协同运作效率、确保运营安全的必要保障。

目前,上海城市轨道交通既有线的集群调度业务主要采用 TETRA(泛欧集群无线电)系统承载。既有 TETRA 系统以语音通信为主,数据带宽能力较弱,对多媒体业务支撑能力不足。

随着上海城市轨道交通网络的不断扩展,线网总客流量持续增长,运维环境日益复杂,常规的集群语音业务已不能满足集群高速数据业务(如短信、电子工单、列车状态数据实时采集等)、多媒体业务(如视频通话、图视频分发等)等新增的多元化需求。尤其在全自动运行线路中,由于列车正常运行时不再配置专职司机,发生对乘客造成影响的事件时,OCC 需要通过专用无线调度系统的多媒体通

道实现 IPH(乘客紧急对讲)功能,与乘客建立双向沟通渠道,为乘客提供信息和指引,以稳定乘客情绪,防止事态的进一步恶化。

LTE 技术在带宽、时延、容量和可靠性等方面具有的优点可完全契合集群调度业务在语音、数据、多媒体等多业务的综合承载新需求,已逐步取代 TETRA 技术,成为上海城市轨道交通新建线路集群调度业务主流技术。

2.3 列车紧急文本下发业务

当发生突发事件时,列车将以紧急文本方式为客室内的乘客提供安全警告、防护指导、疏散引导等信息,使乘客可以及时了解突发事件的状况和危险程度,以及应采取的安全防护措施、疏散方向和步骤、后续救援计划等内容,起到稳定乘客情绪、引导乘客主动采取应急措施、减少突发事件危害损失、降低乘客损失发生概率等作用。

2.4 车载视频监视业务

目前,上海城市轨道交通车载视频监视业务主要是通过无线方式将车载视频传输到 OCC 并进行集中监控,以实现对司机室、客室等核心区域的监控,辅助列车进行安全管理。

上海轨道交通既有线路的车载视频普遍采用标清图像采集,但从 14 号线、15 号线、18 号线开始的新建线路均采用 H.265 制式的高清图像,传输速率为 3 Mbit/s。此外,由于新建的 14 号线、15 号线、18 号线均采用全自动运行模式,为了更完整地了解客室区域的状态,积极应对各种突发事件,OCC 要求车载视频实时上传更多的图像路数。由此,对车地通道的带宽提出了更高的要求。

结合目前的现状及中国城市轨道交通协会的相关指导文件,经梳理后得到上海城市轨道交通 LTE 技术的应用需求,如表 1 所示。

3 LTE 在上海城市轨道交通中的使用频率

按照工信部无[2015]65 号的规定,LTE-M 网络可申请使用的频段为 1.8 GHz(即 1 785~1 805 MHz),共 20 MHz 带宽。经上海市无线电委员会批准,上海城市轨道交通可使用的频率具体为:

1) 高架/地面区域的专用频段容量为 5 MHz(对应频段为 1 800~1 805 MHz)。剩余的频段容量 15 MHz(对应频段为 1 785~1 800 MHz)为与其他行业共用的频段。在未来新建城市轨道交通线路的设计、建设和使用中,需对这些区域进行频点、

表 1 上海城市轨道交通 LTE 技术的应用需求

Tab. 1 Application requirements of Shanghai urban rail transit for LTE technology				
业务类型	重要性	带宽	性能要求	是否配套冗余通道
CBTC 业务	高	2 Mbit/s (上行、下行)	为信号 CBTC 系统提供车地无线通信平台,要求传输通道可靠、冗余、稳定,系统可用性不得低于 99.999 9%	常发性故障, 有冗余通道
集群调度业务	高	1 Mbit/s (上行、下行)	为列车指挥、调度、运营、应急和维护等需求提供相关的语音、视频、数据呼叫等功能,要求传输通道具有高可靠性	常发性故障, 有冗余通道
列车紧急文本下发业务	高	10 kbit/s(下行)	为车载乘客信息终端发送紧急文本信息,要求传输通道具有高可靠性,能实现对任意数量列车文本信息的发送	偶发性故障, 无冗余通道
车载视频监视业务	低	4 Mbit/s(上行)	上传列车内部的实时视频图像,要求传输通道具有高可靠性;单列车应能提供至少 2 路的实时视频流传输	偶发性故障, 无冗余通道

注:上行、下行是指正线上列车运行的方向。

场强测试,以尽可能避免与其他行业的无线通信系统产生干扰。

2) 地下区间区域的专用频段容量为 20 MHz (对应频率为 1 785 ~ 1 805 MHz)。

为此,上海城市轨道交通采用 15 + 5 MHz 频宽的方式组网,其业务频段分配如表 2 所示。

表 2 上海城市轨道交通 LTE-M 频段分配表

Tab. 2 Table of LTE-M frequency band allocation for Shanghai urban rail transit			
线路区段	业务类型	使用频率/MHz	频段属性
地下区段	CBTC 业务、集群调度业务、列车紧急文本下发业务、车载视频监视业务	1 785 ~ 1 800	专用频段
	CBTC 业务、集群调度业务	1 800 ~ 1 805	专用频段
地面、高架区段	CBTC 业务、集群调度业务、列车紧急文本下发业务、车载视频监视业务	1 785 ~ 1 800	公用频段
	CBTC 业务、集群调度业务	1 800 ~ 1 805	专用频段

4 LTE 在上海城市轨道交通中的系统构架

4.1 LTE 的组网方式

根据 LTE 的特性及承载业务的重要程度,上海城市轨道交通 LTE-M 网络的主要功能定位为:①提供高宽带、高可靠性的无线通信功能;②主要为与行车安全直接相关的业务提供功能支持,同时也能支持普通运维业务的对讲功能;③主要提供数据、语音、多媒体通信的可靠连接功能。

基于上述的功能定位,上海城市轨道交通 LTE-M 网络基于 B-TrunC(宽带集群通信)架构,按支持数据功能和集群功能业务开展 LTE-M 网络的设计与建设。为确保网络的安全可靠、平滑高效,上海城市轨道交通 LTE-M 网络宜采用 A、B 双网覆盖的方式,其中:A 网的 LTE-M 宜承载 CBTC 业务、集群调度业务(主用)、列车紧急文本下发业务、车载视频监视业务等;B 网的 LTE-M 宜承载 CBTC 业务、集群调度业务(备用)等。A、B 网完全独立且并行工作,互不影响。双网冗余组网,若 A、B 网中任一网络出现瘫痪,CBTC 业务将通过另一个网络继续进行传输,以确保单点故障时重要业务不中断。

当 A 网的 LTE-M 发生单点失效时,宽带集群调度业务单点失效,此时可采用单站集群模式或基站共享方式,利用 B 网的 BBU/RRU(基带处理单元/射频拉远单元)设备接入集群 LTE-M 的核心网,完成业务信息的调用。

区间侧采用 2 根漏缆,分别馈入 A、B 网络信号,缆间不做互馈,并预留了上海城市轨道交通 TETRA 无线(800 MHz 频段)馈入的接口条件。

线路侧 BBU 设于车站信号机房内,通过 RRU 与区间侧漏缆相连,以实现区间的信号覆盖;站内侧 BBU 设于车站通信机房内,并通过 RRU 与站内天线相连,以实现站内的信号覆盖。

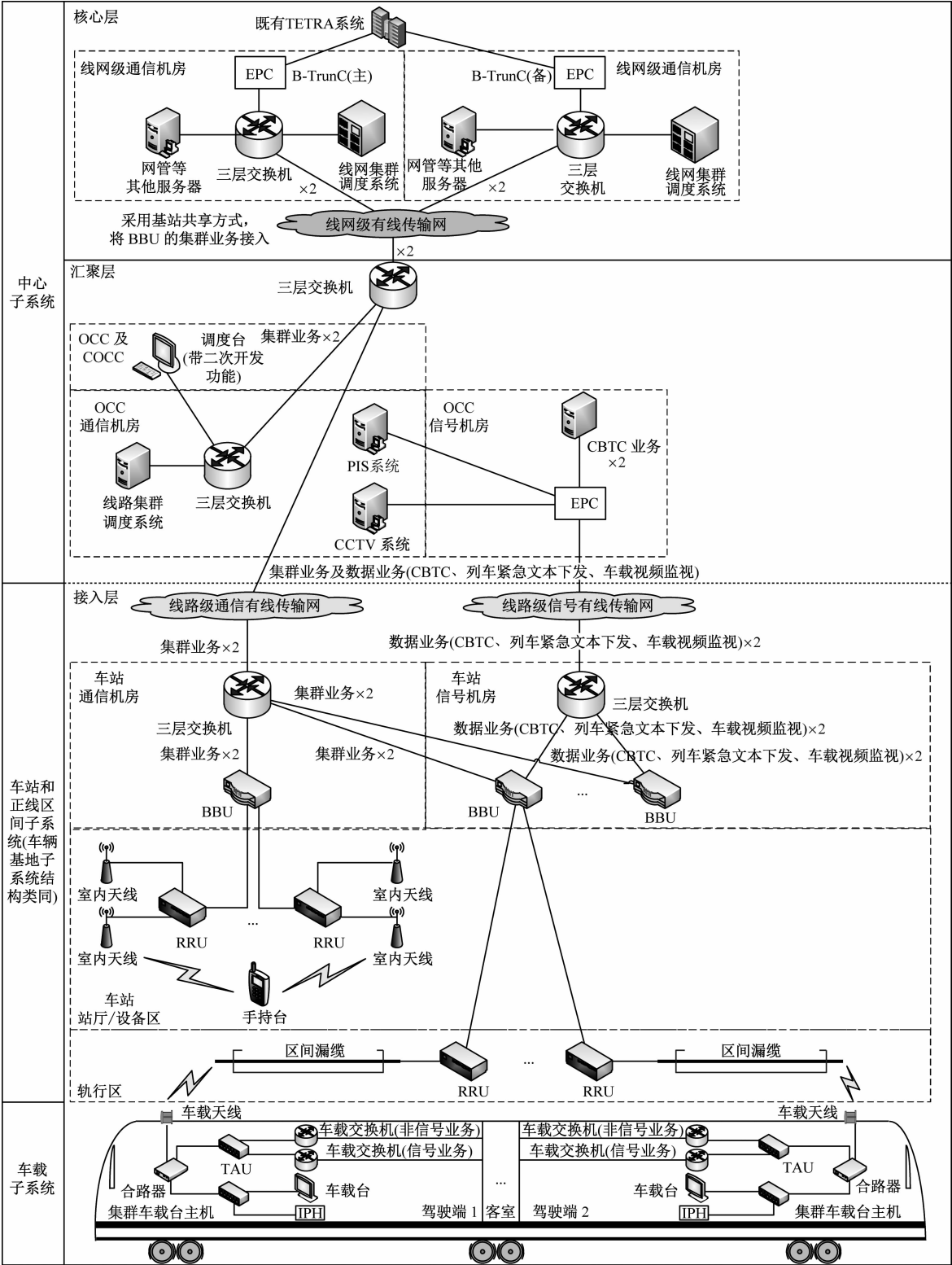
在各轨道交通线路侧均独立设有数据业务的 LTE-M 核心网,并在 COCC(网络运营协调中心)侧统一设置了集群业务的 LTE-M 核心网。通过基站共享方式,实现这两种业务流的分离。

集群业务的 LTE-M 核心网应实现全网 LTE 集群调度的互通,并实现与上海既有城市轨道交通 TETRA 无线网络的互联互通。

4.2 LTE-M 的系统构成

如图 1 所示,LTE-M 系统分为接入层、汇聚层、核心层 3 个层次,主要由中心子系统、车站和正线区

间子系统、车辆基地子系统、车载子系统等 4 个部分 组成。



注:PIS——乘客信息系统;CCTV——视频监控;TAU——车载控制单元;“×2”表示配置 2 套相同的设备。

图 1 上海城市轨道交通 LTE-M 网络的系统架构

Fig.1 System architecture of LTE-M network in Shanghai urban rail transit

4.2.1 中心子系统

中心子系统主要由 EPC(演进型分组核心网)设备、集群调度交换机、网管服务器、调度台、集群二次开发服务器等组成。

中心子系统与其他业务子系统互联,所有接入数据均通过其与外部系统进行通信。中心子系统可实现无线传输数据的汇聚与分发,是整个 LTE-M 网络的核心。此外,中心子系统还负责管理与维护整个 LTE-M 网络,其中:网管服务器负责管理 LTE-M 系统内所有设备和端口的参数,对这些参数的状态进行监测;网管服务器可以支持多个远程终端的连接,并通过上层网获取 NTP(网络时间协议)标准时间。

LTE-M 系统与集群业务相关的 EPC 设备为多线合用设备,采用一主一备的冗余配置,同时配置了对应的主用和备用调度机设备。在线网级调度大厅内设置了若干台具有标准配置的调度台设备。

LTE-M 系统在线路级调度大厅配置了若干台具备二次开发功能的调度台设备。这些调度台可用于日常行车作业指挥,仅对本线路范围内的无线终端进行呼叫。此外,在线路 OCC 内设置了冗余配置的二次开发服务器等设备。

4.2.2 车站和正线区间子系统

车站和正线区间子系统由 BBU、RRU、固定台、手持台及车站室内分布设备构成,用于提供车站、正线区间等场所的无线接入服务,同时上行接入对应的传输系统网络,与中心子系统对接,以完成各类业务的数据传输。其中:区间子系统(即与信号业务相关的 BBU、RRU 设备)由信号系统设置;车站子系统(即与集群业务相关的 BBU、RRU 设备)由通信系统设置。

各信号集中站的 BBU 设备通过以太网接入车站网络交换机,通过有线传输通道、核心网与网管服务器相连。车站的 BBU 设备与 RRU 设备之间采用光缆进行星型连接,各区域的无线信号通过 RRU 连接全向/定向天线,或者采用漏缆进行覆盖。

在车控室内设置了无线固定台,通过无线方式接入车站室内分布设备。

每个车站内配置了若干个手持台,手持终端的数量依据站内工作人员数量及设备使用场景来合理配置。

4.2.3 车辆基地子系统

车辆基地子系统主要由 BBU、RRU、调度台、手

持台及基地室内分布设备构成,通过有线传输通道与中心子系统对接并进行数据传输。车辆基地 A、B 网 BBU、RRU 设备的设置原则与车站和区间子系统类同。

在 DCC(车辆基地控制中心)控制室内设置了无线调度台若干台,供日常行车作业使用。

车辆基地信号机房内的 BBU 设备通过以太网接入车站网络交换机,通过有线传输网络提供的通道与核心网、网管服务器连接。车辆基地的 BBU 与 RRU 设备之间采用光缆进行星型连接,各区域的无线信号通过 RRU 设备连接全向/定向天线,或者采用漏缆进行覆盖。

4.2.4 车载子系统

车载子系统主要由车载天线、TAU、车载交换机及车载集群电台等设备构成,考虑到 LTE 传输的可靠性及稳定性,车载设备分别在车头及车尾设置 1 套。

车载集群电台通过射频缆、合路器直接与车载天线连接,接收/转发列车集群调度语音信息等。车载交换机与其他系统车载设备互连,接收 OCC 下发的调度命令及紧急文本信息,同时转发/上传列车内关键实时监控图像及列车运行控制信息等。

为控制司机室内的天线数量,同时为了便于天线的安装,同一个司机室的专用无线车载台与 TAU 的信息上传采取共用天线方式,即通过同一副天线上传信息。

5 LTE 技术在应用中的常见问题及其对策

5.1 高架区段 LTE-M 频段的抗干扰问题

由于 LTE-M 频段资源较为紧张,线路高架区段内存在其他行业共用频段的情况,因此,在高架区段设计时,应考虑不同 LTE 系统间的邻区同频干扰问题。可通过以下措施尽量避免不同 LTE 系统间的干扰:

- 1) 进行区域扫频,掌握区域内其他 LTE 系统的覆盖情况、使用频率及覆盖功率;

- 2) 适当缩小小区半径,以提升小区的 RSRP(边缘信号接收功率);

- 3) 针对先建 LTE 系统的布设情况,选择适当的漏缆辐射角度和覆盖方式。

5.2 多专业基站的共享

按照上海城市轨道交通的规划,LTE-M 线路级核心网由信号专业在各线独自设置;服务数据用

户、线网级核心网由通信专业设置,以服务集群用户。因此,整个 LTE-M 核心网的基站接入容量应大于 1 000 个,集群用户同时在线数量应大于 5 万个。而过多的独立基站会增加建设和运维的成本,过度占用空间,也不利于后期运维的统一管控,因此,采用多专业基站共享方式,通过共享载波模式,共享基站可综合接入数据用户和集群用户,同时广播数据,集群两个网络的 PLMN(公共陆地移动网络),并将两类用户的业务分别传输至不同核心网进行处理。

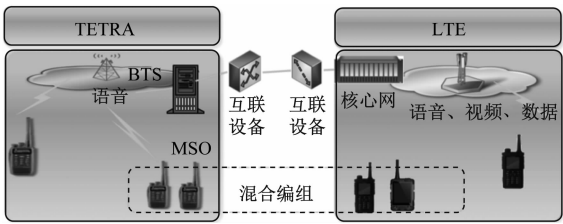
5.3 与既有线路 TETRA 系统的互联互通

目前,上海城市轨道交通既有线路专用无线系统采用了基于无线窄带技术的 TETRA 制式。该系统由网络级核心 MSO、线路侧接入网(含基站、直放站及天馈系统等)、用户侧终端(含调度子系统、车载台、固定台、网管子系统、手持终端等)组成。因此,在对上海城市轨道交通线网进行规划时,存在着使用 LTE 技术的新建线路与使用 TETRA 技术的既有线路在集群调度业务上的互联互通问题。该问题可通过以下两个措施予以解决:

- 1) 如图 2 所示,在 LTE-M 核心网与 TETRA 系统的 MSO 间增设互联网关,用以实现两个系统间的互联互通,并实现跨系统的语音组呼功能。
- 2) 采用“双模车载台 + 双模调度台”方式,在既有车载台和调度台上分别增加 LTE 信号机及调度通信接口,实现“LTE + TETRA”双模式运行。

6 结语

目前,上海城市轨道交通在新建线路上已全面采用 LTE-M 技术作为综合业务承载的无线通信手段。根据实际应用评估,LTE 技术在性能、建设和



注:BTS——基站收发台。

图 2 LTE-M 与 TETRA 互联互通示意图

Fig.2 Schematic diagram of interoperation between LTE-M and TETRA

运维成本、扩展性等方面完全优于传统技术。未来,上海城市轨道交通将推动 LTE 技术在全线网内的应用,推动既有线路无线通信技术的迭代更新,最终构建一个统一的上海城市轨道交通综合业务承载无线通信网。

参考文献

[1] 纪文莉. 上海轨道交通 LTE 综合承载网络架构研究[J]. 城市轨道交通研究,2021(6):146.
JI Wenli. Study on LTE comprehensive bearing network architecture of Shanghai rail transit [J]. Urban Mass Transit, 2021(6):146.

[2] 赵红礼,焦凤仪. LTE-M 宽带集群互联互通场景与实现[J]. 现代城市轨道交通,2022(2):70.
ZHAO Hongli, JIAO Fengyi. Interoperation scenarios implementation in LTE-M broadband cluster systems[J]. Modern Urban Rail Transit, 2022(2):70.

[3] 高雪娟,雷成健,刘泽. 基于 LTE-M 的互联互通全自动运行系统车地安全通信方案研究[J]. 城市轨道交通研究,2022(1):118.
GAO Xuejuan, LEI Chengjian, LIU Ze. Research on interoperation FAO system vehicle-wayside secured communication scheme based on LTE-M[J]. Urban Mass Transit, 2022(1):118.

(收稿日期:2022-03-14)

(上接第 122 页)

参考文献

[1] 董皓,付义龙,黄启翔,等. 基于本体的城市轨道交通应急预案表示方法[J]. 都市快轨交通,2015(2):70.
DONG Hao,FU Yilong,HUANG Qixiang,et al. Expression method of contingency plan based on ontology for urban rail transit [J]. Urban Rapid Rail Transit,2015(2):70.

[2] 张伟. 智慧城市发展视角下轨道交通运维管理一体化体系的构建[J]. 中小企业管理与科技,2021(12):146.
ZHANG Wei. Construction of the integrated rail transit operation

and maintenance management system under the perspective of smart city development [J]. Management & Technology of SME, 2021(12):146.

[3] 刘婧,郭行,蒋锐,等. 城市轨道交通智能运维系统的研究及可行性分析[J]. 中国新技术新产品,2021(5):12.
LIU Jing, GUO Hang, JIANG Rui, et al. Research and feasibility analysis of urban rail transit intelligent operation and maintenance system[J]. New Technology and New Products of China, 2021(5):12.

(收稿日期:2022-03-21)