

基于云平台的城市轨道交通综合监控系统方案

汤石男¹ 李 冰^{2,3*}

(1. 深圳地铁建设集团有限公司, 518026, 深圳; 2. 南瑞集团(国网电力科学研究院)有限公司, 210003, 南京;
3. 国电南瑞科技股份有限公司, 210061, 南京//第一作者, 高级工程师)

摘 要 结合城市轨道交通的实际情况,对基于云平台的综合监控系统进行研究和方案设计。针对传统综合监控系统在系统资源使用、网络切换、数据同步等方面存在的不足,提出通过云平台的虚拟机迁移、故障 HA(高可用)、存储双活和 Oracle 数据库同步等第三方的机制,简化应用软件,优化综合监控系统架构。根据云平台的技术特点实施主备数据中心实时服务器多重冗余;根据车站及控制中心实时服务器和数据库都集中在云平台上的特点,去除车站数据库,降低数据同步风险。基于云平台的创新设计,极大地提升了综合监控系统的可用性和健壮性。

关键词 城市轨道交通;综合监控系统;云平台;数据同步;冗余机制

中图分类号 U29-39

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.05.018

Integrated Supervision Control System Scheme of Urban Rail Transit Based on Cloud Platform

TANG Shinan, LI Bing

Abstract Taking the actual situation of urban rail transit into consideration, an integrated supervision control system based on cloud platform was studied and the scheme was designed. Aiming at the shortcomings of traditional integrated supervision control system in aspects including system resource usage efficiency, network switching and data synchronization, third-party mechanisms such as virtual machine migration, fault high availability, storage dual-activity and Oracle data guard were proposed to simplify the application softwares and to optimize the integrated supervision control system architecture. According to the technology characteristics of cloud platform, multi-redundancy of the real-time server of the main and backup data center was implemented. According to the characteristics that the real-time server and database of the station and the center are concentrated on the cloud platform, the station database is removed to reduce risks during data

synchronization. The innovative design based on cloud platform significantly improves the feasibility and robustness of the integrated supervision control system.

Key words urban rail transit; integrated supervision control system; cloud platform; data synchronization; redundancy mechanism

First-author's address Shenzhen Metro Construction Group Co., Ltd., 518026, Shenzhen, China

城市轨道交通综合监控系统主要有集中式、分布式和中心站-卫星站三种模式。目前国内绝大多数的城市轨道交通综合监控系统采用的是分布式架构(控制中心-车站式的结构)。随着城市轨道交通的发展,无人驾驶系统已经出现了车站无人值守的应用案例(车站不设服务器)。本文从综合监控系统架构设计、数据库部署及同步、扩展系统冗余机制等方面分析基于云平台的综合监控系统方案及其优势。

1 传统的城市轨道交通综合监控系统

传统的城市轨道交通综合监控系统(这里指的是有人驾驶模式下)的架构一般都采用控制中心-车站式结构,这种结构具备分布式系统可靠、灵活的特点,同时也便于实现。目前国内绝大多数城市投运及在建的城市轨道交通线路的综合监控系统都采用此种结构。

在控制中心-车站式系统结构中,控制中心与车站分别拥有各自的服务器,控制中心拥有多台服务器,车站一般配置 2 台服务器。各子系统分别从控制中心与各车站接入系统。车站服务器存放与本车站相关的数据,控制中心服务器存放与全线相关的数据,这两类数据往往并不相互包含。控制中心与车站的客户端可能会同时访问控制中心与车站

* 通信作者

服务器。通常情况下,控制中心服务器之间相互备份,形成冗余系统;同一车站服务器之间相互备份,形成冗余系统。冗余不会同时涉及不同车站服务器或车站与控制中心服务器。另外,当 MBN(主控系统骨干通信网)出现故障时,各车站或控制中心形成独立系统,具有独立运行能力。

控制中心-车站式系统结构的不足之处如下:

1) 冗余数据库数据不一致。各车站与控制中心都有冗余主备的数据库,主用数据库有往备用数据库同步的需求,这一功能目前一般都是由综合监控系统的应用层软件实现。由于应用层软件本身及网络等原因,造成数据同步效果不理想。表 1 为某城市已经投运 3 年的地铁综合监控系统的中心主用数据库和备用数据库的数据对比表。

表 1 某地铁综合监控系统控制中心的主用和备用数据库数据对比表

项目	主用数据库	备用数据库
文件总大小/GB	138.735 168	138.735 171
所有模型表的大小/MB	20.16	20.16
所有历史表的大小/GB	138.715 008	138.715 011
某张历史表的记录数/条	1 081 638	1 081 641

由表 1 可见,控制中心主用和备用数据库的数据存在差异。用户没有感知这个差异的原因是:数据库本身主备切换概率较小,造成不容易被发现;系统投运后,很少修改模型,存在主要差异的历史数据对运营没有直接影响,用户对此差异不敏感。

2) 系统 CPU 资源利用率低。应用软件存在异常运行情况,为不影响应用软件的功能,选购设备时会考虑设备裕量。目前,车站服务器都按照高标准进行配置,一般都不少于 8 核 32 G 内存;实际上,应用软件正常情况下运行时的 CPU 资源占比都小于 20%,存在大量设备资源浪费情况。

2 基于云平台的城市轨道交通综合监控系统方案

2.1 云平台特点及优势

云平台将硬件资源池化,形成计算资源池、网络资源池、存储资源池。云平台通过重新划分资源和全局调度管理,为用户提供服务,能够根据工作负载的大小动态调整资源^[1-4]。云平台可为用户提供高可用性服务,其主要特点如下:

1) 业务连续性——具有保障业务连续运行的能力。全系统采用冗余架构,所有车站实时服务器

采用 1 主用、2 备用的架构(2 台在数据中心资源池、1 台车站云节点组成冗余),系统中无单点故障,支持计划内的升级、扩容等活动时业务无中断。提供故障的快速检测能力,检测到故障后自动隔离和恢复,将故障引起的停机时间降至最少。提供黑匣子、日志、告警监控等能力,帮助维护人员快速定位问题、解决问题。

2) 数据耐久性——具有保障数据不丢失的能力。对元数据及业务数据进行多副本冗余保存,支持内部扫描数据和自动修复有损数据。对管理数据和业务数据提供多种备份能力,支持故障情况下的快速恢复。

3) 资源集中性——具有按需动态分配的能力。云平台整合了硬件资源,所有用户共享资源池资源。云平台可根据实际工作负载的大小动态调整资源,并能够按照实际资源超分配供各业务系统共享。

2.2 基于云平台的综合监控系统方案

2.2.1 系统基本架构

云平台在数据中心业务资源池为综合监控系统提供 2 台虚拟的中心实时服务器,提供每个车站 1 台虚拟车站实时服务器;在备用中心提供 2 台虚拟的中心实时服务器,与数据中心的中心实时服务器做实时冗余。车站云节点在每个车站资源池设置 1 台虚拟服务器作为车站实时服务器;控制中心和车站的工作站都采用云桌面进行部署;数据中心和备用中心分别在数据库资源池中部署 1 台综合监控历史数据库,并互为主备服务。系统基本架构如图 1 所示。

2.2.2 实时系统冗余机制

综合监控系统都是采用模块化设计,将不同的应用服务模块分配在不同的服务器上运行,较传统的以机器为单位进行的主备冗余划分,基于云平台的实时系统冗余机制可以充分提高硬件的利用率。下文描述中的服务器指的是云平台的虚拟机。

对于中心域(包括数据中心和备用中心)而言,正常情况下,4 台服务器同时处理不同任务,并保证工作被平均分配到 4 台服务器上;当其中一台服务器出现故障时,系统会自动将另一台服务器上工作于“备”状态的模块升级成“主”状态,保证系统正常运行。

1) 正常运行时的值班任务分配。正常情况下,两台服务器上的服务模块可以在任一服务器上值班,其他服务器上的服务模块处于备用状态。

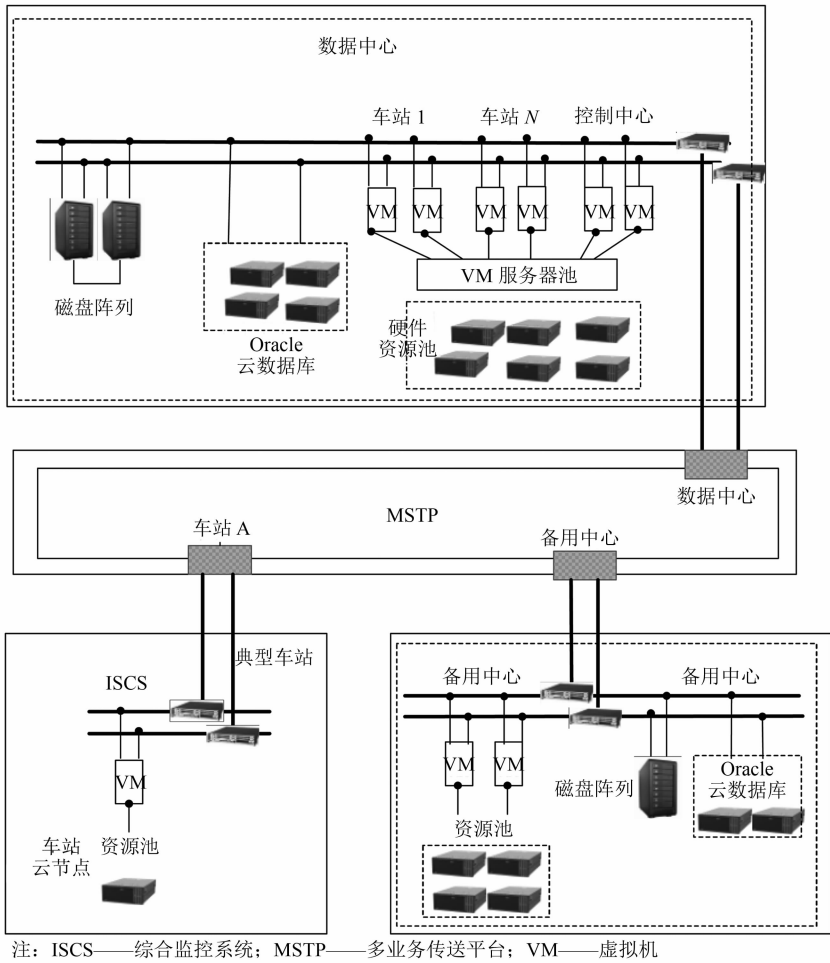


图 1 基于云平台的城市轨道交通综合监控系统架构图

2) 某一应用服务模块故障时的值班任务分配。在某一服务模块故障的情况下,以 PA(广播)系统模块为例,PA 模块切换到数据中心实时服务器 2 上值班。

3) 某台服务器故障离线时的值班任务分配。某台服务器宕机情况下,以数据中心中心实时服务器 1 故障为例,应用模块自动切换至数据中心中心实时服务器 2 上值班,其他服务器处于备用状态。由于云平台的 HA(高可用)特性,当检测到中心实时服务器 1 宕机时,会对此虚拟机进行迁移,并且会在正常物理机上重新启动与原来虚拟机一模一样的另一虚拟机,综合监控业务软件通过自适应启动,实现数据中心中心实时服务器 1'在数据中心另一台物理机上启动,并运行为应用备机。此过程只需要 3~5 min。

2.2.3 数据库部署及数据同步

1) 数据库复制技术。采用数据库复制技术保证业务的热备,采用数据库同步技术,如 Oracle

Active Data Guard(简称为 ADG,活动数据卫士)技术,在系统正常运行时,主数据库提供读写服务,备用数据库提供时间不敏感的只读业务。主数据库和备数据库分属不同的数据中心,可以同城或者异地;但要求主备数据库为同型数据库,当主数据库发生宕机时,备用数据库接管读写任务。

2) 数据库部署方案。综合监控系统只有中心数据库,车站不创建数据库。数据中心和备用中心分别在数据库资源池中部署一套综合监控历史数据库,互为主备,并实现数据库双活;通过 ADG 技术完成在灾备中心对综合监控数据的备份及实时同步。

3) 数据同步数据流。如图 2 所示,正常情况下,通过 ADG 技术完成在灾备中心对综合监控数据的备份及实时同步。如图 3 所示,当数据中心故障时,手动切换灾备中心数据库为主机,灾备中心的中心应用服务器升为值班主机,车站云节点应用服务器升为值班主机,分别往灾备中心数据库写入

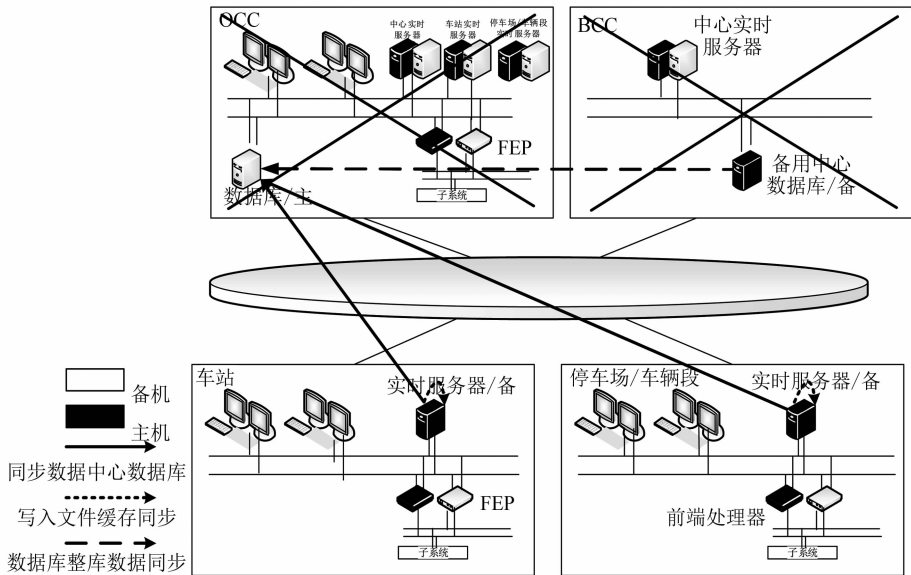


图 4 数据中心与备用中心同时故障及恢复数据同步示意图

拟机的画面。其中本地的瘦终端安装正常操作系统与远端虚拟机进行通信。当骨干网中断时,车站工作站与数据中心网络中断,无法把数据中心云桌面资源池中的虚拟机画面传输至本地。车站工作站 HMI 显示黑屏,退出桌面云服务,这时车站瘦终端操作系统仍然是正常运行的,车站值班员可通过此瘦终端的远程桌面或者 VNC(虚拟网络远程控制软件)访问车站云节点的车站实时服务器。由于 HMI 就是由车站云节点的车站实时服务器启动的,所以可以进行正常访问及操作(综合监控系统

的服务器都可以启动 HMI 服务)。

2) 车站内数据采集不受影响。如图 5 所示,当骨干网网络故障时,车站云节点的车站实时服务器升为主用,车站内集成或互联的子系统仍然可以与车站云节点的车站实时服务器通信,但是停止了车站服务器向控制中心进行的实时数据同步与历史数据复制都。当通信恢复后,车站服务器会自动向控制中心实时服务器进行实时数据同步,同时开始将故障期间产生的历史数据向控制中心历史服务器进行复制。

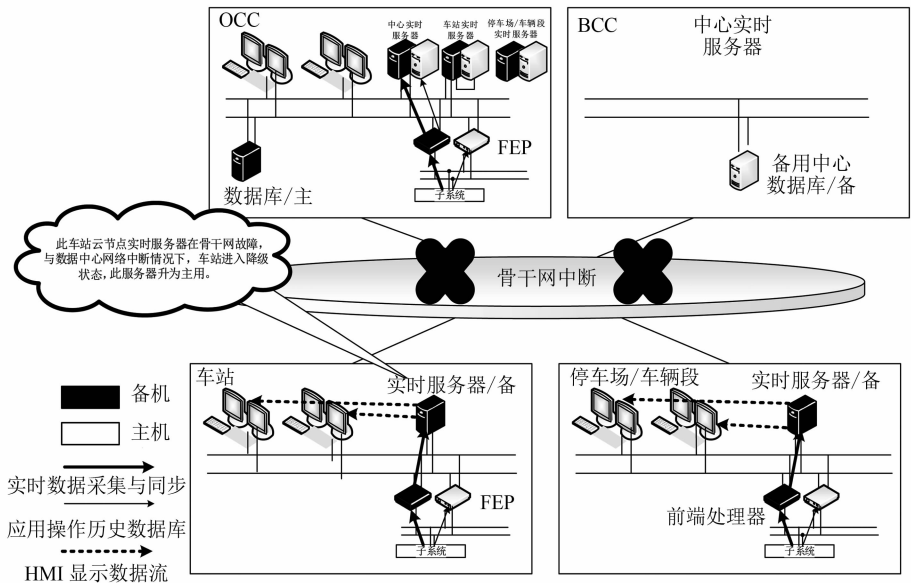


图 5 骨干网故障中断数据采集流程示意图

3) 车站内控制下发不受影响。如图 6 所示,当骨干网网络故障时,从控制中心无法向车站设备下发控制命令,综合监控系统自动监测到控制中心故障后,车站云节点的车站实时服务器升为主用,车站综合监控系统向车站设备下发控制命令不受影响。

障后,车站云节点的车站实时服务器升为主用,车站综合监控系统向车站设备下发控制命令不受影响。

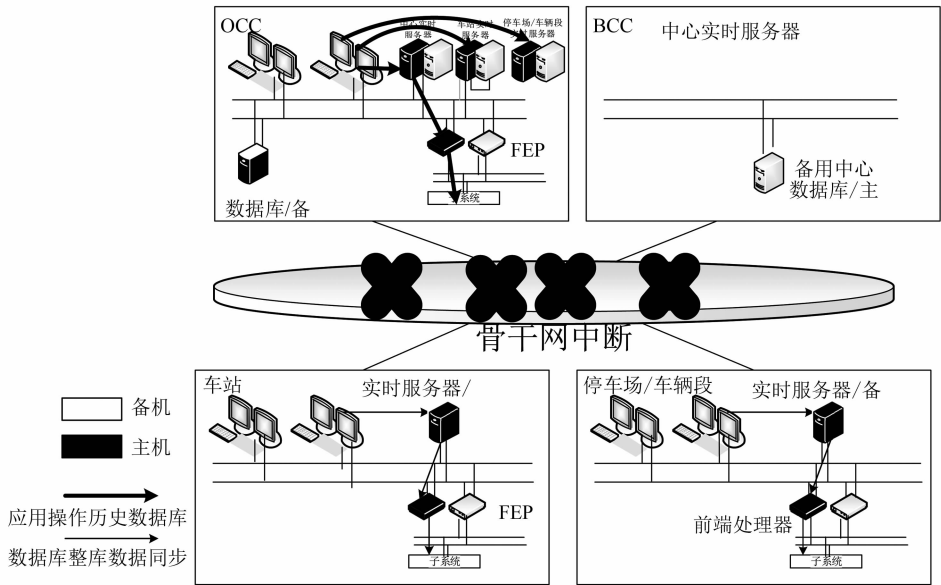


图 6 骨干网故障中断控制下发流程示意图

2.3 基于云平台的综合监控系统方案的优势

基于云平台的综合监控系统方案,充分利用云平台的特点,对综合监控系统进行优化,跟传统的综合监控系统方案相比,有如下优势:

1) 数据同步可靠性高,应用层简化。基于云平台资源集中的特点,所有的综合监控服务器都集中在数据中心,合并了车站数据库与中心数据库,并且去除了应用层实现的数据库同步(包括车站双库同步、车站中心库同步),减少了数据不一致的风险。本地的高可用通过 Oracle 的 RAC(实时应用集群)技术保证,备用中心的双活数据库通过 Oracle 的 ADG 技术实时保证数据与生产系统的一致性,当生产系统数据库故障或者存储故障,能够切换至备库使用。由于此方案对应综合监控应用软件数据库永远是单库,软件实现简单。所有数据同步的工作交于数据库实现。同时,云平台本身在数据中心和备用中心实施存储双活,这就能够从数据库及存储 2 个层次对数据进行保障。

2) 提升系统可用性。综合监控平台软件支撑业务主备机冗余,云平台提供虚拟机冗余,为系统可用性提供双重保险。云平台通过 HA 机制,当检测到某物理机故障,对此物理机上的虚拟机进行迁移,在正常物理机上重新启动与原来虚拟机一模一样的虚拟机,综合监控业务软件通过自适应启动,

恢复业务,此过程只需要 3~5 min,大大缩短了故障时间,提升了系统的可用性。

3) 降低建设与运营成本。目前国内综合监控系统一般采用 4 核 32 G 内存配置的机器作为车站服务器,综合监控应用软件的 CPU 等资源使用率都低于 30%,大量的资源被浪费。如果采用云平台的方案,可以按目前资源的 50% 配置虚拟机,这样会大大降低数据中心服务器的投资成本,而且随着站点数目的增加,本身对数据中心云平台软件的投入那部分单价会降低,这样价格会进一步下降。

目前国内综合监控系统的维护工作主要是由每条线路的自动化工班承担,对控制中心及每个车站多台服务器进行维护,自动化工班一般配置 5~6 人,采用轮班制。从工班运维的反馈来看,因为对远程操作等不可预知性的担忧,运维人员一般采取就地处理问题的方式,所以经常需要在不停站点奔波,人手明显捉襟见肘。而采用云平台的方式,所有的服务器都集中在控制中心机柜中,所有的运维都可以在控制中心解决;另外,云平台提供可视化操作界面,可以大大提高运维效率,减少工班的人员配置。

3 结 语

目前已经实施和在建的基于云平台的综合监
(下转第 85 页)

班车发车时刻。对于远端衔接层的 14 号线,由于其为独立线路,应依据运营要求单独确定末班车时刻。

部分换乘车站末班车发车时刻的推算过程和调整结果如表 2 所示。

表 2 2018 年广州轨道交通部分换乘车站末班车发车时刻的推算(部分)

换乘车站	线路方向	基准	基准发车时刻	换乘时刻	推定发车时刻	原发车时刻	调整后发车时刻
体育西站	3 号线北延段下行	3 号线下行	23:20:00	+0:00:11	23:20:11	23:00:02	23:10:02
	1 号线上行	3 号线下行	23:20:00	-0:05:00	23:15:00	23:22:10	23:15:00
	3 号线上行	1 号线上行	23:15:00	+0:02:48	23:17:48	23:40:00	23:30:00
	3 号线北延段上行	3 号线上行	23:17:48	-0:00:11	23:17:37	23:52:46	23:42:46
珠江新城站	5 号线下行	3 号线下行	23:20:00	-0:01:25	23:18:35	23:19:22	23:18:35
	5 号线上行	3 号线上行	23:17:48	+0:05:00	23:22:48	23:41:26	23:31:26

4 结语

本文建立了以最大化满足末班车乘客出行需求为目标的网络末班车衔接优化模型,设计了线路层次递进衔接推算求解算法,并以 2018 年广州城市轨道交通的路网信息和时间参数为基础对该模型进行了应用。

研究成果可用于各操作终端为乘客提供末班车时段出行信息诱导,也可用于控制自动售票机在末班车时段的票卡发售。

参考文献

[1] WALTER G.HANSEN.How accessibility ahapes land use[J]. Journal of the American Institute of Planners,1959,25(2): 73.

[2] 罗钦,徐瑞华,江志彬,等.基于运行图的轨道交通网络动态可达性研究[J].同济大学学报(自然科学版),2010,38(1): 72.

[3] 程昌秀,张文尝,陈洁,等.基于空间句法的地铁可达性评价分析——以 2008 年北京地铁规划图为例[J].地球信息科学,2007(6): 31.

[4] LI X,SHI Y.Optimization for the last train timetable of urban rail transit networks based on transfer coordination[C] //ICTE. Proceedings of the Fourth International Conference on Transportation Engineering. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers,2013: 190.

[5] 徐瑞华,李璇.城市轨道交通网络末班车衔接方案的综合优化[J].同济大学学报(自然科学版),2012,40(10): 1510.

[6] KANG L,WU J,SUN H,et al.A case study on the coordination of last trains for the Beijing subway network[J].Transportation Research Part B,2015,72(72): 112.

[7] 宁丽巧,赵鹏,徐文恺,等.城市轨道交通末班车时段时刻表协同优化研究[J].交通运输系统工程与信息,2016,16(6): 108.

(收稿日期:2018-06-08)

(上接第 81 页)

控系统项目,基本上都是把传统物理机上运行的应用软件移植到云平台虚拟机中^[5-6],并没有通过云平台的特性简化综合监控系统结构,增强综合监控系统的功能,从架构层面上对综合监控系统进行优化性设计。本文从数据库部署及同步、简化综合监控系统网络设计、扩展系统冗余机制三方面对综合监控系统进行架构设计,并充分应用云平台本身优势,提升综合监控系统的可用性和健壮性。

参考文献

[1] 何霖,姚世峰.城市轨道交通云建设探讨[J].都市快轨交通,

2016,29(2): 37.

[2] 丁建隆.关于搭建城市轨道交通行业云的思考与探索[J].都市快轨交通,2016,29(3): 1.

[3] 单莘,祝智岗,张龙,等.基于流处理技术的云计算平台监控方案的设计与实现[J].计算机应用与软件,2016(4): 88.

[4] 陈慧.基于云架构的地铁综合监控系统设计[D].昆明:昆明理工大学计算机系,2015.

[5] 胡波,路红娟,李冰,等.基于云平台的综合监控系统建设方案[J].城市轨道交通研究,2018(7): 158.

[6] 汪杰,李钰,汪敏.一种基于云的城市轨道交通综合自动化系统方案研究[J].现代城市轨道交通,2015(3): 21.

(收稿日期:2019-07-08)