

上海轨道交通 LTE 综合承载网络架构研究

纪文莉

(上海申通地铁集团有限公司技术中心, 201103, 上海 // 高级工程师)

摘 要 分析了上海城市轨道交通全自动运行线路对于 LTE(长期演进)的网络需求,提出了 LTE 网络综合承载对网络架构的新挑战。为解决相关问题,在介绍基站共享技术和共享模式的基础上,提出通过 MOCN(多运营商核心网)模式、共享载频实现轨行区基站的共享,并分别接入线路级数据核心网、线网级集群核心网的新型轨道交通 LTE 网络架构。结合该方案的工程实践,明确了 LTE 网络的组成和系统配置,从而满足了不同业务的无线传输需求,提高了系统的可用性。

关键词 城市轨道交通; 长期演进; 综合承载; 网络架构; 基站共享

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.06.032

Study on LTE Comprehensive Bearing Network Architecture of Shanghai Rail Transit

Ji Wenli

Abstract The requirements of LTE network applied in Shanghai urban rail transit fully automatic operation lines are analyzed, and new challenges against network architecture caused by LTE network comprehensive bearing are demonstrated. In order to solve these problems, based on the base station sharing technology and sharing mode, a new rail transit LTE network architecture is proposed to realize the sharing of base stations in rail area by using MOCN mode and shared carrier frequency, and accessing to both EPC for data service of each line and EPC for broadband trucked communication. According to project application of this LTE network architecture, the composition and system configuration of LTE network are explicated, thus it satisfies the radio transmission requirements of different services and improves feasibility of the system.

Key words urban rail transit; LTE; comprehensive bearing; network architecture; base station sharing

Author's address Technology Centre of Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., 201103, Shanghai, China

城市轨道交通无线通信系统是其日常运营的神经系统,承担着列车运行控制、运营调度、应急通

信、企业管理等众多业务功能,是轨道交通网络正常运转的重要保障。随着城市轨道交通列车运行的自动化、智能化水平的不断提高,无线通信传输对大带宽、低时延、高移动性、高可靠安全的需求更加迫切。

LTE(长期演进)是 3GPP(第三代合作伙伴计划)组织制定的第四代无线通信技术标准。其通过扁平化的网络结构和高集成的网元设备,减少了网络节点和系统复杂度,从而在稳定性、切换性能、通信时延、安全性、可维护性等方面较 WLAN(无线局域网)系统具有明显优势,能较好地满足城市轨道交通高可靠业务的移动通信需求。在相关政策和标准的引导下,国内各城市轨道交通线路正积极建设 LTE 专用网络。少部分城市仅承载车载 PIS(乘客信息系统)业务,部分城市 LTE 用作 CBTC(基于通信的列车控制)无线专网,部分城市综合承载了 CBTC、车载 PIS 和车载 CCTV(闭路电视)等业务。

上海轨道交通 14 号、15 号、18 号线(以下简称“新三线”)均为全自动运行线路。目前,这 3 条线路都在建设基于 B-TrunC(Broadband Trunked Communication,宽带集群通信)标准的 LTE 网络,且 LTE 网络综合承载 CBTC、无线集群调度、车载紧急文本、车载重要的状态监控数据等业务。较之于其他城市,上海轨道交通承载的业务种类最多、集成要求最高、接口最复杂。

1 上海轨道交通 LTE 网络的要求和挑战

城市轨道交通专网较之于公共网络,对业务的连续性、可靠性、安全性、稳定性等方面具有更高的要求,并在网络架构和组网方案上具有较大的差别。本文将分析上海轨道交通引入基于 LTE 的无线通信专网所需满足的实施要求和业务承载,并针对上述问题,提出综合承载 CBTC、集群调度、车载重要的状态监控数据等业务的 LTE 专网的总体方案及其关键保障技术措施。

1.1 总体要求

城市轨道交通需要无线通信支持的系统包括列车运行指挥类系统和列车运行辅助类系统两大类。其中,列车运行指挥类系统主要包括 CBTC 系统和无线集群调度系统,该系统直接应用于行车指挥,以实现列车运行控制和列车运行人员间通信;列车运行辅助类系统主要包括车载 PIS、车载 CCTV、列车运行状态监测系统和移动信息化系统,该系统应用于辅助列车管理、降低列车故障率、增强信息传播和应急疏散能力等。

总体而言,列车运行辅助类的通信业务主要涉及管理、图像监视,以及与旅客服务相关的内容,对带宽容量要求比较高,但对 RAMS(可靠性、可用性、可维护性、安全性)的要求相对较低;涉及列车运行指挥的通信业务主要包括列车运行控制和调度方面的通信业务,其对通信的可靠性、响应速度及抗干扰能力等要求很高,对带宽容量要求较低。

LTE 承载 CBTC 和集群调度等业务,除满足 LTE-M(基于长期演进技术的城市轨道交通车地综合通信系统)等相关规范中的功能和性能指标外,还应满足:

- 1) 系统具有合理可靠的信息安全保护能力。
- 2) 系统应具备高可靠性,其关键部件/设备冗余配置及其网络架构应避免单节点故障等。除考虑充分的冗余外,CBTC 无线通信区域应至少实现双重无线覆盖。
- 3) 系统具有高实时性,语音通话和视频通信的时延不大于 150 ms 且服务连续不中断。
- 4) 呼叫接通速度快,通常要求组呼建立时间小于 300 ms。具备优先级设置,确保关键信息、指令畅通。

1.2 网络化要求

针对无线通信,城市轨道交通网络化提出了网络化支撑的目标:应实现网络无线通信系统的互联互通,形成网络化无线通信;结合路网和控制中心规划,解决无线交换组网架构及其分布实施方案,实现无线频点的统一规划与编号计划^[1]。

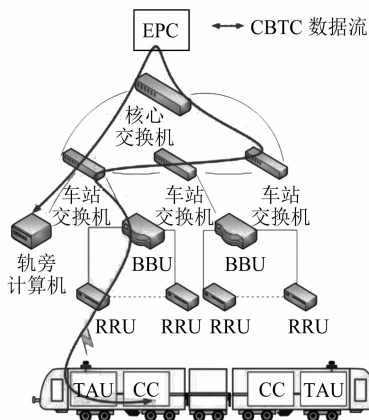
目前,行业内 CBTC 互联互通的场景需求主要可支持列车跨线运行。作为基础的无线通信,则要求配置的 TAU(车载接入单元)支持跨线运行,且为 CC(车载控制器)连接到不同线路的 ZC(区域控制器)提供稳定的传输通道,保证业务中断时延小于 2 s。

对于集群调度,应实现跨线路的互联互通和用户漫游,以服务换乘站统一管理、维护保障及应急管理场景的调度指挥。

1.3 LTE 网络综合承载对核心网的挑战

新三线为全地下线路,申请到了地下 20 MHz 的频段。因此,上海轨道交通 LTE 网络采用 A/B 双网冗余架构,其中,A 网无线侧配置频率为 15 MHz,综合承载 CBTC、集群调度、列车 PIS 紧急文本、列车实时状态监测、2 路车载 CCTV 等业务;B 网配置频率为 5 MHz,承载 CBTC、集群语音备份等业务。在承载行车指挥类业务的基础上承载行车辅助类业务系统的部分重要数据,发挥 LTE 综合承载网络的效益,更好地服务运营指挥管理。由于无线集群和 CBTC 这两大涉及行车指挥的业务均综合承载在 LTE 网络上,故对网络的可靠性、故障情况下的影响等提出了更大挑战。

LTE 系统主要分为 LTE 有线通信和 LTE 车地无线通信两部分。CBTC 业务与 LTE 网络的接口位于 TAU 和 EPC(演进分组核心)处,主要为 CBTC 业务传输列车实时运行信息以及地面下达的列车控制信息等。数据流向如图 1 所示。为满足 CBTC 无线通信系统冗余性的要求,LTE 建设了 A、B 双网系统,两网的核心网、接入网、终端设备均独立。CBTC 主要以本线内行车指挥控制为主,线路内配套建设 LTE 核心网。因 CBTC 系统安全性、独立性的要求,其重要的配套设备均需独立建设,包括传输网、电源等。目前未要求新三线实现 CBTC 互联互通,因此从信号专业角度而言,不建议 LTE 核心网之间互联,而需在线路侧分流 CBTC 业务数据。



注: BBU 表示基带处理单元; RRU 表示射频拉远单元。

图1 CBTC数据在LTE网络中的流向示意图

对于无线集群调度系统,上海轨道交通从 2005

年开始使用 TETRA(陆上集群无线电)制式、线网共享主备交换核心的网络。虽与 LTE 技术制式不同,但基于线网级交换核心的业务应用模式和故障切换机制已经成熟。另外,考虑到部分集群调度用户在网络内自由漫游的需求,系统需互联互通。因此,集群调度系统宜共享共建线网级核心网,在减少线路间系统接口和数据交换节点的同时,实现核心网的资源共享,使得网络化运营和维护团队能获得统一的集群调度通信服务,并有效提高系统资源利用率。

2 上海轨道交通 LTE 网络架构和组成

城市轨道交通行业内建设的 LTE 综合承载网络大多是考虑在 CBTC 业务的基础上,综合承载车载 PIS、CCTV 等业务,且大多以线路内业务为主。上海轨道交通 CBTC、通信两专业在核心网互联共享的需求存在矛盾的情况下,为保障网络后续管理、维护界面清晰,基站共享技术提供了解决方案。

2.1 基站共享技术及模式

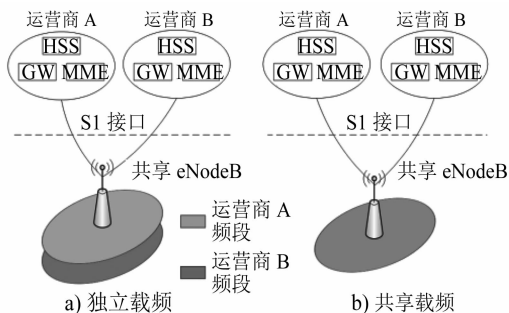
目前,基站共享在公众移动通信中已有不少部署案例,如沃达丰和 Orange 公司在乡村场景 LTE 2 100 MHz 的频段采用独立载频的方案共享基站,核心网相互独立;电讯盈科和香港电讯通过共享载频的方式部署了共享基站。中国联通和中国电信深度合作推进共享基站的建设,着眼于至少一方存在不良覆盖的场景以及业务质量较低、亟待改善的场景,主要包括偏远乡镇、农村等广覆盖区域,以及高铁、高速公路和部分室分场景^[2]。

3GPP TS 23.251 中定义了基站共享架构,包括 GWCN(网关核心网)和 MOCN(多运营商核心网)两种模式。MOCN 模式仅仅共享 RAN(无线接入网络),而 GWCN 模式除了共享 RAN 之外,还要共享 MME(移动管理单元)和核心网关。

两种模式下,共享的 RAN 都可以连接到多个运营商核心网节点。需要广播每个运营商的 PLMN(公共陆地移动网络)号,以保证不同运营商的用户都能够接入网络。在共享模式下,用户无感知,不会降低用户业务体验感受,对终端基本无要求。GWCN 架构共享的资源更多,但核心网部分涉及到的改动量更大,用户管理、业务计费参数的统一配置难度非常大。而 MOCN 模式则不共享核心网,实施较简单。

MOCN 模式下,从载波资源配置角度,基站共

享技术可进一步分为独立载频、共享载频两种模式^[3],如图 2 所示。



注: HSS 表示归属用户服务器; GW 表示网关; eNodeB 表示 LTE 基站。

图 2 MOCN 模式基站共享示意图

2.2 上海轨道交通 LTE 网络架构

为解决 CBTC 和集群调度两专业对于 LTE 核心网互联共享需求的矛盾,上海轨道交通新三线分别建设 LTE 线路级和线网级核心网。线路级核心网由信号专业在各条线独立配置,服务数据用户;线网级核心网由通信专业建设,服务集群用户。因 LTE 核心网可容纳 5 万个以上的集群用户同时在线,基站接入容量大于 1 000 个,考虑到轨道交通单线的基站和集群用户数量有限,为充分利用 LTE 核心网资源,线网级核心网应由多线共享。通过基站共享技术,共享使用轨行区的基站,并将不同的用户分别接入到对应的核心网中。

按照服务不同用户和业务配置,两种核心网资源不需共享,因此可采用 MOCN 模式进行基站共享。考虑到轨道交通统一申请频率,为提升频率的使用效率,可将有限的频率资源供相关业务灵活使用,且通信、信号两专业的接口界面已较清晰,故共享基站采用共享载波模式。

共享基站综合接入数据用户和集群用户,同时广播两个网络的 PLMN,并将两种用户的业务传输至不同核心:数据用户的业务通过信号系统的有线网络上传至单线路 LTE 核心设备进行处理;集群用户的业务通过通信专业传输网至控制中心后,再通过网络级传输网(又称高速数据网)连接至线网级 LTE 集群核心。A 网架构如图 3 所示。B 网架构与 A 网架构类似,只是承载的业务种类更少,且没有非轨行区的天馈系统。

正常情况下,集群业务由 A 网进行承载。当 A 网发生故障时,集群用户应能通过频率重选快速切换到 B 网承载,并接入到线网级集群核心网。采用此架构,一方面共享无线接入层资源,提高了频率

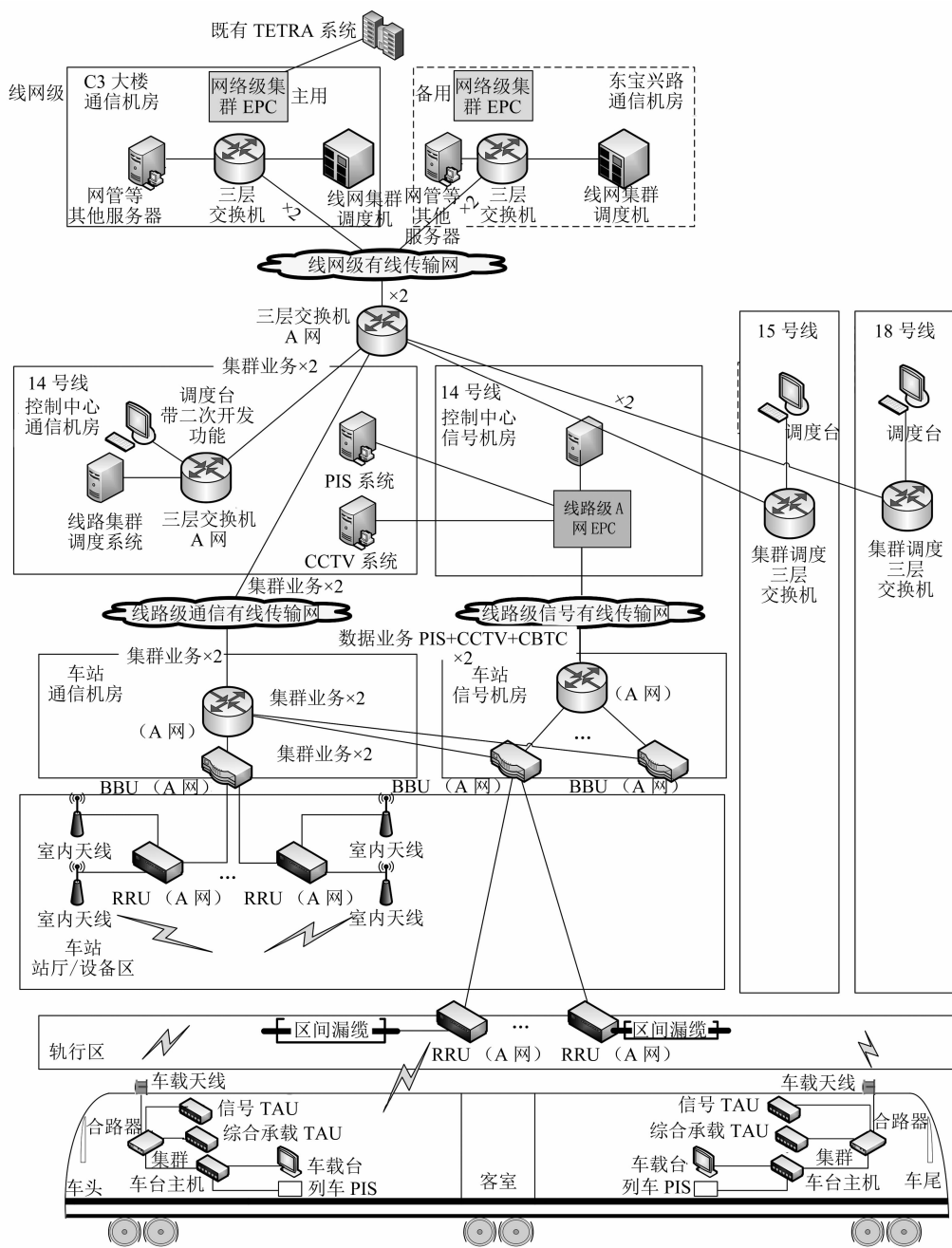


图 3 上海轨道交通新三线 LTE 系统 A 网架构和组成示意图

和无线接入层的综合利用率;另外,通过增加了线网级的集群核心网,解决了两种业务在核心网互联互通方面的矛盾;而且,保持 CBTC 和集群业务一定的独立性,提高了系统的可用性,也有利于后续维护管理。除上海轨道交通外,宁波地铁 3 号线的 B 网基站也采用了基站共享技术,但上海轨道交通在共享的范围和深度上有了进一步提升。

2.3 系统组成

上海轨道交通 LTE 综合承载网络主要分为核

心网、无线接入系统、终端 3 大部分。

2.3.1 核心网

核心网主要实现了网络核心交换功能、网络控制管理功能,以及与其他业务系统(如数据核心网和集群核心网)接口的连接。其中,数据核心网由各条轨道交通线路独立冗余配置,即每条线路设置 A、B 两套核心网,以实现数据业务的控制管理和接口连接。而集群核心网多线共享、统一设置,并异地设置备份以提高核心网的可靠性。集群核心网

包括 EPC 设备、线网集群调度机、网管服务器、三层交换机等。

2.3.2 无线接入系统

对于正线区域,在车站机房设置 BBU。在区间设置 RRU,两个 RRU 间距不超过 1.2 km;采用 2 根泄漏同轴电缆分别馈入 A、B 网络信号进行覆盖,不进行合路。另外,在站厅和设备区等区域设置天线,接入至独立的 RRU。

对于车辆基地,在机房内设置 BBU,在停车库、DCC(车辆段控制中心)办公区等区域设置 RRU,并根据现场环境进行泄漏同轴电缆覆盖或天线覆盖,为区域内终端设备提供无线接入服务。

2.3.3 终端

终端主要包括调度台、手持台、固定台、TAU 及集群车载台等。其中,TAU 为信号、车载视频等业务系统提供数据接口,且信号系统独立设置 TAU;集群车载台用于集群调度通信。所有的车载终端应共用车载天线,车载天线安装在车体外侧,并尽量与泄漏同轴电缆保持视距。系统应为调度人员配置调度台,为车站行车值班员配置固定台,以及为车站管理人员、维保人员、运营管理人员配置手持台。

另外,鉴于城市轨道交通行业调度台和车载台应具有特色功能和界面的要求,因此还需要在控制中心设置集群二次开发调度服务器。

2.4 系统配置

系统的主要配置包括:

1) 基站配置。BBU 的版本支持基站共享功能,RRU 和天馈都不需要因基站共享进行改造。但基站应配置唯一的 eNodeB ID(标志),以及统一的特性参数,统一规划 TAC(跟踪区域码),以确保实现正确的位置更新和寻呼流程。

2) 传输方式。在 3GPP 的规范中,已经定义通过多个 PLMN 标志支持多个不同运营商。终端基于 PLMN 通过 S1 接口选择正确的核心网。共享基站分别与线路数据、线网集群核心构建 S1 链路,基站端的 S1 链路使用独立的 S1 接口 IP。

3) 资源管理。RRC(无线资源控制)连接数及总的吞吐量均为基站级资源,集群、数据业务可共享使用。在共享载波配置模式下,可以考虑动态地对资源进行调配。上海轨道交通 A 网资源由 CBTC、集群调度业务、列车 PIS 紧急文本、列车实时状态监测、2 路车载 CCTV 业务共享使用。LTE 网络综合承载业务优先级设置如表 1 所示。

表 1 LTE 网络综合承载业务优先级

业务类型	优先级	说明
CBTC	1	包含根据运营场景定义的,需要在 ATS(列车自动监控)上显示的车辆关键故障数据
语音集群(含应急广播)	1	
紧急文本	2	
视频集群	3	
车载视频监控业务	4	仅包含 2 路视频
列车运行状态数据	5	列车运行状态的打包数据
信号车载设备关键状态数据	5	信号车载设备的运行状态和日志

3 结语

本文分析了上海轨道交通 LTE 网络需求,鉴于 LTE 网络综合承载 CBTC 和无线集群调度业务,对于网络架构提出了新挑战。本文介绍了基站共享技术和共享架构,提出通过 MOCN 模式、共享载频实现上海轨道交通轨行区基站的共享,提出了上海轨道交通 LTE 网络的架构和组成,并明确了系统的配置。从而在共享无线接入层资源的基础上,保持 CBTC 和集群业务一定的独立性,提高了系统的可用性,也有利于后续维护管理。

参考文献

[1] 黄辉. 基于 TDD-LTE 技术的城市轨道交通车地无线通信网络化技术[J]. 城市轨道交通研究,2016(4): 29.

[2] 宋蒙,聂昌,周瑶. 4G 网络基站共享技术研究[J]. 移动通信,2016(22): 3.

[3] 杨继东. LTE FDD 基站共享技术在高铁 4G 合作建设中的应用[J]. 河南科技,2017(5): 53.

(收稿日期:2020-02-17)

《城市轨道交通研究》欢迎投稿

投稿网址:tougao.umat1998.com