

基于云存储技术的城市轨道交通视频监控系统 扩容改造方案

刘东文¹ 牛生奇²

(1. 兰州市轨道交通有限公司, 730030, 兰州; 2. 广东华之源信息工程有限公司, 510700, 广州)

摘 要 [目的] 针对目前城市轨道交通既有线路视频监控系统存在的录像连续性保障不足、数据安全隐患、存储容量扩展受限、资源管理复杂等问题, 亟须实施以云存储为核心的扩容改造。[方法] 简述了云存储的定义、基本结构模型及应用优势。基于城市轨道交通既有线路视频监控系统的网络架构, 从存储空间需求、设备空间需求、用电功率需求、带宽需求等方面对分布式云存储和集中式云存储两种架构方案进行了对比分析。在此基础上提出云存储改造方案架构, 并从云存储管理系统的搭建、既有录像备份及云存储节点的建立, 以及运营控制中心备份云存储节点的建立等 3 个阶段介绍了云存储改造方案的实施过程。[结果及结论] 基于分布式云存储技术的视频监控系统扩容改造方案, 采用数据块直接存储方式, 在实现高可靠、高性能、高 I/O (输入/输出)、易扩展、易管理的同时, 既有效复用现有设备资源降低改造成本, 又解决了存储设备迭代快、故障风险高、数据保留周期长等技术难题。

关键词 城市轨道交通; 视频监控系统; 扩容改造方案; 云存储技术

中图分类号 U29-39

DOI: 10.16037/j.1007-869x.20240220

a comparative analysis of distributed and centralized cloud storage architectures is conducted in terms of storage space demand, equipment space demand, power consumption demand, bandwidth requirements. On this basis, the architecture of the cloud storage renovation plan is proposed. The implementation process of the cloud storage renovation plan is described in three stages: construction of the cloud storage management system, backup of existing recordings and establishment of cloud storage nodes, and establishment of backup cloud storage nodes at the operation control center. [Result & Conclusion] The expansion and renovation plan for the video surveillance system based on distributed cloud storage technology adopts a direct data block storage approach. This solution achieves high reliability, high performance, high IO (input/output), scalability, and manageability. At the same time, it effectively reuses existing equipment resources to reduce renovation costs, and addresses technical challenges such as rapid hardware iteration, high failure risks, and long data retention periods.

Key words urban rail transit; video surveillance system; expansion and renovation plan; cloud storage technology

Expansion and Renovation Plan for Urban Rail Transit Video Surveillance System Based on Cloud Storage Technology

LIU Dongwen¹, NIU Shengqi²

(1. Lanzhou Rail Transit Co., Ltd., 730030, Lanzhou, China; 2. Guangdong Huazhiyuan Information Engineering Co., Ltd., 510700, Guangzhou, China)

Abstract [Objective] In response to issues in existing urban rail transit video surveillance systems—such as insufficient continuity assurance for video recording, data security risks, limited storage capacity scalability, and complex resource management—it is urgently necessary to implement a cloud storage-centered expansion and renovation plan. [Method] The definition, basic structural model, and application advantages of cloud storage are briefly outlined. Based on the network architecture of existing urban rail transit video surveillance systems,

1 既有线路视频监控系统存在问题

视频监控系统是城市轨道交通站点客运管理、行车调度、事故调查、反恐安防的重要基础机电设备系统。目前, 城市轨道交通既有线路的视频监控系统大多已在线运营 5 ~ 10 年, 随着前端监控点位不断加密、图像高清化, 以及《反恐法》对存储周期及视频数据安全的要求越来越高, 主要存在以下突出问题:

1) 录像连续性及数据安全问题。大部分城市轨道交通站点为地下车站, 日均客流量较大, 人员密集, 公安和运营共用 1 套前端设备, 系统 24 h 不间断运行, 因此对存储业务连续性的要求较高。若出现 1 个存储主机宕机, 将导致单站点录像中断, 且历史数据无法恢复或恢复难度较大, 耗时较长。

2) 大空间存储资源扩展困难。由于存储数据量不断增长,传统 IP-SAN(基于互联网协议的存储区域网络)方案下摄像机和存储的绑定关系导致扩容时无法实现数据无缝迁移。若直接更换存储设备必然造成数据丢失,因此只能通过纵向扩容(增加扩展柜)来实现容量扩展。

3) 资源管理复杂。IP-SAN 存储管理模式为单设备一对一管理。当设备较多时,对用户而言系统管理、海量数据管理及设备维护都极为复杂。

云存储等新技术在新建城市轨道交通线路上的成功应用,从系统底层结构上解决了既有线路问题。本文主要研究云存储在既有线路视频监控改造中的应用及现场实施方案。

2 云存储技术

2.1 云存储的定义

云存储系统是基于云计算技术,以高速、大带宽数字网络为传输通道,建立分布式文件集群系统,通过软件部署实现集群系统内部的存储空间、计算能力、网络资源的灵活调配,同时可利用资源虚拟化技术将分布式资源整合成资源池为应用端提供高效、稳定、快速的服务。

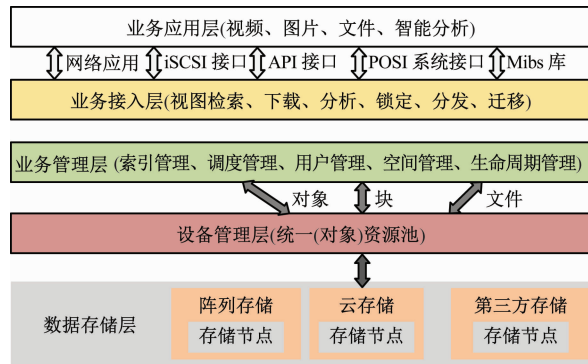
2.2 云存储的基本结构模型

云存储系统由数据存储层、设备管理层、业务管理层、业务接入层及业务应用层组成^[1]。其中:数据存储层是云存储最基础的部分,主要包含实体存储设备;设备管理层和业务管理层是基础管理层,将不同存储设备聚合为统一的存储资源池,通过集群、分布式文件系统和网格计算等技术实现存储设备之间的协同工作;业务接入层和业务应用层可根据实际业务类型提供不同的应用服务接口。云存储系统是一个多存储设备、多应用、多服务协同运行的集合系统,基本结构模型如图1所示。

2.3 云存储的应用优势

云存储在城市轨道交通视频监控中实际应用的优势^[2]如下:

- 1) 建立存储虚拟化层,将录像的接入、管理、存储及读写功能解耦,提升存储效率和回放性能。
- 2) 针对大量的分布式站点存储节点,通过将计算能力和存储空间独立管控,可显著简化设备管理。
- 3) 当单节点存储设备发生故障时,系统可在恢复后自动完成资源整合,无须进行录像数据回传。
- 4) 系统具有可靠性高和单节点硬件性能需求



注:API 为应用程序编程接口;iSCSI 为计算机系统接口;POSI 为可移植操作系统接口;Mibs 为管理信息库。

图1 云存储系统的基本结构模型

Fig. 1 Basic structural model of cloud storage system

不高的特点,采用统一接口标准,仅需摄像机和网络设备保持在线即可确保录像数据完整性。

5) 云存储系统支持视频、图片和文件的混合流直接存储,通过与上层应用平台深度整合,可高效实现资源读取、数据管理和智能分析等功能。

3 云存储架构改造方案

3.1 既有线路视频监控系统的网络架构

城市轨道交通既有线路视频监控系统采用数字交换机组网架构:控制中心部署核心交换机,各站点/场段部署汇聚交换机和接入交换机,形成星型网络;存储系统采用 IP-SAN 架构,通过站点交换机接入网络,录像存储周期为 15 ~ 30 d。典型视频监控系统的网络架构如图2所示。

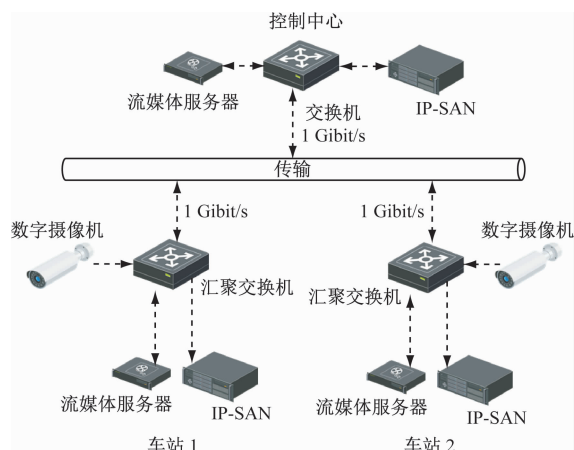


图2 典型视频监控系统的网络架构

Fig. 2 Network architecture of typical video monitoring system

3.2 数据存储技术对比

视频监控系统主要有文件存储和数据块直接

存储等 2 种录像存储技术。

3.2.1 文件存储技术

文件存储技术为传统的存储方式,存储的视频流由存储服务器通过网络文件系统传送到 IP-SAN 阵列,并以文件形式进行存储。该技术主要存在以下缺点:

1) 录像存储时需要经过各系统间的多次转换,降低了文件读写性能;文件链表区被频繁访问形成热区,降低了磁盘的寿命。

2) 容易产生磁盘碎片,导致有效空间下降。

3) 当视频文件未完全生成时,系统既无法读取回溯录像,又可能因生成坏文件而导致录像数据丢失。

3.2.2 数据块直接存储技术

数据块存储是一种高效的数据存储技术,前端数字摄像机通过 iSCSI 协议将视频流直接传输至 IP-SAN 存储阵列,视频以数据块形式存储,系统同步生成包含时间戳等元数据的索引信息。此技术解决了文件存储技术的诸多缺陷:

1) 无须多级文件系统转换,具有高读写效率,可实现数据有序存储,有效避免磁盘热点问题。

2) 不产生庞大数量的文件,通过时间戳等索引信息实现秒级检索;录像数据直接写入存储,无须文件生成过程,支持实时存储与回放。

3) 无磁盘碎片问题,录像检索时无文件的拼接问题。

3.3 云存储架构改造方案对比

城市轨道交通既有线路视频监控系统云存储改造可采用分布式云存储和集中式云存储两种架构方案^[3]。该系统进行云存储改造时,需重点考虑以下影响因素:机房基础设施(含安装空间和电源负荷)、网络传输带宽、现有存储设备的利旧可能性,以及项目实施的可行性条件。

3.3.1 分布式云存储方案

分布式云存储方案的部署方式为:在运营控制中心新建云存储管理服务器和灾备节点,同时在各站点部署云存储节点。鉴于既有存储设备型号可能停产导致的扩容采购困难,以及备件库存不足等问题,基于建设成本与可维护性考量,采用的改造方案如下:将站点的既有存储设备集中部署,通过新增第三方存储服务节点整合至云存储资源池;其余站点则新建本地云存储节点。

分布式云存储架构如图 3 所示。

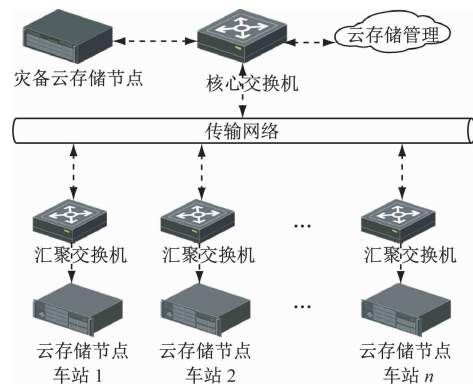


图 3 分布式云存储架构

Fig. 3 Distributed cloud storage architecture

在分布式云存储架构中,传输带宽需求主要来自两方面:一是单节点存储设备故障后车站节点转存至运营控制中心的数据流量需求,二是运营控制中心调取站点实时视频及历史录像的数据流量需求。

3.3.2 集中式云存储方案

集中式云存储方案是在运营控制中心新增云存储管理服务器、若干台云存储节点及 1 台第三方存储服务节点,组成全线集中的存储资源池(包含新增存储和既有存储),各站点只保留部分既有存储设备资源作为备用存储。集中式云存储架构如图 4 所示。

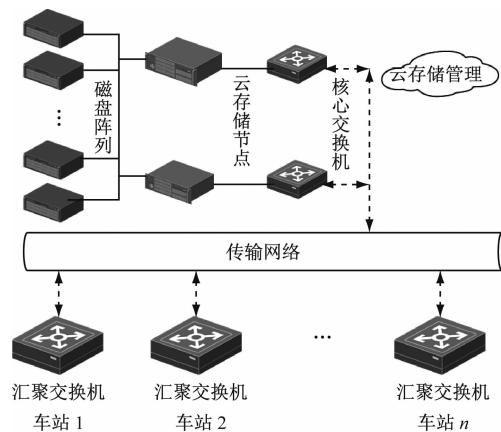


图 4 集中式云存储架构

Fig. 4 Centralized cloud storage architecture

集中式云存储架构的带宽需求主要来自两方面:各站点视频流上传至运营控制中心资源池的传输流量,以及运营控制中心调取各站点录像回放的数据流量。

3.3.3 方案对比

假设 1 条城市轨道交通既有线路有 26 座站点、

1座停车场、1座车辆段,各站点按照既有85路摄像机、原存储周期30 d(全线存储总量2 732 TiB)计算。扩容升级后每个站点平均新增40路摄像机,存储周期均为90 d,码率均为4 Mibit/s。考虑RAID热备盘的配置及其带来的开销,设定净存储空间利用率系数为0.9。

存储空间总需求量 C 计算公式如下:

$$C = \frac{snrt}{\alpha\beta^2} \quad (1)$$

式中:

s ——站点数量;

n ——摄像机数量;

r ——摄像机码率;

t ——存储周期;

α ——字节与位之间换算系数;

β ——二进制存储容量单位换算系数。

式(1)中, α 取值为8, β 取值为1 024。

硬盘(16 TiB)配置数量 H 计算公式如下:

$$H = \frac{C}{x\delta} \quad (2)$$

式中:

x ——存储硬盘裸容量;

δ ——存储空间利用率。

式(2)中: x 取值为14.55 TiB, δ 取值为0.9。

1) 存储空间需求。按照上述条件由式(1)得出:分布式云存储的空间总需求量约为9 360 TiB,集中式云存储的实际空间总需求量(不含既有存储量)约为13 342 TiB。

2) 设备空间需求。各站点125路图像存储90 d约需464 TiB空间,既有存储可满足6个站点的存储利旧。按照1台60盘位云存储设备同时可挂载

3个60盘位的硬盘框计算,其占用空间为4 U(U 是一种表示服务器外部尺寸的单位, $1 U = 1.75 \text{ in} = 44.45 \text{ mm}$),1台云存储管理设备占用空间为2 U,散热空间间隔为2 U。

各站点125路视频图像存储90 d约需464 TiB空间,而既有存储资源可满足其中6个站点的利旧需求;新增设备采用60盘位云存储架构(单台主设备可挂载3个60盘位硬盘框),其中主设备占用4 U机架空间,管理设备占用2 U空间,且需为每台设备预留2 U散热空间间隔。

根据式(2)计算出的新增硬盘数量,可以确定新增设备所需空间。针对集中式云存储方式,站点可利用既有机柜空间,运营控制中心需180 U空间,约新增6台机柜;针对分布式云存储方式,各站点均需新增10 U空间,运营控制中心需新增16 U空间。

3) 用电功率需求。存储设备单台电源功率约为1.2 kW,云存储管理服务器和第三方存储服务节点设备平均功率为0.5 kW。针对分布式云存储方式,各站点均需新增的用电功率需求为2.7 kW,运营控制中心需新增的用电功率需求为2.2 kW。针对集中式云存储方式,运营控制中心需新增的用电功率需求为34.6 kW。

4) 带宽需求。云存储改造方案采用流媒体复制分发或组播技术,运营控制中心多个用户调用同一路监控图像时,只占用一路视频上行带宽。运营控制中心调用不同摄像机图像数量按照50路计算,两种云存储方式下通信上行带宽需求如下:分布式云存储为600 Mibit/s,集中式云存储为13 Gibit/s。

以上两种方案主要技术对比如表1所示。

表1 分布式云存储与集中式云存储改造方案对比

Tab.1 Comparison between distributed cloud storage and centralized cloud storage renovation plans

存储架构	存储净空间/TiB	云存储管理服务器/套	云存储一体化设备/套	第三方存储设备管理节点/套	带宽需求/(Gibit/s)	单站功率需求/kW	单点安装空间/U	是否迁移既有设备
分布式云存储	9 360	2	20	6	1	2.7	15	是
集中式云存储	13 342	2	7	27	13	34.6	180	是

通过以上数据对比,集中式云存储改造方案所需硬盘数量较分布式云存储改造方案多29%,且在通信传输带宽、安装空间及电源负荷等方面远高于后者需求,同时既有线路存在施工难度大、配套设施设备改造成本高、对正常运营影响大等问题。分

布式云存储改造方案通过利旧方式可节省78%的云存储虚拟化设备投资,且可以避免大规模的传输设备升级、电源设备扩容、机房改造等问题。

因此,针对既有线路视频监控系统改造,分布式云存储方案具有更好的投资属性和可实施性。

4 云存储改造方案及实施

既有城市轨道交通线路视频监控系统的云存储改造方案涉及各站点的设备新增,以及云存储设备与既有存储设备的融合等内容。该方案需考虑减小对运营的影响,保证改造期间录像完整等重点技术问题。

4.1 云存储改造方案架构

运营控制中心新增 2 台互为热备冗余的云存储管理服务器,新增 1 台云存储节点或第三方存储接入节点。既有存储利旧站点采用第三方存储融合节点将既有存储纳入云存储管理,其余站点直接增加云存储一体化设备和硬盘框。

既有传输带宽已满足分布式云存储改造需求,若提高链路可靠性,可通过链路聚合和服务器端口聚合实现传输通道负载分担。分布式云存储改造方案架构如图 5 所示。

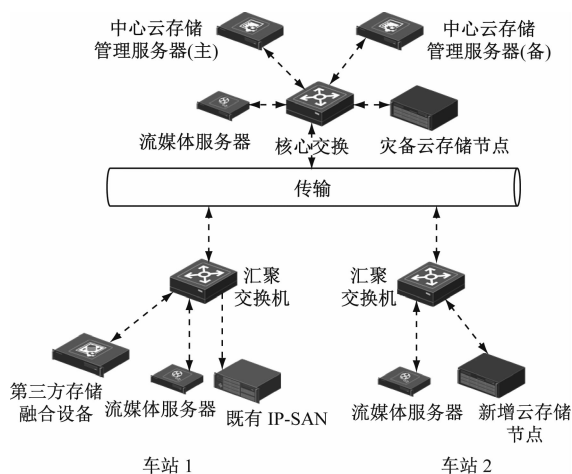


图 5 分布式云存储改造方案架构

Fig. 5 Diagram of distributed cloud storage renovation plan

4.2 数据块直接存储改造

为避免各站点流媒体服务故障导致的视频流无法存储问题,前端摄像机实时视频流通过网络交换机直接传送到云存储节点,云存储节点通过 IP-SAN、FC-SAN(光纤通道存储区域网络)设备的接口建立 iSCSI 连接,将 iSCSI 命令封装在 IP 数据包中,通过 IP 网络以数据块形式直接传输至云存储池^[4],实现大容量高清视频监控数据的传输存储需求。

4.3 既有线路设备运行保障

分布式云存储改造方案能够最大限度保持视频监控系统对外接口设备或软件,以及后端监控终

端及解码设备不变。采用数据块形式直接存储的云架构,可在既有监控录像存储不中断的情况下,提前增加云存储节点设备,将录像直接存储。云存储录像数据到期后,将既有存储设备搬迁整合,能保证运营期的实时监控录像存储不中断。

4.4 云存储改造方案实施

云存储改造方案主要分 3 个阶段进行,分别为云存储管理系统的搭建,既有录像备份及云存储节点的建立,以及运营控制中心备份云存储节点的建立。

1) 云存储管理系统搭建。在运营控制中心搭建云存储管理系统,同时搭建过渡云存储节点并将其接入既有的存储监控网络。

2) 既有录像备份及云存储节点建立。根据摄像机码率、留存期、过渡云存储总容量计算第一批切换的摄像机数量,并满足需切换的摄像机均在 IP-SAN 集中。第一批需切换的摄像机以新的编码添加到平台中,为新添加的摄像机配置云存储空间;原有摄像机保留用于检索回放切换前的录像;第一批需切换的摄像机云存储数据到期后,将这些摄像机的既有存储删除,同时将摄像机删除,将既有的 IP-SAN 改造为云存储节点。重复上述切换步骤,选取第二批摄像机并将其存储方式切换到云存储。如此反复,直至所有站点摄像机切换为云存储。

3) 运营控制中心备份云存储节点建立。切换完成且最后一批 IP-SAN 上的摄像机数据到期后,将过渡云存储节点配置为备份云存储节点。

5 结语

通过对城市轨道交通既有线路视频监控系统现状以及云存储应用优势的分析,采用云存储技术对视频监控系统改造扩容,在永久线性扩展、可靠性提升、在线维护管理及应用层多元化发展等方面具有一定的优势和前瞻性。从改造成本方面分析,分布式云存储改造方案在设备投入量、机房空间占用及电源负荷方面优势明显,因此城市轨道交通既有线路视频监控系统的扩容改造宜采用该方案。

参考文献

- [1] 李守杰,朱益龙,柏泽钊.基于云平台架构的视频监视系统技术应用[J].城市轨道交通研究,2021,24(12):190.
LI Shoujie, ZHU Yilong, BAI Zetian. Technical application of video surveillance system based on cloud platform architecture

- [J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(12): 190.
- [2] 于东旭. 铁路综合视频监控系統云存储应用研究[J]. 中国铁路, 2019(8): 103.
YU Dongxu. The cloud-storage application of railway integrated video monitoring system[J]. China Railway, 2019(8): 103.
- [3] 李鹏. 城市轨道交通视频云存储方案研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(10): 57.
LI Peng. Study on video cloud storage scheme for urban rail transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(10): 57.
- [4] 林康平, 孙杨. 数据存储技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2017: 161-168.
LIN Kangping, SUN Yang. Data storage technology[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2017: 161-168.
- [5] 刘旦捷. 宁波轨道交通既有有线视频监控系统改造方案研究[J]. 仪器仪表与分析监测, 2019(4): 22.
LIU Danjie. Research on renovation scheme of video monitoring system for Ningbo rail transit existing line[J]. Instrumentation · Analysis · Monitoring, 2019(4): 22.
- [6] 施家裕. 上海轨道交通3、4号线升级改造后的列车视频监控系统[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(增刊1): 137.
SHI Jiayu. Upgraded and reconstructed train video surveillance system of Shanghai Rail Transit Line 3/4[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(S1): 137.
- [7] 薛传宇. 浅析云存储中的数据安全面临的问题及解决对策[J]. 网络安全技术与应用, 2021(11): 67.
XUE Chuanyu. Analysis on the problems and solutions of data security in cloud storage[J]. Network Security Technology & Application, 2021(11): 67.
- [8] 舒继武. 数据存储架构与技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2023.
SHU Jiwu. Data storage architecture and technology[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2023.
- [9] 谢梦怡. 混合云存储架构下分布式大数据异步迁移系统设计[J]. 电子设计工程, 2019, 27(23): 45.
XIE Mengyi. Design of distributed large data asynchronous migration system based on hybrid cloud storage architecture[J]. Electronic Design Engineering, 2019, 27(23): 45.
- [10] 郑文武. 云存储架构深度解析: 分布式架构和对象存储技术[J]. 通信世界, 2017(27): 55.
ZHENG Wenwu. Deep analysis of cloud storage architecture: distributed architecture and object storage technology[J]. Communications World, 2017(27): 55.
- [11] 何冲, 张亭. 基于城市轨道交通视频高清升级改造方案研究与分析[J]. 电脑知识与技术, 2019, 15(30): 213.
HE Chong, ZHANG Ting. Research and analysis of video HD upgrading scheme based on urban rail transit[J]. Computer Knowledge and Technology, 2019, 15(30): 213.
- [12] 胡林. 基于云存储的视频监视系统在重庆轨道交通中的建设探索[J]. 中国新通信, 2018, 20(3): 107.
HU Lin. Exploration on the construction of video surveillance system based on cloud storage in Chongqing rail transit[J]. China New Telecommunications, 2018, 20(3): 107.
- [13] 王珊珊, 潘皓. 城市轨道交通视频存储方案研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2017, 14(2): 68.
WANG Shanshan, PAN Hao. Research on video storage scheme for urban rail traffic[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2017, 14(2): 68.
- [14] 薛传宇. 浅析云存储中的数据安全面临的问题及解决对策[J]. 网络安全技术与应用, 2021(11): 67.
XUE Chuanyu. Analysis on the problems and solutions of data security in cloud storage[J]. Network Security Technology & Application, 2021(11): 67.
- [15] 张辉, 谢国庆. 基于云的地铁视频监控系統的设计与实现[J]. 数字技术与应用, 2021, 39(1): 133.
ZHANG Hui, XIE Guoqing. Design and implementation of subway video monitoring system based on cloud[J]. Digital Technology & Application, 2021, 39(1): 133.
- [16] 崔伊乐. 视频云存储系统的服务器集群设计与实现[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2018.
CUI Yile. The design and implementation of server cluster in video cloud storage system[D]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2018.
- [17] 王昊. 铁路综合视频监控系統技术规范发展与解析[J]. 中国铁路, 2023(2): 113.
WANG Hao. Development and analysis of technical specifications for railway integrated video surveillance system[J]. China Railway, 2023(2): 113.
- [18] 程智源, 严谨. 基于云存储的铁路综合视频监控系統方案研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(2): 51.
CHENG Zhiyuan, YAN Jin. Research on scheme of railway integrated video monitoring system based on cloud storage[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(2): 51.
- [19] 陈涛, 黄柳. 云存储在地铁视频监控系統中的应用研究[J]. 机电信息, 2023(22): 36.
CHEN Tao, HUANG Liu. Research on the application of cloud storage in subway video surveillance system[J]. Mechanical and Electrical Information, 2023(22): 36.

· 收稿日期:2024-02-26 修回日期:2024-03-18 出版日期:2025-06-10
Received:2024-02-26 Revised:2024-03-18 Published:2025-06-10
· 第一作者:刘东文,高级工程师,461404553@qq.com
通信作者:牛生奇,工程师,492935597@qq.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license