

无线通信系统在城市轨道交通中的设计研究

杨 波

贵阳市城市轨道交通集团有限公司, 贵州 贵阳
Email: 408334545@qq.com

收稿日期: 2020年9月8日; 录用日期: 2020年9月18日; 发布日期: 2020年9月30日

摘 要

本文结合某城市轻轨3号线工程, 对专用通信系统中的无线通信系统进行分析, 包括对无线通信系统的设计原则、功能定位、制式选择、网络架构、基站配置及无线覆盖方案进行研究并提出设计方案, 相关结论通过专家论证认可, 已运用到具体项目中。

关键词

轨道交通, 无线通信, 集群系统, 无线覆盖

Design and Research of Wireless Communication System in Urban Rail Transit

Bo Yang

Guiyang Urban Rail Transit Group CO., LTD., Guizhou Province, Guiyang Guizhou
Email: 408334545@qq.com

Received: Sep. 8th, 2020; accepted: Sep. 18th, 2020; published: Sep. 30th, 2020

Abstract

In this paper, combined with a city light rail line 3 project, the wireless communication system in the special communication system is analyzed, including the design principle, function positioning, mode selection, network architecture, base station configuration and wireless coverage scheme. The relevant design conclusions have been applied to specific projects and approved by experts.

Keywords

Rail Transit, Wireless Communication, Cluster System, Wireless Coverage

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

通信系统是地铁的中枢神经系统, 通信系统为迅速、准确、可靠地传送地铁运营、管理所需的各种信息提供保障, 这些信息包括普通语音、广播、文字、数据及图像信息等, 同时还应能为其它有通信传输通道需求的系统提供相应的传输通道。通信系统包含专用通信系统、乘客信息系统、民用通信系统和公安通信系统四个相对独立的系统。其中, 专用通信系统包括: 专用传输系统、无线通信系统、公务电话系统、专用电话系统、视频监视系统、广播系统、时钟系统、通信电源系统及接地、集中网络管理系统、计算机网络系统等共 10 个子系统。

现有的城市轨道交通通信系统存在的问题集中在 5 方面, 分别是: 1) 统筹规划不足, 多按照单线进行设计, 导致通信设备的物理位置分散、占用面积大, 后续存在重复投资风险; 2) 为保险起见, 备用电源的负荷能力设计过高, 存在较大浪费; 3) 通信系统中的各个子系统没有实现信道共享, 导致通信信道闲置浪费严重; 4) 各子系统、各线轻轨间不能有效互联互通, 存在“烟囱”现象; 5) 各子系统、各线建设中的硬件及软件标准化不足, 导致升级复杂且兼容性差。由于标准规范的不足、甚至缺失, 导致国内城市轨道交通信息化建设及运营方面存在信息孤岛严重、各通信子系统单独组网运营, 不能进行信息集中处置和统一调度; 通信设施分散致整体利用率低; 网络资源浪费; 安全管控方案由各子系统单独建设, 缺乏统一调度和维修能力不足等问题。

本文以西南某省会城市轨道交通 3 号线工程为对象, 对专用通信系统中的无线通信系统定位要求展开分析, 并提出具体设计建议, 通过顶层设计统筹、分项工程深化设计相结合的方式, 实现标准规范和服务能力统一, 解决上述问题。

2. 工程概况及原则

本项目为西南某省会城市的新建城市轨道交通 3 号线的一期工程, 工程项目线路全长 43 公里, 均为地下线, 共有车站 29 座, 设停车场 2 个、主变电所 3 座, 控制中心位于 3 号线与规划的其它轻轨线换乘站附近, 要求与已投入运营的 1 号线和在建的 2 号线实现资源共享和互联互通。

2.1. 通信系统整体原则

本项目充分考虑该市城市轨道交通线网的总体建设规划, 做到技术与经济的统一, 充分考虑安全、环保和社会效益。系统既能满足本线的运营、维护和管理要求, 又能保证城市轨道交通线网通信系统网络建设的合理性。同时, 在设计中明确通信系统在灾害或事故的情况下应作为应急处理、指挥抢险救灾的通信手段。因此, 整体上通信系统应具备高可靠性、技术先进、易扩充、开放性、通用性、灵活性, 能满足与在建和规划其他线路之间以及公用电信网络之间良好的互联互通能力[1]; 并能满足轨道交通运营、维护和管理语音、数据、文字、图像等信息的处理、传输、交换和应用需求。

2.2. 无线通信系统设计原则

本项目无线通信系统设计中按照线网的总体建设规划进行深化设计,充分考虑本线与在建线和规划线在换乘站的设计;同时结合建设工期和建设计划,合理设计好与各系统的界面划分和衔接;既要满足本线的运营、维护和管理的要求,又能保证与在建线路通信系统的互联互通,并应具备衔接后续建设系统的能力,使该市轨道交通整体通信网络结构合理,充分利用在建通信各子系统设备,最大限度地做到信息和资源共享,充分发挥通信网络的整体效益,保证满足通信网络的统一维护和管理要求[2]。

具体方案设计中,要保证通信系统具有良好的兼容性,从线网层面考虑,尽量选用统一制式的技术和设备,以便于通信系统的互联互通、资源共享,以利于轨道交通的运维管理[3]。通信系统应尽量实现数字化、模块化,采用符合国家技术标准和 ITU 建议的标准设备;并结合 3 号线的具体环境进行设计,设备严禁侵入限界。

2.3. 换乘站设计原则

换乘站应分系统、分情况具体分析,划分各线间的界面及接口,先建线路应为后建线路预留设备容量及接口,在先建线路及前期工程中应充分考虑配套的电源、设备用房及相关沟槽管洞等配套工程,做好预留。换乘站可共享共用公务电话、视频监控、广播等系统设备,由先期建设线路实施,并预留后期建设线路的接入条件。

3. 无线通信系统定位及制式

为满足 3 号线一期工程语音和数据通信服务,无线通信系统的使用人员包括固定工作人员和流动作业人员两类。固定工作人员包括控制中心调度员、车站值班员、车辆段/停车场值班员等人员,流动作业人员包括司机、车站、车辆段/停车场勤务人员、维修人员、环控人员等。同时,无线通信系统应安全、可靠,具有一定的技术先进性,并易于扩展。根据轨道交通运营和管理的实际情况,本工程无线通信系统设置以下行车调度子系统、维修调度子系统、防灾环控调度子系统、总调子系统、停车场调度子系统共计 5 个子系统。其中,行车调度子系统供行车调度员、列车司机、车站值班员、站台值班员之间进行通信联络满足行车要求;维修调度子系统供维修调度员与现场值班员之间进行通信联络,满足线路、设备日常维护及抢修要求;防灾环控调度子系统供防灾环控调度员、车站值班员、现场指挥人员及相关人员之间进行通信联络,满足事故抢险及防灾需要;停车场调度子系统供停车场值班员、运用库运转值班员、列车司机、场内作业人员之间进行通信联络,满足场内调车及车辆维修需要。

专用无线通信系统组网方案的构成详见图 1。

3.1. 系统功能定位设计

无线通信系统具有呼叫功能、通话功能、优先级功能、数传功能、广播功能、网络管理、录音功能、故障弱化功能、动态重组功能等主要功能。结合该市轨道交通运营管理需求,将无线通信系统分为正线无线调度通信通话组和车辆段/停车场无线调度通信通话组。其中正线无线调度通信子系统含行车无线调度通信通话组、环控(防灾)无线调度通信通话组和维修无线调度通信通话组等[4]。

3.2. 无线通信制式设计

目前专用无线通信可供选择的技术体制有两大类,分别是窄带数字集群系统、具备调度呼叫功能的宽带 LTE 系统。

1) 窄带数字集群系统中最具代表性的是陆地集群无线电通信(Terrestrial Trunked Radio, TETRA)系统,是在我国城市轨道交通发展初期经过大量的分析对比、研究论证而选定的轨道交通无线通信技术体制。

TETRA 数字集群通信系统包括基于本系统的车辆定位(AVL)、单兵定位(APL)、短信、状态信息、数传, 语音呼叫、调度等功能, 具有频谱利用率高、技术成熟完善, 其强大的调度通信功能非常适合用来组建轨道交通专用无线通信系统, 缺点是无法支持宽带数据传输业务。

2) 具备调度呼叫功能的 LTE 系统为近年来新的通信体制, 除具备调度呼叫功能后, 其大带宽的特性还能够综合承载移动数据业务。但其目前仅在港口与石油行业有相关应用, 轨道交通行业目前未见有开通项目。

结合上述系统特点, 并考虑到该市轨道交通 2 号线工程已采用 800 MHz 频段的 TETRA 数字集群方案, 本工程为保证系统延续性, 也推荐采用 TETRA 数字集群制式组建无线通信系统, 但紧密跟踪具备调度呼叫功能的 LTE 系统的发展。系统应能与该市先期建成专用无线通信系统相兼容, 并实现互联互通。

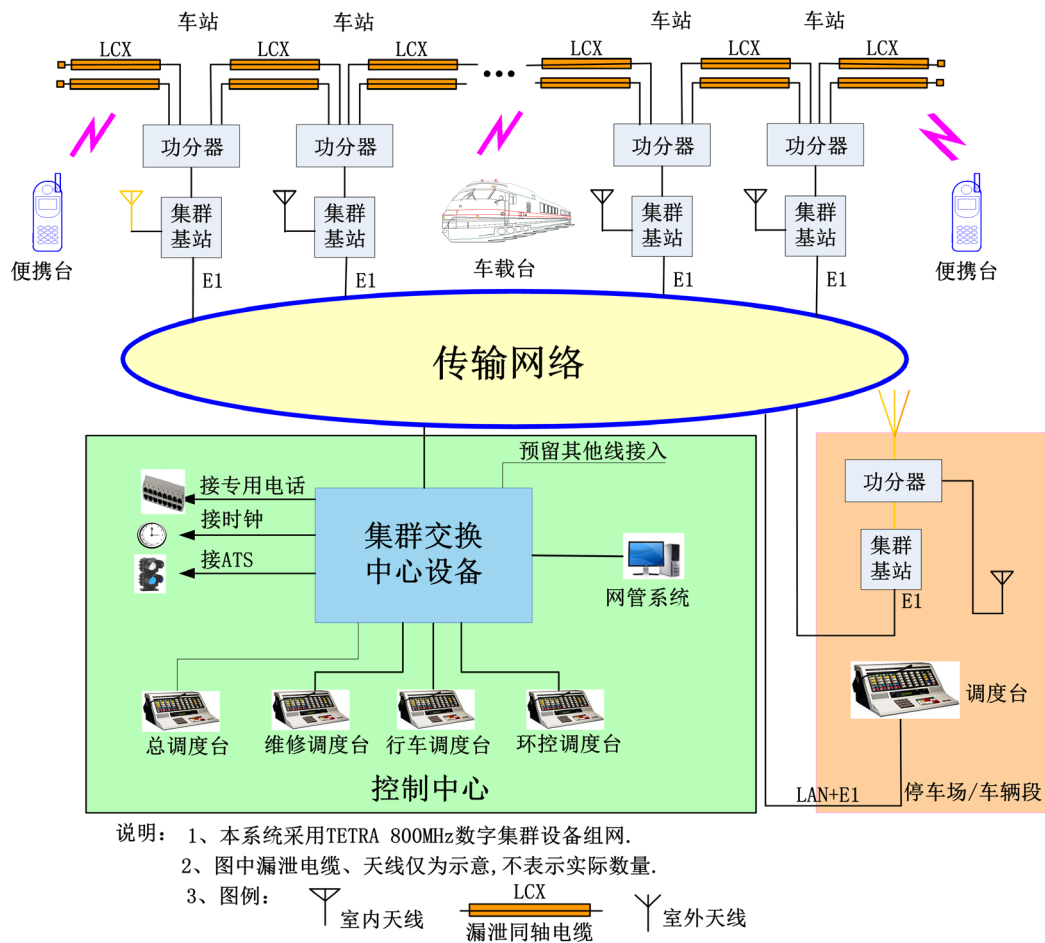


Figure 1. Network diagram of special wireless communication system
图 1. 专用无线通信系统组网图

4. 无线通信网络结构及覆盖设计

4.1. 基站配置方案

根据轨道交通线路的特点, TETRA 数字集群通信系统按基站设置方式的不同[5], 包括小区制、中区制、大区制三种网络结构。

1) 小区制：在控制中心设置交换控制设备，在轨道交通沿线各车站设置基站，交换控制设备与基站之间通过有线传输通道连接，轨道交通沿线架设漏泄同轴电缆或采用空间波实现全场强覆盖。小区制的缺点是投资较高，列车司机与行车调度员之间的通话存在较多越区切换；优点是信道利用率高，系统的故障弱化能力强，能够实现车站值班员与接近列车司机之间无须拨号就能建立通信联系。

2) 中区制：在控制中心设置交换控制设备，在轨道交通沿线的重要车站设置基站，其它车站设置光纤直放站，交换控制设备与基站之间通过有线传输通道连接，轨道交通沿线架设漏泄同轴电缆。中区制在设备投资、信道利用、越区切换频次、故障弱化能力等方面均介于大区制与小区制之间，不具备小区制的小三角通信功能。

3) 大区制：在控制中心设置交换控制设备和基站，在轨道交通沿线车站均设置光纤直放站，轨道交通沿线架设漏泄同轴电缆实现全场强覆盖。大区制的优点是投资较省，列车司机与行车调度员之间的通话不存在越区切换；缺点是信道利用率不高，故障弱化能力较差，不能实现小三角通信。此外，大区结构不易扩容也是其致命弱点。因为3号线工程是分期建设的，其后续工程注定是要在一期工程系统之上进行扩容。

移动通信系统中不提倡采用信道数过多的大区制系统，而建议采用大区分裂成小区的方案。也就是说从话务量与服务质量的关系角度出发，多基站的中、小区制方式优于单基站的大区制方式。综合所述，本设计推荐采用小区制结构组建3号线一期工程专用无线通信系统。

4.2. 无线通信系统方案

无线覆盖设计采用如下方式进行其场强覆盖：

1) 沿线隧道区间和沿线岛式车站站台区主要采用漏泄同轴电缆辐射方式进行场强覆盖，对于超长人行通道也可采用漏泄电缆覆盖；

2) 沿线车站站厅区(含部分出入口通道)及侧式车站站台区采用室内吸顶低廓天线进行场强覆盖；

3) 车辆段/停车场地面区域主要采用室外全向天线进行场强覆盖，对运用库采用低廓天线进行场强覆盖；

4) 中心集群交换控制设备设置方案，共享1号线在线网控制中心设置的集群交换控制设备，本期3号线在新建控制中心新设中心集群交换控制设备。

由于3号线控制中心为新建控制中心，为了便于工程实施，保障系统可靠性，保证网络建设灵活、方便。因此，本工程在新建控制中心新设中心集群交换控制设备。

本期工程，无线通信系统采用800 MHz频段的TETRA数字集群调度系统，系统由TETRA基础设施、调度设备、无线终端和天馈系统组成。中心集群控制设备与基站及远程调度台之间通过专用传输系统提供的传输通道点对点连接[6]。

1) 在控制中心新建集群交换机，并新设调度设备，包括行车调度台、维修调度台、防灾环控调度台、总调度台；在车辆段设置车辆段调度台2套；在控制中心设置3号线集群网管设备1套；在一期工程24座车站设置24个2载频基站，在车辆段设置2载频数字集群基站设备1套，基站通过有线传输通道与控制中心集群交换机相连，在中心控制器的指挥下控制一期工程基站设备的正常运行。

2) 在各车站配置固定电台；为列车配置车载台；为流动人员配置手持台。在车站站厅、办公区域采用无源小天线加射频电缆的方式进行覆盖，根据站厅和办公区域的面积、布置和结构采用3副—6副天线进行覆盖，收发天线共用。

3) 在区间采用漏缆方式进行覆盖，借助漏缆的线状覆盖特性，能较好的对区间进行场强均匀的覆盖。在较长隧道区间增加光纤直放站进行覆盖，站台一般较窄，借助轨道线路漏缆一并覆盖，以降低工程难

度和复杂度,减少施工量。在隧道区间,漏缆架设在隧道顶部区域;在站台区域,根据建筑结构和装修的情况,确定漏缆的具体位置。覆盖考虑换乘站公共区域的覆盖。

4.3. 无线覆盖方案

本期工程无线通信系统的无线场强覆盖范围主要包括控制中心大楼、运行线路全线各车站的站台、站厅及区间,以及整个车辆段、停车场地面区域,包括检修库、运用库等[6]。其服务呼叫损耗率 $GoS \leq 2\%$,在无线调度网内的通话语音质量达到三级标准(音频带内信噪比 ≥ 20 dB),进入市话网的通话语音质量达到四级标准(音频带内信噪比 ≥ 29 dB),干扰保护比同频 ≥ 19 dB、邻频 ≥ 45 dB [7],无线覆盖边缘场强一般接收机动态参考灵敏度为:基站-106 dBm(上行)、移动终端-103 dBm(下行) [8],设计储备余量取 6 dB;在满足信噪比和可靠性(时间地点覆盖概率为 95%)的要求前提下,最小接收电平下行(从基站至便携台)每载波不低于 85 dBm(在便携台天线输入端),上行(从便携台至基站)每载波不低于 88 dBm(在基站输入端)。

5. 总结

整体上,本期工程无线通信系统由 TETRA 集群移动交换控制中心设备、网络维护管理设备、行调、环调/灾调、维调等处调度台、沿线各车站、车辆段/停车场 TETRA 集群基站设备、列车车载台、车站固定台、移动人员手持台、漏泄同轴电缆及天线组成。对于超过 2000 米的隧道区间通过设置光纤直放站,并采用光纤直放站 + 天线的方式,对车辆段/停车场的运用库、检修库实施室内覆盖。本文结合某城市轻轨 3 号线工程,对无线通信系统的设计原则、功能定位、制式选择、网络架构、基站及无线覆盖进行详细设计。相关设计方案结论已运用到具体工程项目中,通过专家论证认可。

参考文献

- [1] Usman, M., Wajid, M. and Ansari, M.D. (2020) Enabling Technologies for Next Generation Wireless Communications. CRC Press, Boca Raton, FL.
- [2] 据振,徐济仁,金虎,吴东升,赵小兰. 无线通信信号幅频特性和相移特性探讨[J]. 广播电视网络, 2020, 27(9): 99-100+104.
- [3] 沈强,王征. 有线无线融合的城轨可视化调度研究[J]. 铁路技术创新, 2019(6): 6-16.
- [4] 姜磊. 城市轨道交通通信传输系统的组网[J]. 电子技术与软件工程, 2019(3): 20.
- [5] 李艳芳. 基于 TETRA 无线通信系统在城市轨道交通中的应用[J]. 自动化技术与应用, 2019, 38(12): 75-77 + 149.
- [6] 刘洋. 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[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(12): 29-32.
- [7] 刘建. 上海轨道交通 5 号线 LTE 系统方案设计与部署[J]. 城市轨道交通研究, 2019(11): 160-163.
- [8] 司朝刚. LTE 车地无线通信系统互联互通测试研究[J]. 中国新技术新产品, 2019(4): 37-38.