

全自动运行车辆段运用库内 LTE 系统网络 布署方案研究

刘 斌 王子毅

(苏州市轨道交通集团有限公司, 215004, 苏州//第一作者, 工程师)

摘 要 LTE(长期演进)技术更能够满足城市轨道交通全自动运行系统的需求。全自动运行车辆段运用库内需要高容量的无线数据传输系统,在 RRU(远端射频单元)小区带宽资源有限的情况下,可以通过增加 RRU 小区的方式实现扩容。介绍了全自动运行车辆段不同情况下的 LTE 系统网络布署方案。建议在运用库设计初期,需考虑 LTE 系统的容量上限与运用库中间布署物理分隔的必要性。在充分考虑运用库列车并发数据传输需求、带宽资源条件和 LTE 容量上限的情况下,通过在运用库内增加 RRU 小区数量及设置物理分隔,可大幅降低同频干扰,可使数据传输速率接近理论峰值,在带宽资源有限的情况下满足数据传输的容量需求。

关键词 城市轨道交通;全自动运行车辆段;LTE;物理分隔;同频干扰

中图分类号 U283.2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.05.003

Research on Network Deployment Scheme of LTE System in Fully Automatic Operation Depot Application Library

LIU Bin, WANG Ziyi

Abstract LTE (long-term evolution) technology can better meet the needs of urban rail transit FAO (fully automatic operation) system. High-capacity wireless data transmission system is required in FAO depot application library. When the bandwidth resources of the RRU (remote radio unit) cell are limited, capacity can be expanded by adding RRU cells. The network deployment scheme of LTE system under different conditions of FAO depot is introduced. It is suggested that in the early stage of the application library design, the upper limit of LTE system capacity and the necessity of physical separation in the middle of the application library should be considered. In the case of fully considering application library train concurrent data transmission requirements, bandwidth resource conditions and LTE capacity upper limit, by increasing the number of RRU cells and setting up physical separation in the application

library, the co-channel interference can be greatly reduced, and the data transmission rate can be close to the theoretical peak value, and the capacity demand of data transmission can be met in the case of limited bandwidth resources.

Key words urban rail transit; FAO (fully automatic operation) depot; LTE (long-term evolution); physical separation; co-channel interference

Author's address Suzhou Rail Transit Group Co., Ltd., 215004, Suzhou, China

随着城市轨道有市郊线郊的发展,列车的运行速度也在不断提高。在列车高速运行过程中,基于 WLAN(无线局域网)技术的信号数据传输错误会大大增多。另外,由于 WLAN 的覆盖距离较小,需要安装很多 AP(无线访问接入点)设备,人工维护成本很高,故障发生概率也相应增多。因此必须要进一步探索出更加安全稳定的无线通信技术。

LTE(长期演进技术)是基于 OFDMA(正交频分复用多址接入)技术,由 3GPP(第三代合作伙伴计划)组织制定的全球通用标准。DCS(数据通信系统)的车地无线通信协议采用的是 3GPP LTE Rel9 标准。作为一种先进的无线通信技术,LTE 技术在设计时就考虑了满足高吞吐率的需求,在 20 MHz 带宽组网情况下,峰值传输数据速率下行可达 100 Mbit/s,上行可达 50 Mbit/s。同时,LTE 系统采用的是扁平化架构,可降低时延。LTE 系统工作在 1.8 GHz 频段(1 785~1 805 MHz),使用这一频段设备需获得无线型号核准证,需要遵守一定的核准指标。

全自动运行系统采用 LTE 安全通信协议,车载无线单元与地面网络需要进行认证授权,通过后才能进行关联,并且对传输的数据进行加密,加密密钥不少于 128 位。

1 全自动运行车辆段 LTE 系统网络布署方案分析

根据 LTE-M(城市轨道交通车地综合通信系统)系统需求规范,GoA4(无人干预列车运行)列车综合承载业务(包括 CBTC(基于通信的列车控制)、PIS(乘客信息系统)、TCMS(列车控制管理系统))需要周期性发送数据,列车的上行传输速率不小于 512 kbit/s,下行传输速率不小于 512 kbit/s。以 A 网、B 网 5 MHz+15 MHz 小区配置为例,其中 A 网 5 MHz 为 CTBC 专用,B 网 15 MHz 为列车综合承载业务专用。全自动运行车辆段车库数据传输容量将会受 A 网上行数据传输容量限制。因此,在全自动车辆段运用库的设计初期就需考虑 LTE 的数据传输容量上限以及与运用库库内各 RRU 分区物理分割的问题。

1.1 单小区容量评估

运用库库内建立一个 RRU(远端射频单元)小区,容量受限于 A 网的 5 MHz 小区。A 网和 B 网单网状态下的数据传输速率如表 1 所示(B 网中按照 MIMO(多输入多输出)方式计算)。

表 1 LTE 系统 A 网和 B 网单网状态下的数据传输速率
Tab.1 Data transmission rate in single network state of LTE system network A and network B

类型	单小区理论峰值/(Mbit/s)	
	上行	下行
A 网 5 MHz SA1	5.5	7.5
B 网 15 MHz SA1	17.2	28.1

注:SA1——安全路由 1。

由表 1 可见,受 A 网上行容量限制,单小区理想情况下最大容量只能支撑 11 列列车并发数据传输。

在运用库库内建立一个 RRU 小区(见图 1),A 网和 B 网合路共用天馈系统(采用双漏缆覆盖,漏缆挂于股道旁立柱上(两根漏缆需略高于车顶,分别挂于立柱两侧),辐射方向如图 1 中箭头所示。单小区信号覆盖不存在同频干扰,因此采用单小区布署方案,A 网和 B 网的数据传输速率可以达到理论峰值。

1.2 双小区容量评估

由于小区带宽资源有限,单小区容量有限,因此可以通过增加小区的方式实现扩容。在运用库库内建立 RRU1 与 RRU2 两个小区,同时考虑两个小区之间是否需要物理分隔以及小区容量上

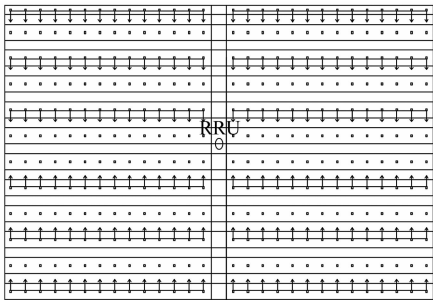


图 1 全自动运行车辆段运用库 LTE 系统单小区布署方案
Fig.1 Single cell deployment scheme of FAO depot application library LTE system

限的问题。

1.2.1 无物理分隔的双小区容量评估

运用库库内建立 RRU1 与 RRU2 两个小区,在没有做物理隔离的情况下会出现两个小区间的同频干扰问题,因此两个小区的容量仅为峰值容量的 60%~70%。双小区 A 网和 B 网双网状态下的数据传输速率如表 2 所示。

表 2 LTE 系统 A 网和 B 网双网状态下的数据传输速率 (双小区规划)

Tab.2 Data transmission rate in dual-network state of LTE system network A and network B (dual-cell planning)

类型	双小区理论峰值/(Mbit/s)	
	上行	下行
A 网 5 MHz SA1	6.6~7.7	9.0~10.5
B 网 15 MHz SA1	20.6~24.1	33.7~39.3

由表 2 可见,在没有做物理隔离的情况下,双小区容量依然受 A 网的上行容量限制,双小区理想情况下最大容量只能支撑 13~15 列列车并发数据传输,且这些列车需在两个小区内均匀分布。

在运用库库内建立 RRU1 和 RRU2 两个小区(见图 2),每个小区采用双漏缆+全向天线覆盖,漏缆挂于股道旁立柱上(两根漏缆需略高于车顶,分别挂于立柱两侧),辐射方向如图 2 中箭头所示。采用从漏缆引信号接全向天线方式覆盖,降低同一股道上左右两个小区之间的干扰,同时保证可正常切换。A 网和 B 网 RRU 位置放置于库头库尾同一位置,A 网和 B 网合路共用天馈。

以苏州轨道交通 5 号线全自动运行车辆段——胥口车辆段运用库中 LTE 网络布署方案为例。胥口车辆段运用库库内设有 22 股道(每股道停车 2 列),满负载下同时可容纳 44 列列车。该运用库长约 288 m,宽约 147 m。在不改变目前车路(列车股

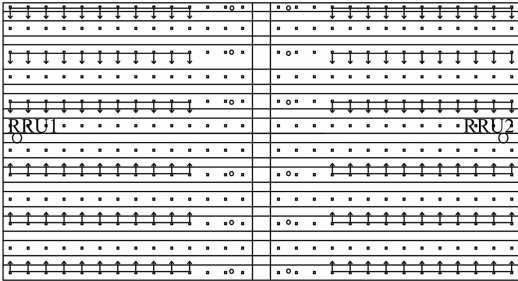


图2 全自动运行车辆段运用库 LTE 系统双小区(无物理分隔)布署方案

Fig. 2 Dual-cell (no physical separation) deployment scheme of FAO depot application library LTE system

道)场景的前提下,可以将该库按股道方向划分为两个小区。考虑相互之间的同频干扰问题,在没有做物理隔离的前提下,每个小区容量可达峰值容量的 60%~70%。

车库容量受 A 网上行限制,MIMO 方式无法有效提升小区上行容量。按照信号厂家提供的资料,列车 CBTC 系统的最大实际上下行速率按 210 kit/s 计算,则单小区理想情况最大容量只能支撑 26 列列车并发数据传输;双小区理想情况最大容量只能支撑 31~36 列列车并发数据传输,且需要这些列车在两个小区内均匀分布。胥口车辆段运用库前期布署方案中没有考虑物理分隔,由于 LTE 技术存在同频干扰问题,在既有的带宽下无法达到 44 列列车并发数据传输,只能通过规章制度对列车并发数据传输进行限制。

1.2.2 物理分隔的双小区容量评估

在有物理隔离的情况下,信号覆盖同频干扰较小,A 网和 B 网双网状态下的数据传输速率可以接近理论峰值,最大容量可支撑 22 列列车并发数据传输,但这些列车需在两个小区内均匀分布。

有物理分割情况下,运用库库内 RRU1 与 RRU2 布署方案如图 3 所示,采用双漏缆覆盖全库,漏缆挂于股道旁立柱上(两根漏缆需略高于车顶,分别挂于立柱两侧),辐射方向如图 3 中箭头所示。在运用库库内中间设置物理分隔,可降低上下两个小区之间的干扰,提高小区容量。A 网和 B 网的 RRU 放置于库头库尾同一位置,A 网和 B 网合路共用天馈系统。

1.3 四小区容量评估

由于小区带宽资源有限,因此可以通过增加小区的方式实现扩容。在运用库库内将 RRU1 与

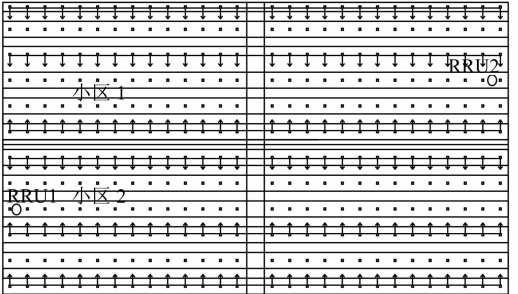


图3 全自动运行车辆段运用库 LTE 系统双小区(有物理分隔)布署方案

Fig. 3 Dual-cell (with physical separation) deployment scheme of FAO depot application library LTE system

RRU2 分别拆分成两个小区,在没有做物理隔离的情况下会出现两个小区间的同频干扰问题,因此四个小区的容量仅为峰值容量的 60%~70%。按照四小区规划的 A 网和 B 网双网状态下的数据传输如表 3 所示。

表3 LTE 系统 A 网和 B 网双网状态下的数据传输速率 (四小区规划)

Tab. 3 Data transmission rate in dual-network state of LTE system network A and network B (four-cell planning)

类型	四小区理论峰值/(Mbit/s)	
	上行	下行
A 网 5 MHz SA1	13.2~15.4	18.0~21.0
B 网 15 MHz SA1	41.2~48.2	67.4~78.6

由表 3 可见,在没有做物理隔离的情况下,四小区容量依然受 A 网的上行容量限制,四小区理想情况下最大容量只能支撑 26~30 列列车并发数据传输,且这些列车需在四个小区内均匀分布。

在有物理隔离的情况下,信号覆盖降低了同频干扰,因此该小区布署方案 A 网和 B 网双网状态下的速率可以接近理论峰值,最大容量可支撑 44 列列车并发数据传输,但这些列车需在两个小区内均匀分布。

对运用库库内的 RRU 进行小区拆分,每台 RRU 拆分成 2 个小区(见图 4),采用双漏缆+全向天线覆盖,漏缆挂于股道旁立柱上(两根漏缆需略高于车顶,分别挂于立柱两侧),辐射方向如图 4 中箭头所示。同一股道切换带区域采用从漏缆引信号接全向天线方式覆盖,降低同一股道上左右两个小区之间的干扰,同时保证可正常切换。因需要预留消防通道和列车进出库,所以图 4 中间的双竖线处无法设置物理隔离。在运用库库内中间设置物

理分隔,降低上下两个小区之间的干扰,提高小区容量。A网和B网的RRU放置于库头库尾同一位置,A网和B网合路共用天馈系统。

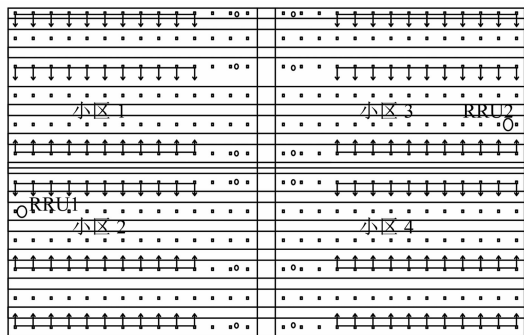


图4 全自动运行车辆段运用库LTE系统四小区(有物理分隔)部署方案图

Fig. 4 Four-cell (with physical separation) deployment scheme of FAO depot application library LTE system

由前文分析可知,在没有物理分隔的运用库库内及带宽限制条件下,双小区和四小区部署方案均不能显著的提升库内列车并发数据传输的容量;但在有物理分隔的情况下,双小区和四小区部署方案与单小区部署方案相比,容量有显著提升,在带宽有限的情况下仍可满足更多的列车同时并发数据传输。

2 结语

基于本文分析,建议在全自动运行车辆段运用库车库LTE系统设计初期,应设计一定的物理分隔。在一些没有条件进行物理分隔的区域,建议使用漏缆与全向天线来配合使用,通过控制信号覆盖范围来降低多小区交界处的干扰。

根据全自动运行车辆段、停车场运用库满载情况下可容纳列车数量,同时依照库内物理分隔条件选择合适的RRU小区布署方案。在没有条件进行物理分隔的情况下,建议建立相应的规章制度,通过规章制度限制同时接收远程指令的列车数量,以保证列车能正常接受到各项指令。

参考文献

- [1] 赵静. 关于LTE与WLAN技术在城市轨道交通中的应用对比分析[J]. 现代城市轨道交通, 2018(2):14.
ZHAO Jing. Comparison and analysis of application of LTE and WLAN in transit [J]. Modern Urban Rail Transit, 2018 (2):14.
- [2] 中国城市轨道交通协会技术装备专业委员会. LTE-M系统总体构架及系统功能规范[S]. 北京:中国城市轨道交通协会技术装备专业委员会, 2016.
Technical & Equipment Committee of China Association of Metros. General system architecture and function specification for LTE-M [S]. Beijing: Technical & Equipment Committee of China Association of Metros, 2016.
- [3] 邢强强, 李新. 地铁通信系统引入TD-LTE系统后的干扰分析研究[J]. 移动通信, 2012(18):27.
XING Qiangqiang, LI Xin. Study on interference analysis after metro communication system introducing TD-LTE system [J]. Mobile Communications, 2012(18):27.
- [4] 黄宇, 陈宇, 刘仰丽. TD-LTE承载CBTC车地无线通信在武汉地铁的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2018(增刊1):43.
HUANG Yu, CHEN Yu, LIU Yangli. Application of TD-LTE bearing CBTC train/ground wireless communication in Wuhan Metro [J]. Urban Mass Transit, 2018 (S1):43.

(收稿日期:2021-12-10)

(上接第11页)

- [4] 吴嘉. 地铁全自动运行系统的全生命周期成本分析——以苏州市轨道交通5号线为例[J]. 现代交通技术, 2009(2):85.
WU Jia. Life cycle cost analysis of fully automatic operation of urban rail transit—a case study of Suzhou Metro Line 5 [J]. Modern Transportation Technology, 2019(2):85.
- [5] 陈进杰, 陈峰, 梁青槐, 等. 城市轨道交通全生命周期成本分析[J]. 交通运输工程学报, 2010(1):82.
CHEN Jinjie, CHEN Feng, LIANG Qinghuai, et al. Whole life-cycle cost analysis of urban rail transit [J]. Journal of Traffic

and Transportation Engineering, 2010(1):82.

- [6] 中华人民共和国建设部. 城市轨道交通工程项目建设标准: 建标104—2008[S]. 北京: 中华人民共和国建设部, 2008.
Ministry of Construction of the People's Republic of China. Construction standard of urban railway transportation project item: JB 104—2008 [S]. Beijing: Ministry of Construction of the People's Republic of China, 2008.

(收稿日期:2021-12-01)