

文章编号: 1674—8247(2021)06—0020—06
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2021.06.005

艰险山区铁路地质灾害监测云平台的探讨与实现

袁 焦 王 珣 伏 坤 刘 勇 邹文露

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:针对传统数据中心平台在铁路地质灾害空-天-地多源监测技术融合、海量异构数据存储、数据挖掘与分析、应急抢险服务等方面存在的不足,本文按分层思想设计了功能全面、扩展性强的地质灾害监测云平台。采用虚拟化技术搭建云基础设施层,基于开源框架设计了多源异构监测数据分布式存储,利用中间件技术研发了数据标准接口、分布式数据库与业务应用集群服务,应用模块化思想开发了桌面终端与移动终端应用。该平台已在成兰、成昆等铁路地质灾害监测工程中成功应用,为山区铁路防灾减灾、安全运营和应急救援提供了基础保障。

关键词:铁路; 地质灾害; 监测; 分布式存储; 云平台

中图分类号:P694

文献标志码:A

Investigation and Implementation of Cloud Platform of Monitoring Geological Disaster for Railways in Dangerous Mountainous Areas

YUAN Jiao WANG Xun FU Kun LIU Yong ZOU Wenlu

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: This paper designs a comprehensive and highly scalable geological disaster monitoring cloud platform based on the hierarchical thinking to tackle the shortcomings of traditional data center platforms in the integration of space-air-ground multi-source monitoring technologies for railway geological disasters, massive heterogeneous data storage, data mining and analysis, and emergency rescue services. The cloud infrastructure layer is built by virtualization technology. Distributed storage of multi-source heterogeneous monitoring data is designed based on an open-source framework. Data standard interface, distributed database, and business application cluster services are developed by middleware technology, and desktop terminal and mobile terminal applications are developed with modularization ideas. The platform has been successfully applied in railway geological disaster monitoring projects for Chengdu-Lanzhou Railway and Chengdu-Kunming Railway, providing basic guarantees for disaster prevention and mitigation, safe operation, and emergency rescue of the railway in mountainous areas.

Key words: railway; geological disasters; monitoring; distributed storage; cloud platform

2020 年,全国铁路营业里程已达 14 万 km,中西部路网规模达到了 9 万 km。以成昆、成兰、川藏铁路为代表的艰险山区铁路沿线地质灾害具有分散性、破

坏力强、高位隐蔽及人工巡查困难等特点,对铁路工程建设及运营安全提出了严峻的挑战。在此背景下,基于电子信息技术研发的地质灾害监测预警系统正逐渐

收稿日期:2020-10-28

作者简介:袁焦(1988-),男,工程师。

基金项目:成都市重点科技计划(2019-YF08-00160-GX);中铁二院工程集团有限责任公司科研项目(KYY2019101(19-20))

引文格式:袁焦,王珣,伏坤,等.艰险山区铁路地质灾害监测云平台的探讨与实现[J].高速铁路技术,2021,12(6):20-25.

YUAN Jiao, WANG Xun, FU Kun, et al. Investigation and Implementation of Cloud Platform of Monitoring Geological Disaster for Railways in Dangerous Mountainous Areas[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(6):20-25.

应用于多个铁路工程,实现了对不良地质体的地面、坡体内部及周边环境的多种物理量(雨量、水位、位移、应力、振动加速度、气象等)的自动化监测,并结合专业预警模型进行综合应用^[1],为铁路建设与运营安全提供了基本保障,在山区铁路地质灾害监测与防治方面取得了初步成效。

随着物联网、遥感技术、大数据、人工智能等新技术的快速发展^[2],智能传感、高分卫星遥感、无人机航测、智能视频识别等多种空-天-地监测新技术的不断成熟并投入应用^[3],传统的地质灾害监测数据中心在平台设计规模、功能与性能上无法有效满足“全方位、全天候、全要素、全尺度”的业务需求,因此迫切需要借助云计算、大数据^[4]等技术手段搭建一个艰险山区铁路地质灾害监测云平台,从而为山区铁路地质灾害风险的早期识别、综合监测、预报预警和应急抢险救援服务等提供重要的技术支撑,进一步提升铁路防灾减灾领域的信息化水平。

1 地质灾害监测中心平台业务需求

监测中心平台作为铁路地质灾害监测预警系统的核心,是保障业务系统快速部署、稳定运行、监测信息综合应用的基础平台,结合艰险山区铁路对地质灾害监测平台服务、应急保障的高标准建设要求,提出如下业务需求^[5]:

- (1)结合不同灾害对象监测的特点和技术要求,制定功能全面、技术先进、可扩展强的云平台架构方案,建设统一的IT资源管理平台,业务系统集中部署,可满足未来监测业务不断扩展的需要。
- (2)应具有多类型监测技术的接入能力,建立多源异构监测数据分布式集群存储平台,解决空-天-地多元监测技术综合应用中存在数据资源分散和信息共享度低等问题,支持对机器学习、大数据分析等新技术应用,改善现有平台中数据质量和利用率偏低、分析评估能力不足等问题,为灾害预警预报模型研究与应用提供相应支撑。
- (3)具有丰富的数据共享接口和应用服务,提供用户高并行访问能力,监测信息、三维GIS与BIM模型融合展示的应用需求。

2 监测云平台架构设计

2.1 云平台总体架构设计

国铁集团规划智能高速铁路技术框架中明确提出智能建造、智能装备、智能运营等三大板块的技术构

成,其中智能装备的检测监测板块包括了自然灾害监测与预警,因此本文充分依托智能高速铁路技术体系架构,开展地质灾害监测云平台总体架构设计,如图1所示。

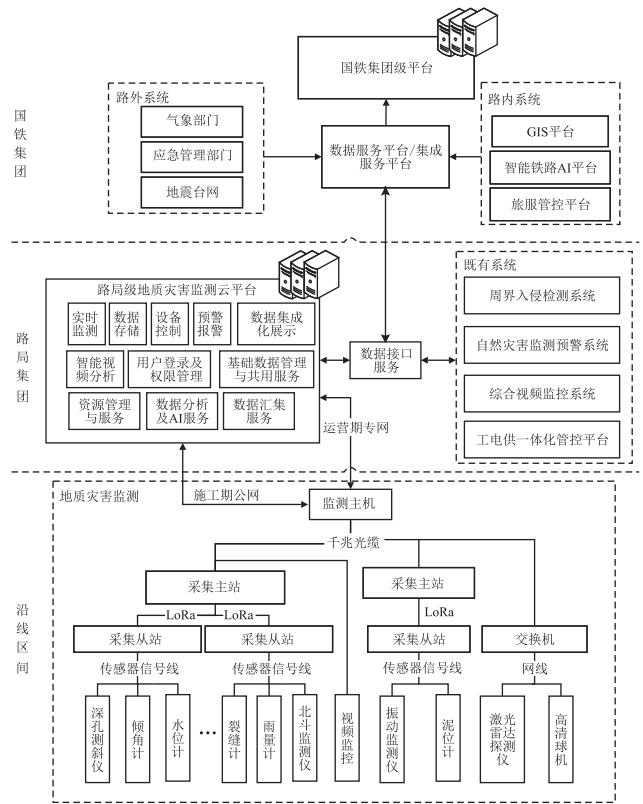


图1 监测云平台总体架构图

在铁路沿线区间设置的大量监测设备在施工和运营期分别利用运营商网络和铁路专网将数据传输至路局级地质灾害监测云平台进行存储与处理,实时发布预警与报警信息。与此同时,云平台利用数据接口服务与国铁集团建设数据服务集成平台进行数据交互,将数据传输至国铁集团大数据平台进行集中存储,此外还可利用数据接口服务与周界入侵检测、自然灾害(风、雨、雪、地震)监测、环境智能监测等系统通过控制专网接入,完成数据交互。

2.2 云平台技术架构设计

根据艰险山区铁路地质灾害类型多、监测技术手段丰富、数据规模大、业务应用范围广等特点,本文采用分层思想设计了功能全面、可扩展性强的监测云平台总体架构,包括虚拟化基础设施服务层(IaaS)、平台及数据服务层(PaaS & DaaS)、软件及应用服务层(SaaS),云平台技术架构设计如图2所示。

在IaaS层,制定虚拟化基础设施平台部署方案,整合物理机计算、存储和网络资源,实现资源动态分

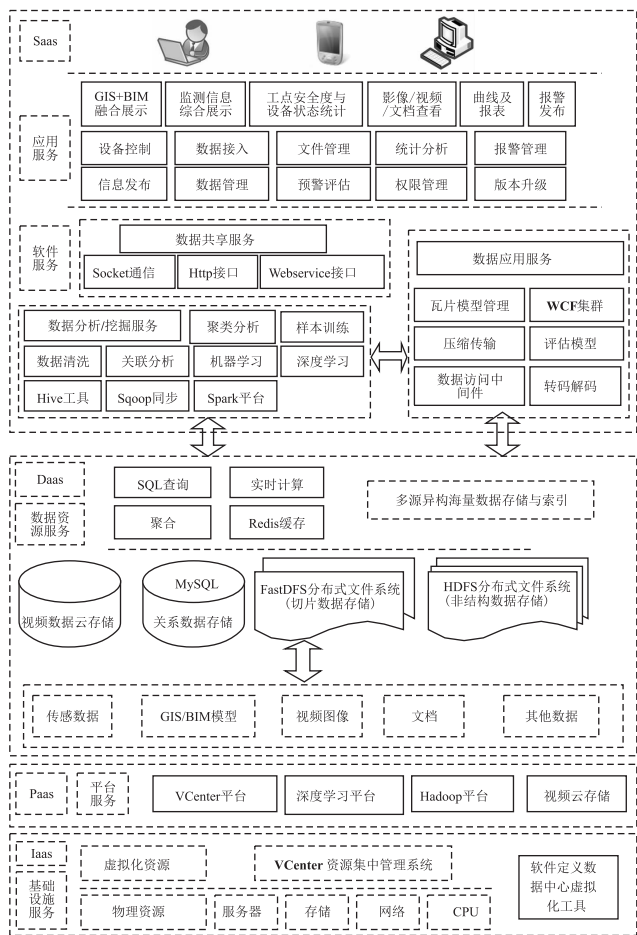


图2 监测云平台技术架构图

配、集中利用、自动管理与灵活扩展,为平台及数据服务和软件及应用服务提供基础保障。

在PaaS & DaaS层,实现地质灾害监测传感器数据、工程信息等结构化数据,脚本/XML/JSON/日志等半结构化数据,卫星影像/勘察设计资料/视频/GIS模型等非结构化数据的统一接入、集中存储与高效管理,构建地质灾害多源异构监测数据分布式存储平台。

在SaaS层中,围绕中间件技术开发数据接入与访问接口,满足用户终端高并发访问、负载均衡等功能,实现数据应用定制化服务;搭建基于Hadoop和Spark框架提供数据清洗、关联分析、样本训练、聚类等服务,为开展地质灾害预警模型研究、数据可视化提供平台支撑。

2.3 功能架构设计

监测云平台承载着信息汇聚、存储、访问、大数据分析、灾害评估、可视化终端应用服务等重要任务,本文依据山区铁路地质灾害监测业务要求和相关规范标准,开展了监测云平台功能设计,主要功能架构如图3所示。

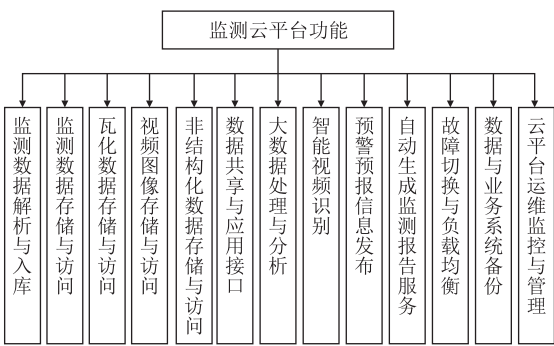


图3 监测云平台功能架构图

3 监测云平台研发

3.1 虚拟化基础设施集群平台搭建

采用基于VMware平台^[6]的共享存储与实时迁移、资源动态分配、不间断监控与故障切换等技术搭建虚拟化基础设施集群平台,将服务器、网络、存储等硬件资源整合与动态调配,提高了资源利用率(服务器的资源利用率提高50%以上),提升了系统的灵活性和服务性能,拓扑结构如图4所示。随着集群平台的不断应用,可动态地增加虚拟化集群的规模,降低了建设成本,搭建更健康的IT体系架构。

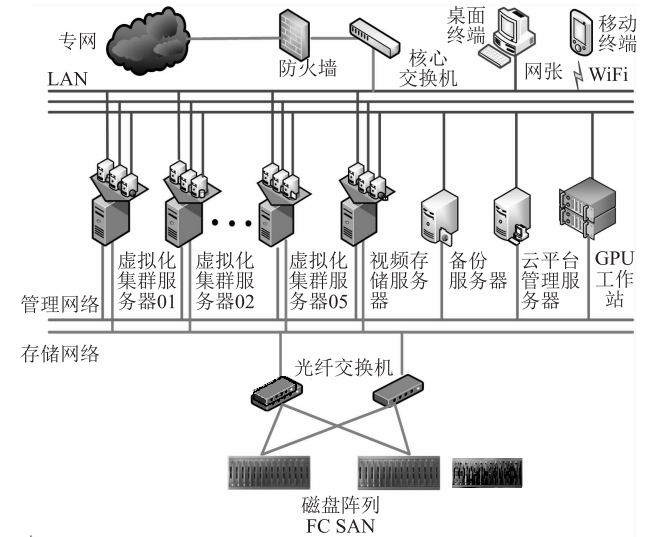


图4 虚拟化基础设施集群平台拓扑结构图

虚拟化基础设施集群平台硬件设备包含服务器主机、备份服务器、视频云存储集群主机、云平台管理主机、视频分析工作站、存储设备、网络设备等,软件系统由虚拟化平台软件、数据库系统、业务应用软件等组成。云平台提供外网访问接口,桌面终端与移动终端在施工期间均通过运营商网络与云平台实现数据交互,运营期间桌面终端与移动终端通过路局专网无线

接入平台。

3.2 多源异构监测数据存储平台研发

3.2.1 高可用分布式数据库集群

采用开源负载均衡和中间件技术将 MySQL 组织为高可用、高性能的分布式数据库集群平台,解决传统单点数据库并发访问压力大、存储容量小、单机性能弱的限制,适应于 TB 级结构化监测数据存储与高并发、高速访问的要求,集群平台架构如图 5 所示。

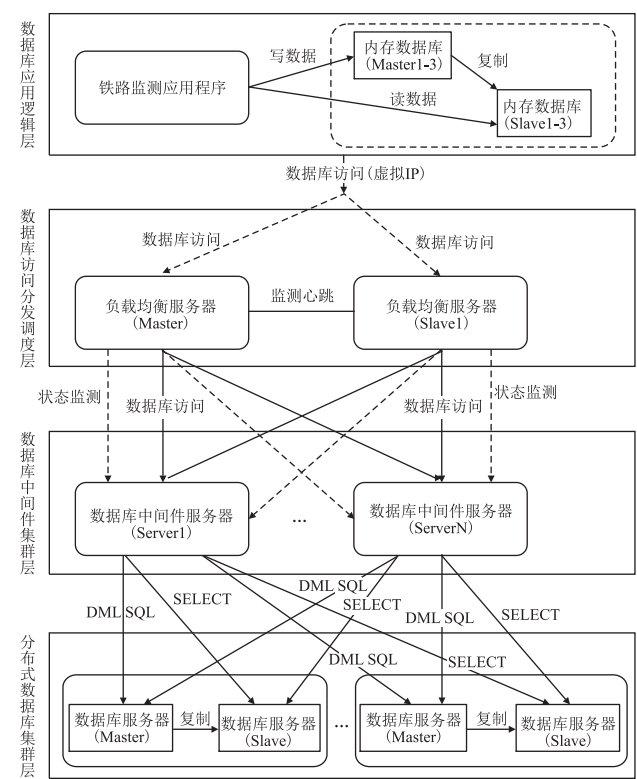


图 5 高可用分布式数据库集群平台架构图

在上述架构设计中,独立的数据库和中间件服务器无法满足高性能要求,需借助各集群层级间相互协同运转来实现。应用逻辑层将用户请求的读写业务分离,建立 Redis 内存数据库集群缓存与同步热点数据,满足快速读取响应要求,写入请求转发至访问分发调度层。访问分发调度层通过 KeepAlived 实现将虚拟 IP 映射到 HaProxy 负载均衡服务器的 Master 节点和 Backup 节点(作为热备),实时检测中间件集群节点的反馈状态,使业务请求平均分配至集群的各个节点。中间件集群层通过 MyCAT 中间件技术实现业务请求读写分离、服务器并行执行等任务。分布式数据库集群层按照先垂直再水平的拆分原则实现分库、分区设计。首先根据不同业务进行垂直切分,分为静态数据(工程、设备、GIS 瓦片模型属性等信息)和动态数据(监测值、状态、评估结果等)存放至不同的数据库

中,应用通过路由规则访问特定的数据库。然后将动态数据库进行水平拆分,通过库内分区、分表和水平分库的方式将设备类型按照序号规则编码,实现将每片数据会分散到不同的 MySQL 表或库进行分布式存储。

动态数据根据设备采样频率又分为低频数据与高频数据,低频数据库集群中单个数据库节点计划存储 20 类设备,每类设备 500 台,5 年存储的监测总数据量达 35 亿条。本文以半年为单位设计 10 个表分区,每个分区表数据量为 439.2 万条,从而提高了数据库读写的执行效率。当单表设备数量超过 500 台或设备种类超过 20 类时,通过增加数据库节点进行分库处理,实现数据库集群的水平扩展。高频数据库集群中单个数据库节点计划存储 5 台设备,单日数据总量可达 4 000 万条,除了进行库内分区分表处理外,也进行分库处理。平台统一采用数据库集群中间件进行分库管理,通过配置表控制设备的数据存入节点。地质灾害监测中动态数据库分库分区设计方案如图 6 所示。

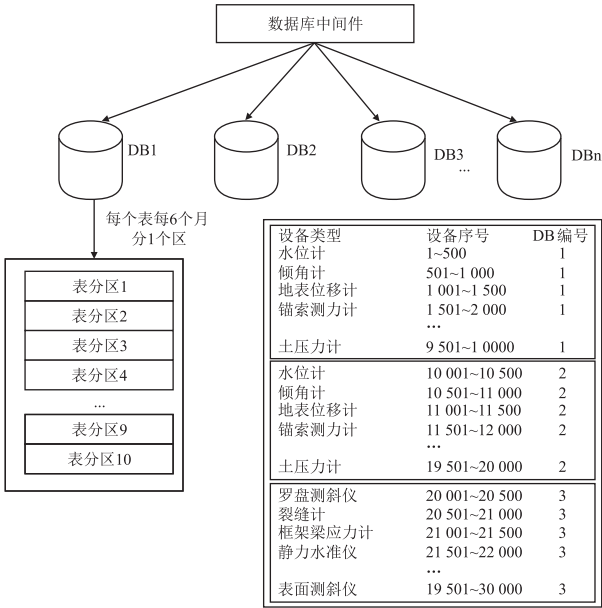


图 6 动态数据库集群分库分区方案图

3.2.2 基于 FastDFS 的瓦片数据集群

地质灾害监测中三维模型/倾斜摄影/点云等瓦片数据具有单个文件小(<1 MB)、总计数量多(千万级)、网络发布困难等特点,结合艰险山区铁路对三维展示与应急抢险数据共享的需求,采用以 FastDFS 分布式文件系统为后台管理,利用负载均衡、高可用技术等搭建瓦片数据集群存储平台。在此基础上开发了基于 http 协议瓦片数据上传、下载、删除、同步断点续传等接口服务,实现了瓦片数据的高效存储与访问,解决了 TB 级瓦片数据发布及数据共享难题。瓦片文档数

据上传逻辑流程如图 7 所示。

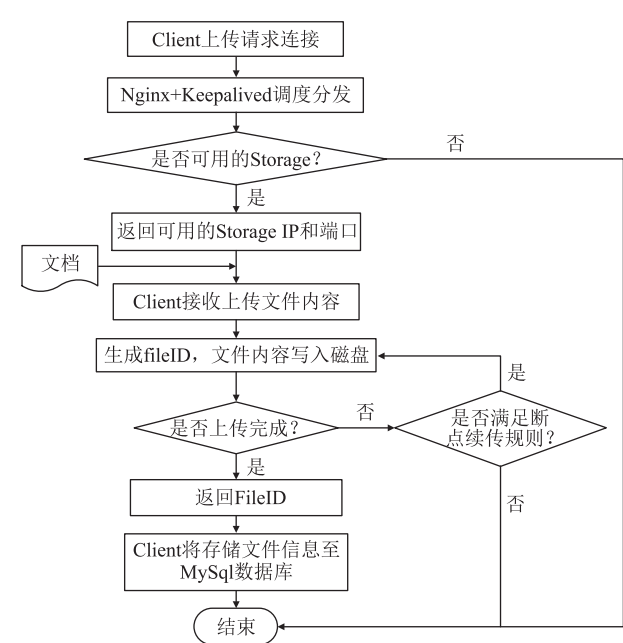


图 7 瓦片文档数据上传逻辑流程图

3.2.3 基于 Hadoop 和 Spark 大数据分析平台

随着空-天-地多源监测技术的广泛应用于艰险山区铁路地质灾害监测预警系统中,遥感卫星影像、文档资料、视频等非结构化数据在监测数据中占比急剧增加,而关系数据库无法满足对非结构化数据存储和大数据融合分析等应用需求,因此采用 Hadoop 分布式系统架构和 Spark 计算引擎来构建了大数据存储及分析平台,为 PB 级非结构化数据进行分布式存储与高效数据挖掘提供服务。

在虚拟化基础设施平台中生成 20 台虚拟服务器组成的大数据存储与分析平台,部署方案如图 8 所示。其中 1 台 Ambari-Server 服务器用于监控大数据平台的运行状态,19 台虚拟服务器用于搭建 Hadoop 平台,包括 4 台主节点以及 15 台从节点。在 4 台主节点上作为分布式文件系统 HDFS 的 NameNode、分布式数据库 Hbase 的 Master 和数据仓库 Hive 的 Metastore。15 台从节点中,安装 Yarn 的 ResrouceManager、TimelineService和 Registry DNS 进行资源管理,选择 12 台从节点作为 Spark 集群的从节点、数据节点 DataNode和 Zookeeper 节点用来保存和处理非结构化数据和应用程序协调。

3.3 服务集群与可视化应用平台研发

3.3.1 数据共享接口

受艰险山区地势高差大、公网覆盖范围限制等不利因素影响,地质灾害监测数据传输常采用专用有线

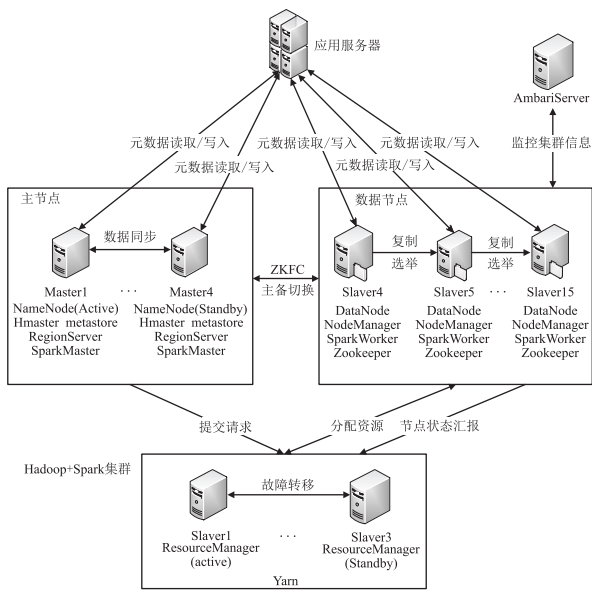


图 8 大数据存储及分析平台部署方案图

网络(现场总线、工业以太网)、无线通信网络(LoRa、ZigBee、WiFi、GPRS/4G 等)^[7]、北斗卫星通信等一种或多种混合传输方式,因此造成中心平台数据接口类型复杂多样,通信协议不统一,数据完整性难以有效校验,本平台设计了规范化数据格式和报文协议,并采用基于 HTTP、SuperSocket、WebService 技术开发了数据共享平台,提供多应用场景下内部与外部系统数据交互通道。

3.3.2 数据应用服务

针对监测终端访问方式数据网络传输性能低、网络流量耗损大等难点,采用分布式缓存、负载均衡调度、WCF 数据通信等技术开发了高可用的应用服务集群平台,实现数据压缩传输、热点数据缓存、双机热备、故障自动转移、负载均衡等功能,满足用户对监测数据、文档、瓦片模型高访问的需求。

此外,在大数据存储与分析平台中通过 Sqoop 工具实现了分布式 MySQL 数据库集群与 HDFS 文件系统、Hive 数据仓库进行数据互通,利用 Spark 框架丰富的算法为数据融合、异常数据清洗、聚类分析、预警模型研究、数据可视化等业务提供服务。

3.3.3 多场景终端应用服务

利用云平台灵活的扩展能力将已建业务应用优化整合,新增功能定制化设计,实现了监测数据实时更新、三维模型与 GIS 信息深度融合、视频集中远程存取、智能图像识别服务、移动终端预警/报警消息主动推送等应用服务,此外基于开源可视化组件开发多样化图表展示后台数据处理接口,为前端数据可视化提

供服务,逐步提升桌面应用与移动应用用户体验,实现地质灾害监测预警精细化、智能化管理。

4 工程应用

成昆铁路 K 310 山体崩塌灾害采用了传感器(雨量计、裂缝计)监测、北斗变形监测、无人机倾斜摄影测量、视频监控、地基雷达变形监测等多种技术手段,构建了多维度立体的监测体系。应用地质灾害监测云平台将工程信息、三维 GIS、监测数据、视频等集中存储与管理,实现了多源监测信息通过时间、空间维度进行深度融合和智能化应用。在抢险救援期间,通过云平台及时远程发布三维倾斜摄影实景模型,为制定救援方案和坡体整治方案提供辅助;在施工整治期,通过该平台具有雨量感知自动变频、报警视频联动、突发变形主动报警、分级预警判定等功能,实现灾前预警与灾后报警信息快速推送,经现场测试验证,报警延迟小于 2 s,有效保障了施工人员作业安全;临时开通期,平台接入北斗变形监测与雷达定点高精度变形监测,提供 7×24 h 不间断监测与评估服务,保障了铁路运营安全。此外与相关单位共同制定应急响应机制及管理流程,形成了“管理-监测-评估-决策”于一体的地质灾害监控技术体系和示范系统。

5 结论

本文结合山区铁路地质灾害监测的特点和业务需求,通过对云计算、分布式存储、大数据等技术深入研究与应用,得出以下结论:

(1)设计了集虚拟化基础设施服务、平台及数据服务、软件及应用服务于一体的监测云平台总体架构。

(2)重点研究了多源异构监测数据高效存储与访问、分布式数据库集群与应用服务集群、多维信息融合展示技术,实现了艰险山区铁路地质灾害监测云平台的搭建。

(3)平台具有功能全面、扩展性强、资源利用率高、维护便捷等特点,通过在成兰、成昆铁路等地质灾害监测系统中成功应用,验证其具备支撑大规模地质灾害及基础设施监测预警系统部署能力。

未来将围绕该平台持续进行深入研发与应用,可有效提升艰险山区铁路地质灾害监测信息管理、灾害隐患分析等技术能力^[8],推动更专业、更系统地进行地质灾害监测评价体系和行业标准研究。

参考文献:

- [1] 王珣,李刚,刘勇,等. 基于滑坡等速变形速率的临滑预报判据研究[J]. 岩土力学, 2017, 38(12): 3670-3679.
WANG Xun, LI Gang, LIU Yong, et al. Critical Sliding Prediction Criterion of Landslide based on Constant Deformation Rate [J]. Rock and Soil Mechanics, 2017, 38(12): 3670-3679.
- [2] 魏少伟. 线性工程地质灾害监测新技术及发展趋势[J]. 铁道建筑, 2019, 59(2): 57-63.
WEI Shaowei. New Technologies and Development Trends of Geological Disaster Monitoring in Linear Engineering [J]. Railway Engineering, 2019, 59(2): 57-63.
- [3] 刘刚,吴冲龙,何珍文,等. 面向地质时空大数据表达与存储管理的数据模型研究[J]. 地质科技通报, 2020, 39(1): 164-174.
LIU Gang, WU Chonglong, HE Zhenwen, et al. Data Model for Geological Spatiotemporal Big Data Expression and Storage Management [J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2020, 39(1): 164-174.
- [4] 朱庆,朱军,黄华平,等. 实景三维空间信息平台与数字孪生川藏铁路[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(2): 46-53.
ZHU Qing, ZHU Jun, HUANG Huaping, et al. Real 3D Spatial Information Platform and Digital Twin Sichuan-Tibet Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(2): 46-53.
- [5] 王艳杰,王卷乐,卜坤. 灾害数据管理技术与平台进展及其面临的需求研究[J]. 灾害学, 2019, 34(2): 205-210.
WANG Yanjie, WANG Juanle, BU Kun. Research on Disaster Data Management Technology and Platform Progress and the Demand it Faces [J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(2): 205-210.
- [6] 王珣,刘勇,袁焦,等. 沉降智能监测与评估系统的开发及应用[J]. 铁道工程学报, 2019, 36(4): 20-25.
WANG Xun, LIU Yong, YUAN Jiao, et al. Development and Application of Settlement Intelligent Monitoring and Evaluation System of High-speed Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2019, 36(4): 20-25.
- [7] 王珣,潘兆马,袁焦,等. 无线智能化铁路基础设施数据采集系统的研究与应用[J]. 传感技术学报, 2018, 31(10): 1604-1612.
WANG Xun, PAN Zhaoma, YUAN Jiao, et al. Research and Application of Wireless Intelligent Railway Infrastructure Data Acquisition System [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2018, 31(10): 1604-1612.
- [8] 魏永幸,陈明浩,张广泽,等. 面向铁路减灾选线的复杂艰险山区地质灾害广域高效识别[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(1): 1-6.
WEI Yongxing, CHEN Minghao, ZHANG Guangze, et al. Wide-area and High-efficiency Identification of Geological Disasters in Complex and Dangerous Mountainous Areas for Railway Disaster-Reduction Route Selection [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(1): 1-6.