

LTE 技术在城市轨道交通中的应用

The Application of LTE Technology in Urban Rail Transit

郭家旭

Jiaxu Guo

重庆轨道四号线建设运营有限公司 中国·重庆 400026

Chongqing Railway Line 4 Construction and Operation Co., Ltd., Chongqing, 400026, China

摘要: 首先介绍 LTE 技术在地方铁路的应用, 其次介绍 LTE 技术在铁路的应用, 最后对目前的应用情况进行了思考和总结。LTE 技术在中国城市轨道交通领域的普遍应用, 实现了高速地铁出行中优质高效的多媒体信息传播。可见, LTE 技术对于城市轨道交通的发展有着非常广阔的前景。

Abstract: Firstly, it introduces the application of LTE technology in local railways, secondly, it introduces the application of LTE technology in railways, and finally it ponders and summarizes the current application situation. The widespread application of LTE technology in the field of urban rail transit has achieved high-quality and efficient multimedia information transmission in high-speed subway travel. It can be seen that LTE technology has a very broad prospect for the development of urban rail transit.

关键词: 城市轨道交通; LTE 技术; 网络通信; 无线通信

Keywords: urban rail transit; LTE technology; network communication; wireless communication

DOI: 10.12346/etr.v4i11.7320

1 引言

城市列车信号系统配备了移动闭塞列车控制 (CBTC) 系统, 这是一种基于现代网络通信和计算机技术开发的先进列车控制系统。CBTC 系统独立于跟踪电路、无线电天线、互感环路、漏电线路和波导, 实现地面与车实时通信的目的。CBTC 系统的铁路通信无线电对地传输是列控的重要组成部分, 对无线通信的效率和可靠性的要求变得更加严格。随着网络传播技术的高速发展, 基于 LTE 技术的解决方案很受信号系统设备供应商欢迎, 用于车对车通信解决方案。中国新建设的城市轨道交通线路中, 轨道对地无线电系统正在全部过渡到使用 1.8G (1785~1805MHz) 频段的 LTE 技术。

2 LTE 技术

2.1 LTE 技术概述

LTE-M 技术是目前业界应用最为广泛的无线通信技术, 引领着行业的发展方向。在 LTE 系统中, 以 MIMO 和 OFDM 为代表的主要传输技术深度融合, 提供了更加完备

的数据传输机制, 传输速度和频谱效率较以往有了很大的提升^[1]。与其他系统相比, LTE 系统遵循扁平化、简洁化的设计原则。建立更为便捷的网络架构, 降低网络节点, 不存在明显的系统冗余问题。建设、运营和维护成本相对低廉。站在轨道交通行业的发展层面看, 由于 LTE-M 技术的多样性, LTE-M 技术主要是提高网络的抗干扰水平并扩展无线覆盖范围。LTE-M 技术的使用将有助于道路交通系统的稳定运行, 点亮城市, 为乘客提供更安全、更便捷的服务。

2.2 LTE 技术在中国城市轨道交通领域的应用优势

①改善市民的出行环境。通过使用 LTE-M 技术, 我们可以提供乘客信息, 通过视频等载体传递信息, 增加地铁收入, 缓解出行的烦琐。

②保障公共安全。LTE-M 技术等低时延性能通过及时捕捉地铁站等公共场所的实际情况并将图像传输至控制中心, 为监控操作提供了可靠的基础。

③维护市内列车畅通。LTE 设备具有稳定运行性能, 外界干扰较小。因此, 在各种操作条件下都能稳定地进行工作,

【作者简介】郭家旭 (1990-), 男, 中国湖北洪湖人, 本科, 助理工程师, 从事轨道交通 (信号) 研究。

并且可以避免丢失或重发代码等问题。此外,在成功实施修改和加密后,可以建立一套LTE友好的缓解策略来提高弹性。从控制的角度来看,抗干扰策略的实施保证了设备的稳定运行。

3 系统组成分析

某城市4号线地铁建设项目将使用专用无线通信系统和TD-LTE设备。专用无线通信系统是该项目的主要设计理念,可支撑建设满足车地无线通信业务需求的车地无线宽带网络,完成各种无线通信打印功能。

在建设车地无线宽带网络时,选择可用的1.8G频段,10M频谱带宽,有效扩展无线信号的覆盖范围,包括干线、试车线、停车场等。LTE网络架构的特点是扁平化,包括核心子网系统、无线子网系统、网络管理系统和硬件共同促进LTE网络架构的可靠运行。

3.1 LTE 无线网络组成

①无线通信网络采用双网络A/B设计方法,包括网络A和网络B,两个网络各司其职,独立工作。

②测试线和主线运营以核心网为核心,射频端通过物理设备明确分离。每个网络的EPC设备布局不同,在A网的核心网中,设备放置在控制中心信号室等相关位置,而B网的核心网则放置在停车场信号设备室中。信号装置EPC和BBU与以太网形成紧密连接,两者在网络A中的连接是通过综合运营商网络传输系统实现的。RRU均匀分布在路边站、核心机房等其他位置,B网以传统CBTC系统通信网络形式存在。

③站厅楼层、设备区等复杂广场采用吸顶天线布置。两段及岛台均铺设漏电缆,敷设距离约500mm。该地区的封闭房间覆盖有定向天线,部分区域覆盖有小型双极化室内天线。车站平台覆盖有小型双极化天线。

3.2 车载系统组成

安装在客车的车载LTE设备,一般由车顶鲨鱼鳍天线、落地天线、合路器、终端车辆接入单元TAU、车辆数据记录仪、反馈系统等几部分组成。

3.3 有线网络组网

有线LTE传输的实现是基于A/B网络的协同运行,创建两个可以独立运行的连续通道。在这种控制方式下,如果一个网络设备出现异常,网络的其余部分仍能保持稳定的运行状态,并能及时响应故障,为传输业务的发展做好准备^[2]。

①网络工业交换机联网。核心数据链是环网的关键组成部分。沿途的每个车站都安装了一个开关。这些硬件设备通过10G光纤级联起来,组成一个完整的光纤环网。多次连接后,形成10G环网。环网实现MR环高速环网协议,有效缩短网络。收敛时间具有可保持在50ms以内的应用优势,保证了环网的稳定运行。控制中心硬件配置了2核10G三层工业以太网交换机,支持VRRP路由协议,保证了网络

交换机的可靠性。另外,对本项目使用的工业以太网交换机网络进行了功能扩展,准备了主时钟和应急时钟。

②入网管理系统接入网。设备方面,隧道规划建设重点扩容MS-OTN设备,两侧铺设光纤,形成通信网络。另外,这里的综合服务器系统采用了主动时钟和时钟的配置方式,可以通过设置来保证网络运行。

3.4 LTE 基站(izxu)布置方案

RRU布局必须评估漏缆和天线覆盖的最大距离以及CBTC服务要求,以确保沿线无线电满足服务交付要求,并确保上下行链路服务不中断。2Mbit/s用于5MHz蜂窝宽带传输^[3]。在漏缆覆盖场景中,连接预算中的路径损耗量取决于CBTC的场强(-95dBm以上)。传播模型是根据每100m泄漏电缆损耗4dB计算的,导致一个RRU和一个垃圾场之间的距离为600~800m。一般我们预留70~100m的中转区,RRU区1200m。必须为天线覆盖考虑适当的设计余量和天线角度变化。城市环境模型预测的最小覆盖面积为483m。给定良好的视线延伸路径,非空间模型预测它最多可以延伸1km;RRU与架空线相邻的距离应根据站点位置分布和线路走向等因素确定,特别要注意确保信号覆盖足够的位置,避免交通进入附近社区的供应带。建议直线段基站间距不超过1200~1400m,弯曲路段基站分布沿曲线混合方向密集分布。对于停车场和覆盖环境,可以根据覆盖条件降低基站供电、天线布置和衰减设置。它确保了正确的覆盖和相邻小区的接近度,同时避免过度覆盖和外部信号干扰。

3.5 LTE 时钟同步的方案

承载城轨信号系统的车辆之间的无线通信基于LTE技术,需要保证轨道上所有基站的时钟高度同步(<0.05PPM),否则将停止运行。LTE无线电系统的性能可能会下降,影响列车的正常运行。

GPS时钟同步方式是LTE基站常用的时钟同步方式。GPS时钟同步方法具有精度高、成本不高长处,是目前最重要、最可靠的时钟同步方法。GPS时钟同步需要每个BBU上有一个GPS天线。一般来说,需要安装2到8根室外GPS天线,室外GPS天线必须在天空视野开阔的情况下安装,必须满足要求,并且不能受到周围建筑物和雷电的保护。为了接收稳定的GPS卫星信号,BBU必须通过馈线连接到内置的GPS天线。内部机房远离GPS天线。如果安装点的馈线长度超过150m,则必须加装放大器^[4]。因此,虽然GPS时钟同步方法成熟可靠,但在城轨换乘站环境下实施GPS时钟同步方法难度较大。在车站出入口安装GPS天线,也会对城市产生影响。

IEEE1588V2时钟同步方案也用于LTE时钟同步。1588V2时钟同步方式采用主备时钟方式。在控制中心和现场配置1588V2时钟同步服务器。同时接入红蓝LTE网络的回传网络,为红蓝网络基站提供基于IEEE1588V2的时钟同步,提高时钟同步的可靠性。1588V2时间同步协议的时

钟精度与 GPS 时钟同步方式相似, 满足 LTE 的时钟同步要求。1588V2 时钟同步方式具有成本低、结构简单、易维护、性能高等优点。因此城轨信号系统 LTE 时钟同步推荐采用 1588V2 时钟同步方式。

3.6 试车线和正线 LTE 网络部署方案

试验轨道用于城市客运列车故障排除和试验。新的和升级的列车在投入使用之前要进行功能测试、车轮制动测试和车载信号测试。它们必须连接到电源。CBTC 训练场无线电性能测试是组织的重要组成部分^[5]。试验线和干线的信号系统必须分开控制, 试验线设备与干线和车段设备分开是很常见的。在 CBTC 车载无线电系统主要监测和测试互不干扰的要求下, LTE 核心网采用两种方案。

第一, 在核心网分离方式中, 骨干线和测试线使用一套核心网设备, 两套核心网设备相互分离, 互不影响。使用这种方法, 训练必须在进入或离开监控测试时切换到 LTE 网络。如果试驾道路、出入口道路、试验场均采用无线天线覆盖, 则无法满足离网站点与试驾线路 2km 以上的距离要求。因此, 在采用专用核心网方案时应采取以下步骤:

①测试线缆应使用无线充电漏电线缆, 根据测试线缆的位置和位置降低测试线缆 RRU 的传输功率, 确保测试线缆不受影响, 无线设备增加。Depot 的主线和进出路线。

②车辆段进出通道采用漏缆覆盖电台, 漏缆只允许信号到达主干线和车辆段的分界处, 这个地方是小区的边缘, 电台信号的电缆站确保它到达。

③重点区域未被无线覆盖, 以确保测试轨道和车厂颈部区域之间有足够的物理空间。

④当列车在测试线和车辆段咽喉区之间行驶时, 重新启动 TAU, 确保 TAU 连接到强大的网络。

⑤应为测试主管和高级主管设置单独的 PLMN。

第二, 共享核心网方案。测试线将不再使用 LTE 核心网。主干线、车站出入口等靠近测试线, 这些线路在无线网络中设置为相邻区域。当移动台进出测试线时, 如果目标小区的信号电平比当前小区高 2dB, 则可以在两个网络之间无缝切换。主线 CBTC 系统和测试线 CBTC 系统为独立系统, 地面车辆通信共用主网, CBTC 系统互不影响。目前, 以上两种方式均应用于城市轨道交通。共享核心网方案实施更灵活, 无线电干扰更小, 不受测试线路和站址、接入段线路、干线线路的限制。单独的核心网方案更安全、更有保障, 遵循性能要求^[6]。因此, 项目的实施应慎重考虑场地条件、建设和运营要求等因素。

4 后续应用的相关思考

4.1 频率规划

频谱规划应考虑关键业务的保护和频谱利用率的提高。LTE-M 系统在提供 CBTC 业务时, 必须采用不同频率的双网备份。从线路上看, 考虑 GOA3 和 GOA4 的运行级

别, 网络 A 需要的频率为 5MHz, 网络 B 的带宽频率由是否负责整合决定 (5MHz 或更高)。在频率资源总量小于 10MHz 的城市, 网络 A 和网络 B 都只能使用 3MHz 或 1.4MHz 的带宽。从电路网络角度来看, 包括直放站频率规划、地面站和外场频率规划等。搬地下室的不同房子, 多是搬不同的楼层。一般来说, 这可以通过使用相同的频率来解决, 网络空间如何分离, 由于建筑结构的上下层至少引入了 20dB 的传输损耗和空间损耗。在一站式中转条件下实施该项目的主要目的是实现机器与系统的结合。

①交换机的两个电路使用不同的流量。在这个项目中, 网络 A 和网络 B 两个频段被分配给 CBTC。两条线路上的电台完全独立, 互不干扰。参见图 1。但是, PIS 和视频监控 (CCTV) 服务的带宽有限。换乘基站运营区列车数量少于其他基站。相应地, 域间基站的带宽可以为 1.4MHz。

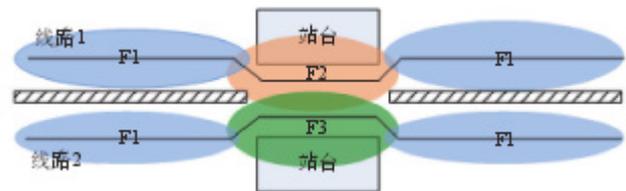


图 1 同站台换乘异频组网方案

②传输区域由两个环无线电覆盖。如果在规划此场景时两条线路未与主网络分开, 则当火车进出该区域时, 另一条线路将在两个网络之间循环, 从而产生 LTE-M 连通性测试。在网络之间切换可以满足 CBTC 要求。如果两条线路共同构成主网, 其他线路的列车进出该区域进行跨站换乘, 见图 2。



图 2 同站台换乘同频组网方案

理想情况下, 一个区域内的各个场地使用同频网络, 合理控制场地的基站区域。进出线范围必须由外部配电系统覆盖, 如漏电线, 维修厂由内部配电系统覆盖。维修场地不宜安装大型室外天线。

4.2 核心网组网方式

一方面, 移动通信系统的基站选择应与主网相同, 核心网是同一供应商的必要设备。另一方面, 从设备故障的影响来看, 缺乏多个共享网络设备影响较大, 导致核心网维护和维修困难。因此, 需要对几个单元共享的主核心网 (MME/SGW/PGW 等) 的电路规模进行管理。一个城市只需要建设两个 Hotline Network User Data Provider (HSS), 集成的 HSS 可以了解所有城市列车的管理。所有核心网络都通过

S6a 接口^[7] 连接到 HSS。在规划线路时, 需要考虑先接入哪些线路, 规划合适的 IP 地址。

4.3 多输入多输出 (MIMO) 技术

MIMO 技术在发射机和接收机中使用多个天线和信道。适用于城轨应用, 干线、CBTC 等对带宽要求不高的业务, 基本不考虑 MIMO。使用集成服务提供商模型时可以考虑 MIMO 技术。从实际的角度来看, 除了信噪比 (SINR) 要求外, MIMO 还有双向相关性要求。为满足 MIMO 的要求, 泄漏电缆之间的距离应至少为 70cm。MIMO 功能在满足双漏缆安装条件下, 小区平均下行带宽可提升 70% 左右。对于城轨 PIS 业务, 只有靠近 RRU 的近点才能满足 MIMO 要求。因此, MIMO 无法提高边缘带宽, 但可以帮助提高平均速度。

4.4 与其他系统的干扰控制

LTE 城域列车专网频段在 1785~1805MHz 范围内。

1.8G TDD 频段的高速部分旁边是全球移动通信系统 (GSM)。因此, 主要的干扰是 GSM 系统基站发射对 LTE 系统基站接收造成的干扰。这些干预措施可分为三种类型: 欺诈、预防和转移。为了满足杂散干扰隔离要求, TDD 和 GSM 系统之间的频率间隔必须为 600k。互调干扰是分离的主要需求, 但 GSM 系统拥有更多的频率资源, 可以通过频率协调来降低互调干扰对 TDD 的影响。如果周围 LTE 系统的带宽为 1.4M, 发射功率为 40W, 则 GSM 的总发射功率为 80W。针对局部顶层漏线, 移动平台采用定向天线, 两个系统之间没有频段分离, 间隙干扰距离要求 0.01km, 还是比较合理的。

与 1.8G TDD 频段相邻的较低频段为 LTE FDD 上行频率, 主要干扰来自发射 LTE TDD 系统基站对接收 LTE FDD 系统基站。两个 LTE 系统之间的基站间干扰和干扰隔离。在极端情况下, 在周边添加 1.4M 或 10M LTE 系统会使传输功率达到 40W^[8]。两个 LTE 系统的频率非常接近, 分离和

间隙距离要求适用于两个网络使用的天馈系统。间隙间隔距离要求如果地方地铁顶部采用漏泄电缆, 而电信采用定向天线, 两个系统之间不存在频段分离, 1.6M 频段分离 5M 频段。距离分别为 0.63km 和 0.5km 和 0.06km。漏泄电缆用于地铁或地铁通信时, 两侧漏泄电缆的总损耗约为 134dB, 超过了最差的隔离要求。因此, 对空间距离没有额外的分隔要求。

5 结语

总之, LTE 技术已经完全满足了城轨行业规模化应用的政策要求、相关技术标准要求和产品要求, 城轨业主致力于其应用。综合选择, 如考虑自身业务需求的结构和频率资源模型, 在自己的应用中进行频率规划, 选择合适的核心网模型和干扰控制模型。

参考文献

- [1] 陈伟, 许婧, 朱晨华. LTE 技术在城市轨道交通信号系统的设计与应用[J]. 长江信息通信, 2022, 35(4): 98-101.
- [2] 冯禹. LTE 技术在城市轨道交通车地无线通信系统中的应用[J]. 电声技术, 2022, 46(3): 120-123+128.
- [3] 陈景诚. 城市轨道交通信号系统 LTE 技术设计与应用[J]. 运输经理世界, 2022(1): 7-9.
- [4] 任继伟. LTE 车地无线通信传输在城市轨道交通中的应用[J]. 智慧城市, 2021, 7(8): 7-8.
- [5] 宁贝贝. LTE 与 WLAN 技术在轨道交通 PIS 系统应用对比[J]. 数字通信世界, 2020(9): 175-176.
- [6] 刘净, 陈燕. LTE 技术在城市轨道交通信号系统中的应用探讨[J]. 科技资讯, 2020, 18(22): 10-12.
- [7] 黄周平. 浅谈 LTE-M 技术在城市轨道交通中的应用[J]. 广东通信技术, 2020, 40(7): 5-8.
- [8] 胡少杰, 罗辉. 基于 LTE 的城市轨道交通车地通信综合承载系统分析[J]. 通信电源技术, 2020, 37(11): 149-150+153.