

北京大兴国际机场线基于 LTE-M 系统的业务综合承载方案

蔡京军^{1,2} 丰磊³ 马兰³ 沈强^{1,2} 潘皓^{1,2}

(1. 北京市轨道交通建设管理有限公司, 100068, 北京;

2. 城市轨道交通全自动运行系统与实时监控北京市重点实验室, 100068, 北京;

3. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 100160, 北京//第一作者, 高级工程师)

摘要 以北京大兴国际机场线 LTE-M (Long Term Evolution-Metro, 地铁长期演进系统) 为例, 介绍了 LTE-M 系统频率划分方案、LTE-M 系统综合承载的各项业务及其 LTE-M 系统的需求, 以及承载列车运行直接相关业务的 LTE-M 系统的构成及承载列车生产及维修相关业务的 LTE-M 系统的构成。北京地铁新机场线 LTE-M 系统整合了车地间多种数据业务的类型, 可满足列车高速行驶下多种业务的高可靠性、高稳定性、高安全性传输要求。

关键词 北京大兴国际机场线; 车地通信; 地铁长期演进系统; 综合承载

中图分类号 U285.21

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2019.12.043

Business Comprehensive Bearing Scheme for Beijing Daxing International Airport Express Based on LTE-M System

CAI Jingjun, FENG Lei, MA Lan, SHEN Qiang, PAN Hao

Abstract Taking the LTE-M (long term evolution-machine to machine) system adopted on Beijing Daxing International Airport Express as an example, the LTE-M system frequency division scheme, various businesses carried by LTE-M system, demands of the LTE-M system, the structure of LTE-M system that bears the business directly related to train operation and train maintenance are introduced. Since the LTE-M system adopted on Beijing Daxing International Airport Express integrates a variety of vehicle-ground data businesses, it meets the demand of high reliability, high stability and high safe data transmission for many businesses under the circumstances of high-speed train operation.

Key words Beijing Daxing International Airport Express; train-ground communication; LTE-M; comprehensive bearing

First-author's address Beijing MTR Construction Administration Corporation, 100068, Beijing, China

城市轨道交通车地间无线通信业务及种类越来越多, 原各业务独立建设有多张车地无线通信网, 存在网络相互干扰、重复建设、资源浪费, 以及网络可靠性、可用性较低等问题, 为解决这些问题并保证城市轨道交通的安全运营, 迫切需要整合车地间无线通信业务进行统一承载。本文以北京大兴国际机场线(以下简称“大兴机场线”)建设为例, 探讨 LTE-M (Long Term Evolution-Metro, 地铁长期演进系统) 实现综合承载车地无线业务的可行性及合理性。

1 LTE-M 技术

2014 年, 由北京市交通委员会、北京市科学技术委员会、北京市经济和信息化委员会、北京市轨道交通建设管理有限公司会同北京轨道交通指挥中心、北京地铁运营公司组织北京交通大学、北京全路通信信号研究设计院集团有限公司以及国内通信信号的主流厂商在 TD-LTE (时分长期演进) 基础上共同提出了满足城市轨道交通综合业务需求的车地通信系统 (LTE-M), 并进行了联合攻关, 对 LTE-M 综合承载 CBTC (基于通信的列车控制)、(PIS) 乘客信息系统、车载 CCTV (视频监控) 等业务进行了可行性验证工作。

LTE-M 系统采用了 OFDM (正交频分复用)、MIMO (多输入多输出)、调度、反馈等多种先进技术, 大容量、高速率是其区别于其他系统的基本特征。

1.1 安全性

LTE-M 系统的安全性主要体现在以下 3 个方面:

1) 专用频率。大兴机场线 LTE-M 系统使用国家无线电委员会批准的专用频率, 可在获批频率范

围内合法使用频率资源。LTE-M 系统终端为针对性定制终端,其它终端无法搜索该频率且无法接入该网络。

2) 双向鉴权。LTE-M 终端在注册网络时,需将自己的 key 信息上报给核心网,核心网对该信息进行鉴权,同时核心网也会将自己的 key 信息发送给终端进行鉴权。只有当双向鉴权全部通过后,才允许终端接入网络进行正常业务。

3) 高加密算法。LTE 网络支持 AES、Snow 3G 和祖冲之加密算法,优先采用祖冲之加密算法。祖冲之加密算法是我国自主设计的流密码算法,被 3GPP(第三代合作伙伴计划)LTE 采纳为国际加密标准,即第四代移动通信加密标准,广泛应用于国防、电力、水利、公安等行业。

1.2 抗干扰性

为了提高 LTE-M 系统用户在小区边缘的数据传输速率,支持同频组网,LTE-M 系统采用小区间干扰协调(ICIC)技术来决定如何调度和使用无线

资源,以提高小区边缘的数据速率和覆盖。ICIC 技术实现简单、效果较好,是 LTE 抑制小区间干扰的主流技术。

2 大兴机场线 LTE-M 无线频率规划

根据工信部无[2015]65 号^[1],规定及北京市无线电管理局的《北京市轨道交通视频传输无线专网使用频率通知书》,结合大兴机场线运营情况,该线 LTE-M 系统的频率配置方案如下:

1) 地面区域频率范围为 1 785~1 800 MHz,A 网使用 10 MHz(1 785~1 795 MHz)带宽同频组网,B 网使用 5 MHz 带宽(1 795~1 800 MHz)同频组网。

2) 地下区域频率范围为 1 785~1 805 MHz,A 网使用 15 MHz(1 785~1 800 MHz)带宽同频组网,B 网使用 5 MHz(1 800~1 805 MHz)带宽同频组网。

具体频率分配如图 1 所示。



图 1 大兴机场线 LTE-M 系统频率规划图

A 网为综合承载业务网络,在地面区域占用了 10 MHz 频宽,在地下区域占用了 15 MHz 频宽。按照上述频率配置,保证了 A 网能够有足够的频宽进行多种业务的综合承载。

3 大兴机场线 LTE-M 系统综合承载业务

大兴机场线综合承载业务主要包括列车运行直接相关业务、生产类业务和维修类业务三类。

3.1 列车运行直接相关业务

1) CBTC 列车运行控制业务。根据列车在线路上运行的客观条件和实际情况,对列车运行速度及制动方式等状态进行监督、控制和调整。CBTC 列车运行控制业务对 LTE-M 系统有以下需求:

- (1) LTE-M 系统的可用性不低于 99.99%;
- (2) 对 QoS(服务质量)要求高,整个 LTE-M 系统最优先保证该业务的传输,该业务的传输不受其他业务传输的影响;
- (3) 列车运行速度达到 200 km/h 时,LTE-M

系统能够满足性能要求;

(4) 求 LTE-M 系统单路单向传输时延不超过 150 ms 的概率大小于 98%,不超过 2 s 的概率大小于 99.92%;

(5) LTE-M 系统的丢包率不超过 1%,中断时间不超过 2 s 的概率不小于 99.99%;

(6) GOA1 和 GOA2 下,列车运行控制业务数据周期性发送,LTE-M 系统每路传输速率上下行分别不小于 256 kbit/s;

(7) GOA3 和 GOA4 下,列车运行控制业务数据周期性发送,要求 LTE-M 系统上行每路传输速率不小于 512 kbit/s,下行每路传输速率不小于 512 kbit/s^[3]。

2) 列车紧急文本下发业务。是地面 PIS 服务器发送给车载 PIS 终端的紧急文本信息。列车紧急文本下发业务对 LTE-M 系统有以下需求:

(1) LTE-M 系统支持地面任意时刻可以传送紧急文本信息给线路上任意地点的车载设备;

(2) LTE-M 系统可点对点、点对多点传输;

(3) LTE-M 系统传输时延不超过 300 ms 的概率不小于 98%;

(4) LTE-M 系统丢包率不大于 1%;

(5) 列车紧急文本下发业务为随机性数据,要求 LTE-M 系统传输速率不小于 10 kbit/s。

3) 列车运行状态信息监测业务。将列车运行状态实时监测系统传感器采集到的列车关键参数实时传送到地面监测中心。列车运行状态信息监测业务对 LTE-M 系统有以下需求:

(1) 列车运行状态信息监测业务为周期性数据,要求 LTE-M 系统可进行点对点传输;

(2) LTE-M 系统传输时延不超过 300 ms 的概率不小于 98%;

(3) LTE-M 系统丢包率不大于 1%;

(4) GOA1 和 GOA2 下,LTE-M 系统上行每路传输速率不小于 24 kbit/s,最大传输速率为 80 kbit/s;

(5) GOA3 和 GOA4 下,LTE-M 系统上行每路传输速率不小于 32 kbit/s,最大传输速率为 104 kbit/s,下行每路传输速率不小于 1 kbit/s。

4) 乘客紧急呼叫业务。LTE-M 系统为乘客紧急呼叫提供车地数据传输的无线通道和数据接口,数据为实时语音业务。

3.2 生产类业务

1) 车载视频监控业务。将列车驾驶室、列车车厢的视频监控图像通过无线方式实时传输到控制中心或地面监控站,进行集中监控。车载视频监控业务对 LTE-M 系统有以下需求:

(1) LTE-M 系统可同时进行上行至少 2 路视频传输;

(2) LTE-M 系统每路视频传输速率至少 1 Mbit/s;

(3) LTE-M 系统传输时延不超过 500 ms 概率不小于 98%;

(4) LTE-M 系统丢包率不大于 1%^[4]。

2) PIS 视频业务。由地面将视频或图像信息通过广播或者组播传输到车厢内播放。PIS 视频业务对 LTE-M 系统有以下需求:

(1) LTE-M 系统支持广播和组播通信;

(2) LTE-M 系统能够传输图像分辨率为标清或高清的视频,传输速率为下行 2~8 Mbit/s;

(3) LTE-M 系统传输时延不超过 500 ms 的概

率不小于 98%;

(4) LTE-M 系统丢包率不大于 1%。

3.3 维修类业务

1) 接触网检测系统(含轨检)业务。将列车接触网运行参数、轨道运行参数和供电设备参数的检测数据通过无线方式传输到控制中心。接触网检测系统(含轨检)业务对 LTE-M 系统有以下需求:

(1) LTE-M 系统提供所需的车地数据传输通道,传递点对点以太网信息数据;

(2) LTE-M 系统传输速率上行 0.21 Mbit/s,下行 0.01 Mbit/s;

(3) 确保车载数据可非实时落地。

2) 车辆走行部系统业务。将列车走行部系统检测数据通过无线方式传输到控制中心。车辆走行部系统业务对 LTE-M 系统有以下需求:

(1) LTE-M 系统提供所需的车地数据传输通道,传递点对点以太网信息数据;

(2) 走行部业务在列车回库后开始上传,支持断点续传。

3) 集群调度视频业务。支持个呼、组呼呼叫业务;支持视频通话请求、多组/多选视频呼叫(组间不互通)业务;支持北向通信活动输出接口,把系统内的视频呼叫记录转发给第三方设备。

4 大兴机场线 LTE-M 系统综合承载带宽分配

根据大兴机场线列车运行和车辆配属特点,每个 RRU(射频拉远单元)控制区按 4 列列车进行关联。LTE-M 系统综合业务承载网(A 网)承载速率及业务带宽如表 1 所示。

LTE-M 系统业务承载网(B 网)承载除乘客紧急呼叫业务以外的列车运行直接相关业务。

由表 1 表可知,地下 A 网上行边缘速率为 8.5 Mbit/s,下行边缘速率为 6.5 Mbit/s;地面 A 网上行边缘速率为 6.5 Mbit/s,下行边缘速率为 6.5 Mbit/s;B 网上行边缘速率为 3 Mbit/s,下行边缘速率为 3 Mbit/s。

结合本工程使用的 LTE-M 系统频率、基站及车载终端的发射功率、漏缆规格参数等技术指标,通过漏缆模型链路预算可得出:A 网在地下段区域,15 MHz 带宽时,上行边缘速率为 8.5 Mbit/s,最大覆盖距离为 1.00 km;A 网在地面区域,10 MHz 带宽时,上行边缘速率为 6.5 Mbit/s,最大覆盖距离为

1.10 km;B 网 5 MHz 带宽,上行边缘速率 3 Mbit/s 时,最大覆盖距离 1.00 km。即当 A、B 网基站设置间隔小于等于 1.10 km 时,可满足 A 网综合承载,B 网业务承载的需求。

大兴机场线 LTE-M 系统实现了上述业务综合

承载,其中对基于 B-Trunc 的集群调度语音、视频业务也进行了试验性承载,作为行车调度备用,为今后进行正式承载进行功能验证。主要实现了集群调度语音、视频业务的个呼、组呼、等呼叫业务。

表 1 大兴机场线 LTE-M 系统综合承载业务速率及带宽 kbit/s

综合承载业务		地下 15 MHz 带宽综合承载分配		地面 10 MHz 带宽综合承载分配	
		上行传输速率	下行传输速率	上行传输速率	下行传输速率
列车运行直接相关业务	CBTC 列车运行控制业务	4×512	4×512	4×512	4×512
	列车紧急文本下发业务		4×10		4×10
	列车运行状态信息监测业务	4×104	4×1	4×104	4×1
	乘客紧急呼叫业务	64	64	64	64
生产类业务	车载视频监控业务	6		4	
	PIS 视频业务		4		4
维修类业务	接触网检测系统(含轨检)业务(非实时)	210	10	210	10
	车辆走行部系统业务(非实时)				
	集群调度视频业务(行车备用)	1 000	1 000	1 000	1 000

5 大兴机场线 LTE-M 系统综合承载服务质量

LTE-M 系统支持 9 个优先级的保障,轨道交通用户可以自行定义数据传输的 QoS 等级,实现对重要业务的资源优先分配。尤其是在网络边缘数据传输性能降低的情况下,LTE-M 系统能够优先保证 QoS 等级高的业务数据可靠传输。根据业务类型的不同要求划分不同的优先级,可以保证高优先级、高服务质量(低时延、低丢包率),以此来满足不同业务的指标要求,如表 2 所示。

表 2 城市轨道交通建议 QoS 等级及对应业务

业务类型	QoS 设置				
	QCI	资源类型	优先级	时延/ms	丢包率
CBTC 实时数据	5	Non-GBR	1	100	10 ⁻⁶
列车运行状态信息	2	GBR	4	150	10 ⁻³
紧急信息文本下发	3	GBR	3	50	10 ⁻³
车载闭路电视监控	2	GBR	4	150	10 ⁻³
PIS 流媒体业务	4	GBR	5	300	10 ⁻⁶
6C	7	Non-GBR	7	100	10 ⁻³
走行部	7	Non-GBR	7	100	10 ⁻³
集群调度视频业务(行车备用)	1	GBR	2	100	10 ⁻²

注:QCI——标度值;GBR——保证比特速率;Non-GBR——非保证比特速率;6C——6 种接触网检测业务

为了保障行车安全,CBTC 列车运行控制业务设置为最高优先级 1,对应的是 QCI 为 5 的 Non-GBR 资源类型;其丢包率为 10⁻⁶,满足 CBTC 列车运行控制业务丢包率不超过 1%的要求。同理,通过业务的优先级配置,可满足不同业务的时延及丢包率要求。

6 综合承载业务 LTE-M 系统部署方案

大兴机场线是一条全自动运行线路,CBTC 列车运行控制业务是保证列车自动运行的关键业务,列车运行状态信息监测业务是对列车控制及管理的关键业务。LTE-M 系统作为全自动运行的核心系统之一,需要保证其车地数据传输的安全性及可靠性^[5]。

6.1 基于 LTE-M 系统的列车运行直接相关业务车地通信系统构成

基于 LTE-M 系统的列车运行直接相关业务,其车地通信系统主要由 A、B 两张网络进行承载,实现其网络级冗余保护。每一个网络由中心子系统、地面子系统及车载子系统三部分组成^[6],如图 2 所示。

1) 中心子系统。主要由 LTE-M 系统 A、B 核心网设备及列车运行直接相关业务服务器等设备组成。A 核心网设备放置于主用控住中心,B 核心网设备放置于备用控制中心。

2) 地面子系统。由 LTE-M 系统的 A、B 网无线基带单元 BBU(基带处理单元)、RRU、合路器及泄漏电缆组成,实现轨旁 A、B 网信号的全覆盖。A、B 网全部采用 4 通道 RRU 分别连接左右两个方向的两根漏缆,达到 A、B 两张网络 2T2R 的 MIMO 效果。

3) 车载子系统。由位于车头及车尾的 A、B 网车载接入单元(TAU)及车载天线系统组成。两台

TAU 同时工作,将车上的数据业务通过 A、B 双网传回地面中心系统。

通过建设 A、B 两张物理隔离的 LTE-M 网络,

实现车地之间关键业务传输的可靠性及安全性。当任意一张网络出现故障时,不会影响列车运行直接相关业务的车地数据传输。

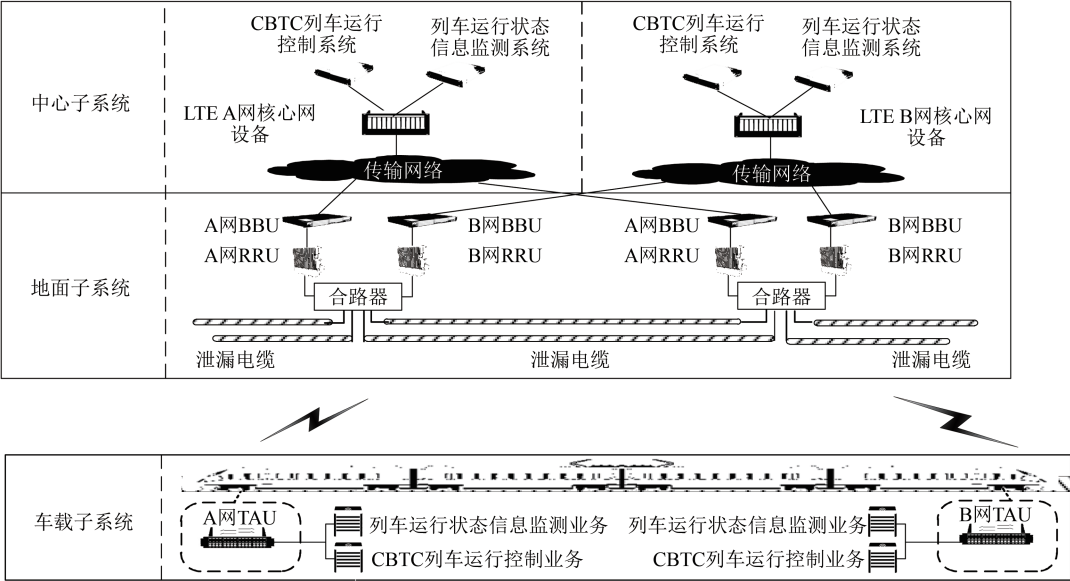


图 2 大兴机场线 LTE-M 系统 A、B 网系统构成图

6.2 基于 LTE-M 系统的列车生产及维修业务车地通信系统构成

基于 LTE-M 系统的列车生产及维修相关业务,主要由 A 网(主用)及 A'网(备用)进行承载,实现其中心子系统设备级主备冗余保护,如图 3 所示。

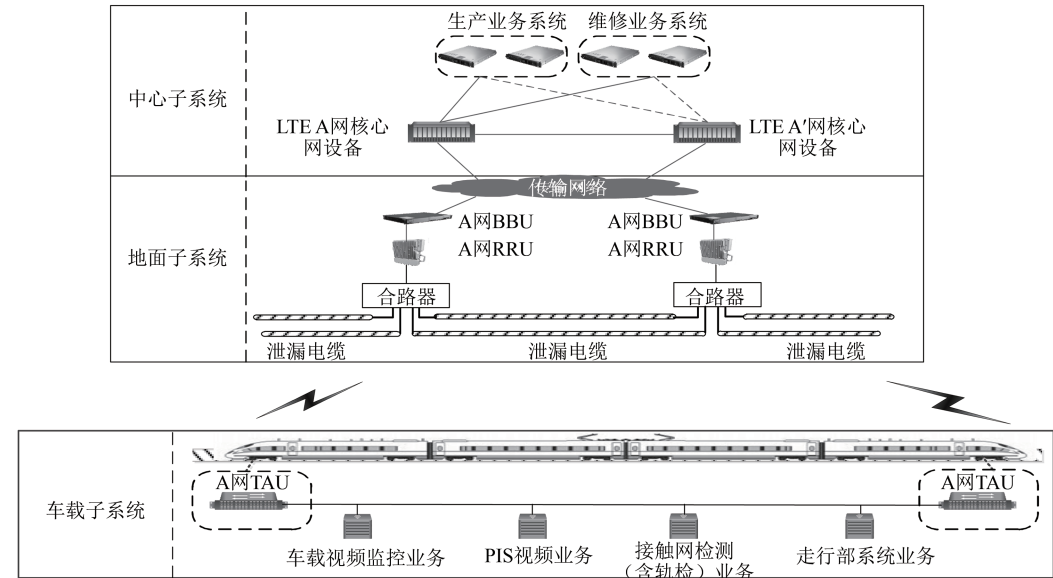


图 3 大兴机场线 LTE-M 系统 A、A'网系统构成图

- 1) 中心子系统。主要由 LTE-M 系统的 A、A'核心网设备及列车生产、维修相关业务服务器等设备组成。A 核心网设备放置于主用控住中心,A'核心网设备放置于备用控制中心。A、A'核心网设备互为主备,当 A 核心网设备发生故障或退出服务时,A'核心网设备能够立即接管业务,保证车地数据业务传输。
- 2) 地面子系统。由 LTE-M 系统的 A、A'网共

用的无线基带单元 BBU、RRU、合路器及泄漏电缆组成,提供无线接入服务。

3) 车载子系统。由位于车头及车尾的 A、A'网共用的车载接入单元(TAU)及车载天线系统组成。两个 TAU 互为主备冗余配置,当主用 TAU 发生故障时,车上的数据会选择备用 TAU 进行数据传输,保证车地数据传输的高可靠性。

7 方案验证

大兴机场线于 2019 年 6 月 15 日正式试运行。试运行期间 LTE-M 系统不断进行调试和优化,经过多次系统功能和业务数据传输测试,并于 2019 年 9 月 26 日正式开通运营。结果显示:按照上述综合承载业务配置及 LTE-M 系统部署方案,CBTC 列车运行控制业务无丢包现象,PIS 视频业务播放流畅,车载视频业务无卡顿及马赛克现象,列车紧急文本下发及运行状态信息数据能够及时准确传输。北京地铁新机场线 LTE-M 系统能够满足地铁综合承载业务的需求。

8 结语

随着城市轨道交通线路的不断建设,LTE-M 系统应用于城市轨道交通综合承载,可以对列车的车

(上接第 175 页)

块包括元数据服务集群负载均衡模块、数据节点内磁盘负载均衡模块、高可靠数据分布策略管理模块、数据节点的磁盘管理模块、智能恢复模块、一致性保护模块、系统运维管理模块等。在系统实际配置中选用数据可靠性及系统扩展性更好的非对称式架构,采用专门的元数据服务器对元数据进行管理。同时,采用 1+1 冗余配置元数据服务器,进一步保障元数据相关功能高可用性。

通过统一资源池管理模块、集群管理模块、磁盘管理模块,从系统、节点、硬盘三个级别实现统一管理;通过高可靠的数据分布策略,将负载均衡能力深入到系统级、元数据节点级和磁盘级;通过各

地通信系统进行实时监控,对整个列车系统的状态进行实时观测^[7],能够满足综合承载各业务的不同需求,保障列车的安全运行,提高城市轨道交通的管理水平与服务水平,促进整个城市轨道交通行业的良性发展,能够为建设安全、高效、绿色、环保的城市轨道交通线路发挥更多积极的作用。

参考文献

- [1] 中华人民共和国工业和信息化部.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:工信部无[2015]65 号[Z].北京:中华人民共和国工业和信息化部,2015.
- [2] 戴克平,张艳兵,朱力,等.基于 LTE 的城市轨道交通车地通信综合承载系统[J].都市快轨交通,2016(7): 69.
- [3] 中国城市轨道交通协会技术装备专业委员会.LTE-M 系统承载 CBTC 业务及接口规范:T/CAMET 040069—2017[Z].北京:中国城市轨道交通协会技术装备专业委员会,2016.
- [4] 李照敬,葛淑云.基于 LTE 技术的城市轨道交通综合承载业务需求分析[J].铁道通信信号,2015(7): 74.
- [5] 孙寰宇,顾向峰.基于 LTE 技术的车地无线通信组网方案研究[J].铁道标准设计,2014(8): 160.
- [6] 顾向峰.城市轨道交通车地通信 TD-LTE 综合业务承载测试分析[J].城市轨道交通研究,2016(8): 140.
- [7] 陈赛印.LTE-M 综合承载和互联互通测试方法的研究[D].北京:北京交通大学,2017.

(收稿日期:2019-09-10)

系统功能模块的设计,保障云存储系统的集群性能和智能管理水平。

视频云存储系统在城市轨道交通领域的应用提高了数据可靠性,为视频深化应用提供了高可用及在线扩容等保证,可将视频监视系统的价值水平带入新的阶段。

参考文献

- [1] 许辉.存储技术在铁路综合视频监视系统的应用[J].铁路通信信号工程技术,2016(6): 1.
- [2] 北京市交通委员会.北京市轨道交通视频监视系统应用规范[Z].北京:北京市交通委员会,2014.

(收稿日期:2019-09-10)

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址:tougao.umat1998.com