

城市轨道交通工程施工数据采集与决策分析系统

谢玮成 吴维国 赖轩明 刘媛媛

(中建海峡建设发展有限公司, 350001, 福州//第一作者, 工程师)

摘要 详细阐述了城市轨道交通工程施工数据采集与决策分析系统的架构, 以及各组成部分的功能及关键技术。该系统以物联网技术及机器学习技术为基础, 汇聚整理城市轨道交通工程施工生产中的各项核心业务数据, 并构建决策分析平台, 以期借助信息技术来实现施工数据的自动化采集和智能化分析, 为管理者提供全方位的数据服务和决策支持。该系统的试点应用效果反馈良好, 验证了其可靠性和实用性。

关键词 城市轨道交通工程; 施工管理; 施工数据采集与决策分析系统

中图分类号 U215.11

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2021.12.047

Construction Data Collection and Decision Analysis System for Urban Rail Transit Engineering

XIE Weicheng, WU Weiguo, LAI Xuanming, LIU Yuanyuan

Abstract The architecture of the construction data collection and decision analysis system for urban rail transit engineering, as well as the functions and key technologies of each component are elaborated in detail. The system is based on the technology of Internet of Things and machine learning, gathering and organizing various core business data in the construction and production of urban rail transit projects. A decision-making analysis platform is established to realize the automatic collection and intelligent analysis of construction data with the help of information technology, providing managers with a full range of data services and decision-making support. The pilot application of the system has received good feedback, validating its reliability and practicability.

Key words urban rail transit engineering; construction management; construction data collection and decision analysis system

Author's address CSCEC Strait Construction and Development Co., Ltd., 350001, Fuzhou, China

施工, 本文在总结智慧工地体系及系统架构研究成果的基础上, 以为城市轨道交通工程施工管理人员提供数据服务和决策支持为出发点, 围绕施工生产中的各项要素, 综合运用物联网、机器学习等技术, 汇聚施工生产核心数据, 搭建城市轨道交通工程施工数据采集与决策分析系统(以下简为“施工数据与决策系统”), 以辅助生产创效。

1 施工数据与决策系统的整体架构

1.1 整体框架

施工数据与决策系统包含数据采集平台和决策分析平台两部分。其中, 数据采集平台负责对施工生产涉及到的各项要素数据进行自动化采集, 决策分析平台负责实现对采集数据的汇总分析。如图1所示, 施工数据与决策系统框架包含应用表现层、业务逻辑层、数据访问层、安全保护体系和运维保障体系。

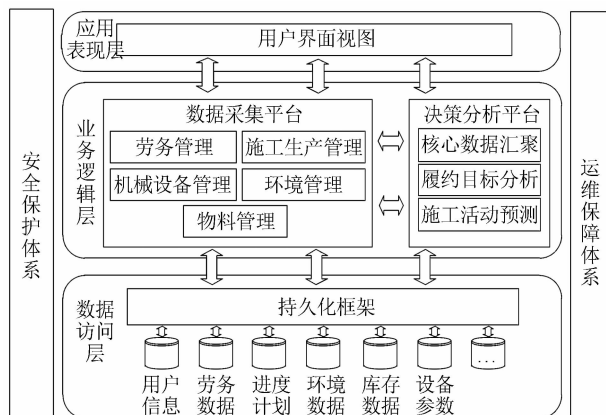


图1 施工数据与决策系统整体框架

Fig. 1 Overall framework of construction data and decision analysis system

应用表现层是平台与用户交互的窗口, 其实现了对用户请求的快速响应以及对处理结果的及时反馈。业务逻辑层为处理业务的核心层, 其中设计了系统功能的具体实现方法。数据访问层通

为更好地实现建筑工程领域的数字化、智能化

过封装数据库,使业务逻辑层能高效地调用数据库操作方法。安全保护体系以安全管理设备和软件为基础,设计防护策略,实现对数据的有力保护。运维保障体系提供针对事件管理、问题管理和变更管理等流程的运维方案,为平台的正常运行提供支撑。

1.2 数据中心架构

数据中心主要由服务器主机、互联网接入设备、安防监控设备等组成,其作为施工数据与决策系统运行的硬件载体,用于支撑系统进行数据采集、存储、计算及展示等操作。

为保证施工数据与决策系统的高可靠性、高效率性和高稳定性,数据中心配置有 6 台戴尔 R740 服务器(其中 2 台为应用服务器,2 台为数据库服务器,2 台为文件服务器),并组建了高速局域网,以实现不低于 90 MB/s 的局域网数据传输。为实现负载均衡,数据库服务器使用 MyCat 集群来构建分片数据库,使单台设备负载达到最佳;应用服务器用来实现双机热备,以提高可用性;使用文件服务器搭建分布式存储系统,进而实现弹性存储。

2 数据采集平台

为真实反映施工生产各项资源的配置和运行情况,提高数据采集的效率和准确率,数据采集平台设计有物联网接口,可实时获取安装在施工现场各处的智能传感设备及数据采集设备数据。所使用设备包含颗粒物检测仪、龙门吊数据采集仪、盾构机数据采集仪、红外对射探测器、重量传感器、红外热像机芯及 RFID(射频识别)扫描枪等。

数据采集平台以施工管理中的人员、机械、物料、方法和环境等要素为核心进行设计,其项目包含劳务管理、机械设备管理、物料管理、施工生产管理和环境管理等 5 个业务子平台。

2.1 劳务管理子平台

2.1.1 业务功能

劳务管理子平台覆盖了从劳务人员信息录入到进出场考勤,再到工资结算的整个管理流程,如图 2 所示。劳务人员进场作业前需先录入个人信息,并接受安全教育;随后,劳务管理子平台将通过安全教育的人员状态标识为正常,并授予其进入施工现场的权限。施工现场进出通道处安装有人脸识别设备,可实时捕获通行人员的面部特征,并将捕获的人员特征与数据库中的人脸特征比对,进而

确认人员身份,并控制门禁开闭。施工现场安装的视频摄像机实时监控作业人员,自动识别和记录未佩戴安全帽的人员信息,并于每日 18:00 推送当日违规人员清单给项目管理人员。劳务管理子平台按月生成考勤记录表,根据劳务人员违规行为次数计算行为奖金,并生成当月应发工资。项目管理人员审核应发工资后,劳务管理子平台将工资表推送给银行,由银行代发工资。

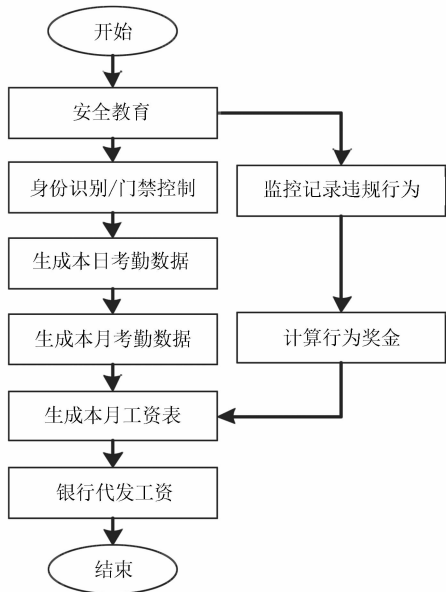


图 2 劳务管理流程
Fig. 2 Process of labor management

2.1.2 关键技术

劳务管理子平台违规行为监控功能的实现,需借助 OpenCV 及 TensorFlow 等软件库来构建神经网络。如图 3 所示,实现的整体流程包含安全帽佩戴模型训练、视频图像处理 and 人员身份识别。

安全帽佩戴模型训练流程:首先,批量导入基于 Pascal VOC 2012 数据集标注的安全帽及人员图像,通过 TensorFlow Object Detection API 工具包生成训练集与验证集的 TFRecord 格式数据;然后,借助对象检测模型完成迁移学习,修改配置文件参数,完成训练学习;最后,将训练后的模型导出为冻结格式,借助脚本生成配置文件。

视频图像处理流程:首先,通过调用 OpenCV 软件库中的 VideoCapture 类来获取视频摄像机中的图像帧,并将其实时复制存储为临时文件;然后,调用加载训练后的安全帽佩戴模型,读取图像帧数据文件,并执行解析比对操作;最后,将解析结果显示在视频图像中,即标识视频中人员安全帽佩戴情况。

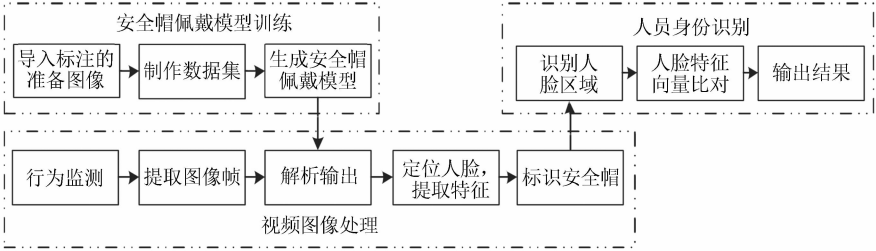


图3 违规行为监控功能实现流程

Fig.3 Process of irregularity behavior monitoring function realization

人员身份识别流程:当获取到未佩戴安全帽的人员图像帧时,先通过 MTCNN 模型检测出人脸所在区域,并提取人脸图像;然后,将提取到的人脸图像经 FaceNet 模型计算出特征向量;最后,将该特征向量与劳务人员数据库中的人脸图像特征向量进行比较,通过特征向量间的欧式距离判断人员身份。

2.2 机械设备管理子平台

2.2.1 业务功能

机械设备管理子平台主要实现对龙门吊和盾构机等主要施工机械设备的监控。通过对接安装在龙门吊及盾构机上的数据采集仪,机械设备管理子平台可解析设备运行的核心参数,并能根据指标要求设计安全阈值,开发超限提醒功能,实现对设备运行状态的实时监控和风险告警。

2.2.2 关键技术

在获取设备核心参数时,需对设备数据采集仪进行定制接口开发。首先,应确定需要对接的数据采集仪参数,掌握相关 API(应用程序接口)函数的用途;然后,编写对应的接口调用 API 函数,以获取所需的数据,并将获取到的数据经格式处理后存储进数据库中;最后,设计脚本实现运行数据的定时、定频传输。

2.3 物料管理子平台

2.3.1 业务功能

物料管理子平台覆盖了物料从计划、采购到验收,再到出库的全周期管理流程,其具体包含采购管理、验收管理和仓储管理等 3 个模块。

采购管理模块实现采购计划编制、采购申请等功能。验收管理模块通过软硬件结合,实现对物料验收环节的把控,并存储验收数据作为仓储管理模块入库环节的依托。仓储管理模块以 RFID 技术为基础,可实现入库、领料及盘点等功能。

2.3.2 关键技术

采购管理模块通过数据接口与电商采购平台对接,授权完成采购下单及付款等操作,再经接口推送返回交易信息。

验收管理模块可与红外对射探测器及重量传感器等设备实现对接,能自动获取物料重量及车辆车牌等信息。

仓储管理模块采用 RFID 技术建立物料盘点与追溯体系:在物料验收入库时,为其打上唯一识别的 RFID 标签;当某批次物料出库时,通过仓库出入通道处安装的 RFID 识别器,物料管理子平台能自动识别和记录物料信息;在物料盘点时,管理人员使用手持式 RFID 扫描枪逐类扫描物料,由物料管理子平台自动记录所盘点物料的库存数量,并将其与该物料出入库数量计算结果比对;当发现数量偏差较大时,自动发出告警。

2.4 施工生产管理子平台

2.4.1 业务功能

施工生产管理子平台使用 WebGL(Web Graphics Library) 技术将高精度 BIM(建筑信息模型)加载显示在浏览器中,基于物联网技术将安装在施工现场各处的声光报警器、视频摄像机及门禁等设备与施工生产管理子平台互联互通,并将安全质量隐患排查数据、工程进度计划与三维模型深度结合,构建空间数据库,可直观展现施工现场管理情况。

2.4.2 关键技术

由于平台采用 B/S(浏览器/服务器)架构设计,因此,在初始化载入模型时,需要对模型数据组织和加载方式做出调整。具体调整的操作主要为模型转换和轻量化显示。

模型转换依托 RvtVa3c 插件实现,其核心在于模型网格信息的提取,以及每个构件的属性信息提取与绑定。

Revit 软件 API 的 IExportContext 接口提供了网格信息数据的导出方法。如图 4 所示,各导出方法的执行顺序为:由 Start() 方法构造根节点;调用 OnViewBegin() 方法初始视图操作;视图操作内置二层循环,且循环以 OnElementBegin() 方法为起始,至 OnElementEnd() 方法为终止;其中,OnMaterial() 方法可实现材质信息的提取,OnFaceBegin() 方法可实现对构件元素中每一个表面的遍历,OnPolymesh() 方法实现遍历提取面片、材质信息;流程末端调用 Finish() 方法将数据以轻量级数据交换格式(JSON)存储。

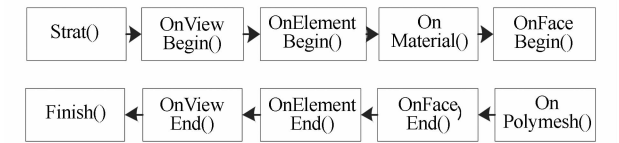


图 4 网格信息数据导出方法执行顺序
Fig. 4 Execution order of grid information data export method

轻量化显示借助 WebGL 技术实现。通过调用 THREE.ObjectLoader() 方法将存储的 JSON 文件加载进浏览器内存中,遍历各网格节点,完成渲染。

2.5 环境管理子平台

2.5.1 业务功能

环境管理子平台负责实现对施工场地及周边区域 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、噪声等数据的监控,其由温度传感、颗粒物监控、喷淋控制及噪声监控等模块组成。

2.5.2 关键技术

温度传感模块通过红外热像机芯的数字视频接口与视频摄像机对接,并通过视频画面获取物体表面温度值。

颗粒物监控模块对接颗粒物检测仪,实时采集区域内的 $PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 等数值。

当 $PM_{2.5}$ 的小时平均值大于 $75\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$,或 PM_{10} 的小时平均值大于 $150\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$,或物体表面温度大于 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且持续 10 min 时,由喷淋控制模块向喷淋控制器发出开启喷淋开关指令。当数值回归正常后,喷淋控制模块将自动关闭喷淋开关。

当噪声监控模块监测到所在区域的噪声超过阈值时,将调用短信接口发送消息给管理人员。

3 决策分析平台

决策分析平台是在提炼数据采集平台核心业务数据的基础上,实现决策分析功能的业务看板,

其重点为项目管理人员提供数据分析和决策支持。根据用途,可将决策分析平台数据分为二级业务数据和一级决策数据,如图 5 所示。

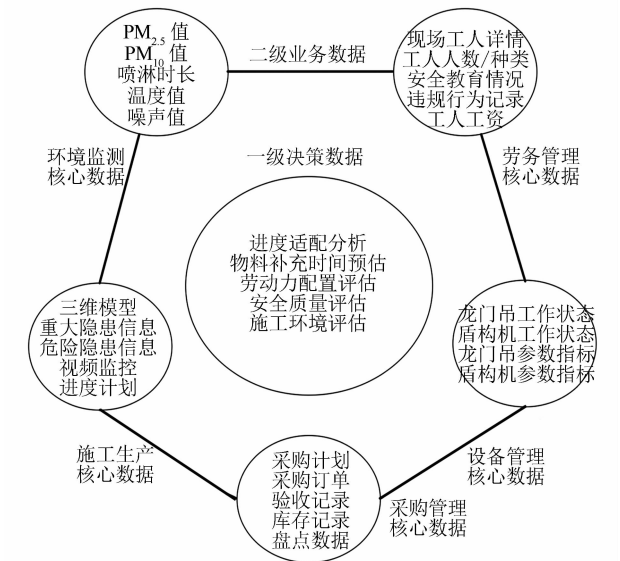


图 5 决策分析平台数据类型
Fig. 5 Decision analysis platform data type

3.1 二级业务数据

二级业务数据通过对数据采集平台获取的数据进行归类、分析,而得出的施工生产核心数据,其主要用于服务日常施工管理。根据业务类型,可将核心数据种类分为劳务管理数据、设备管理数据、物料管理数据、施工生产数据和环境监测数据。

劳务管理核心数据包含整体情况数据和日常管控数据。整体情况数据有施工工人总数及种类、工人安全教育情况,日常管控数据有当前施工现场工人详情、违规行为记录等。设备管理核心数据包含具体设备的工作状态和各参数指标的整体状况。物料管理核心数据包含采购计划、采购订单、验收记录、库存记录和盘点数据。施工生产核心数据包含施工现场三维模型、重大隐患信息、视频监控数据和进度计划。环境监测核心数据包含施工区域内的 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、温度值、噪声值及喷淋设备状态数据。

3.2 一级决策数据

一级决策数据是以二级业务数据为基础,经数据分析处理得到的能为施工管理提供决策指导的数据。一级决策数据主要面向项目领导团队,其包含进度适配分析、物料补充时间预估、劳动力配置评估、安全质量评估、施工环境评价等内容。

进度适配分析:将当前进度任务完成情况与进

度计划进行对比,得出实际进度与计划进度的偏差量,并进一步分析得到进度整体滞后情况。

物料补充时间预估:以进度计划为基础,通过计算各类物料库存数量所能够维持的施工生产天数,进而得出物料补充的最佳时间。

劳动力配置评估:以进度计划为基础,综合分析当前施工劳务人员的种类及数量,预测评估能否顺利完成施工任务。若评估认为当前配置无法满足施工需要,则会向管理人员提出配置调整建议。

安全质量评估:根据排查隐患的严重性及隐患整改的及时性作出的综合性评估。评估等级分为良好、中等和存在危机三级。

施工环境评价:结合各项环境监测数据得出的综合评价结果。当某项监测数据出现异常时,评价结果将提示该项异常数据。

4 界面设计及试点应用

4.1 界面设计

图6为施工数据与决策系统的界面,其共包含决策看板、劳务管理、机械管理、物料管理、施工管理和环境管理等6个功能页面。



图6 系统界面

Fig. 6 System interface

决策看板页面实现了核心业务数据的汇聚与分析。该页面内显示有盾构作业视频监控、场地三维模型、工程进度分析、环境监测指标状态、重大隐患信息、安全质量评估情况等内容。该页面中的部分栏目提供有施工生产涉及的各项资源动态配置的执行建议(如各设备当前状态及下一轮预计保养时间、仓库中各物料的现有量及预计需要补充的时间、劳动力配置评估及调整建议等)。

其他5个页面为数据采集功能的详细数据界面。劳务管理页面实时展示施工现场人员数量、违规行为抓拍及劳务人员工资等信息。机械管理页面动态显示龙门吊、盾构机运行的各项参数,并提

供风险项的告警。物料管理页面分为3个版块,分别展示了采购中的订单详细信息、各类物料的验收情况及物料的仓储情况。施工管理页面以施工现场三维模型为核心,融合工程进度计划、安全质量隐患排查数据、视频监控等内容,可按时间轴动态显示各区域施工情况。环境管理页面实时显示施工现场的 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 及噪声等监测数据,并记录各监测项超标数值及发生时间。

4.2 试点应用

施工数据与决策系统在已试点项目应用了半年左右。项目管理人员可通过电脑端或移动应用端访问该系统。为了准确掌握施工数据与决策系统的应用情况,本文采用问卷调查法对施工数据与决策系统使用情况进行调查,共面向试点工程项目管理人员发放问卷87份,有效回收83份。

调查结果显示:认为施工数据与决策系统提供的数据有助于工程管理的有79人,占比为95.2%;认为数据采集方式能减少管理人员工作量的有81人,占比为97.6%;认为施工数据与决策系统操作简便,能提高工作效率的有76人,占比为91.6%。

综合评估试点项目的人力成本及运维成本等投入,经估算,施工数据与决策系统在应用期间约为试点工程节约成本30余万元。

由此可见,施工数据与决策系统的试点应用反响较好。

5 结语

本文详细介绍了施工数据与决策系统的设计方案,其构建数据采集平台和决策分析平台,实现了对施工生产涉及的主要数据的自动化采集,对施工管理活动的智能化分析与预测。施工数据与决策系统试点应用反馈良好。其反馈结果显示:该系统性能较高,具有较强的数据采集和分析能力,对施工管理有辅助作用,在数字化建设领域有良好的应用前景。

参考文献

- [1] 阎平,周杨,孙中义. 基于物联网的电力管廊智慧工地系统设计与应用[J]. 电子测量技术,2019(18):14.
YAN Ping, ZHOU Yang, SUN Zhongyi. Design and application of intelligent construction site system for power pipe gallery based on Internet of Things[J]. Electronic Measurement Technology, 2019(18):14.

(下转第233页)