

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.05.004

长大桥群结构健康监测系统集成研究及开发

宗跃然¹, 左永辉², 程勋煜¹

(1.江苏高速公路工程养护技术有限公司,江苏南京211106; 2.江苏交通控股有限公司,江苏南京210008)

摘要:为提升长大桥群结构健康监测综合管理和安全保障能力,通过对江苏高速公路长大桥群结构健康监测系统的研究与开发,提出了一套集成度高、标准化强、可适用性广的数据架构及多功能、多模块化的综合管理平台,以促进长大桥群运行监测与管理水平的提升。

关键词:长大桥群;桥梁健康监测;架构设计;功能设计

中图分类号: U495

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)05-0015-03

0 引言

交通基础设施是我国社会经济平稳发展的物质基础,保证其服役安全关乎国计民生。其中,长大桥梁作为交通基础设施的重要组成部分,具有建设规模大、交通安全性要求高、对于养护保障依赖性较强等突出特点^[1]。因此,目前许多长大桥梁都建立有结构健康监测系统^[2]。但现有的监测系统大多较为孤立,无统一的数据接入和传输标准,且存在集成度低、不易布设、故障率高、系统可适用性差等问题^[3]。为进一步提升长大桥梁结构监测和安全保障能力、统一数据标准、强化平台之间的互通性,本文开展了江苏高速公路长大桥群结构健康监测系统的研究与开发。

1 系统架构设计

长大桥群结构健康监测系统的数据架构图如图1所示。该架构图采用三级模式:桥梁采集端、大桥监控中心和数据中心。桥梁采集端主要进行数据采集与入库存储;大桥监控中心主要接收桥梁采集端的原始数据并上传至数据中心服务器;数据中心则实现对各大桥监控中心的数据进行实时抓取、展示与分析。

本系统的数据存储与传输均采用 Influx DB 数据库。该数据库着力于高效查询与存储时序型数据,被广泛应用于存储系统的监控数据,十分适用于监控数据的存储^[4]。同时其高效的压缩算法能够大幅节省硬盘使用空间。

收稿日期: 2023-05-19

作者简介: 宗跃然(1997—),男,硕士,助理工程师,从事桥梁信息化工作。

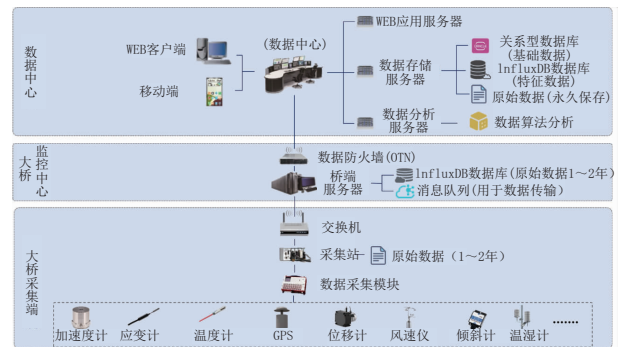


图1 长大桥群结构健康监测系统集成数据架构图

1.1 大桥采集端

大桥采集端主要进行传感器原始数据的采集与入库存储。通过在大桥采集端部署数据抓取、入库存储程序,将采集到的监测数据、传感器状态、报警指标实时存入布置在大桥监控中心的 Influx DB 数据库。数据库中各桥梁、传感器的编码均按照部颁标准和指南进行标准化编制。

1.2 大桥监控中心

大桥监控中心是数据存储和上传的枢纽。监控中心布设服务器,接收大桥采集端的数据进行长期存储,并接收采集外站的二进制数据文件进行异地备份。同时,监控中心通过 OTN 传输技术与数据中心进行通讯,实现大桥监控中心与数据中心间数据的互联互通。

1.3 数据中心

数据中心采用“数据中台”的架构设计思想,实现数据的采集、汇聚与应用分析^[4]。数据中心部署 Influx DB 数据库,用于存储各大桥的基础数据(桥梁基本信息、传感器基本信息、报警信息等)和特征值数据(算法程序实时解析大桥监控中心的原始数

据)。同时在数据中心 Web 应用服务器搭建系统平台,平台框架采用 Spring 框架技术、Redis 缓存架构以及 OSS 储存架构。另外在数据中心部署数据处理算法程序,对桥端数据进行实时清洗过滤、特征值提取和业务相关算法分析。

2 系统功能设计

为实现对长大桥群的综合监管,并结合各桥的监测需求进行具体调研分析,设计了长大桥群结构健康监测系统,其功能模块见图 2。监测系统采用“一主多从”的功能结构^[5],桥群主页对桥群综合信息进行展示,单桥主页则针对单一桥梁进行多功能、多模块化的管理展示。

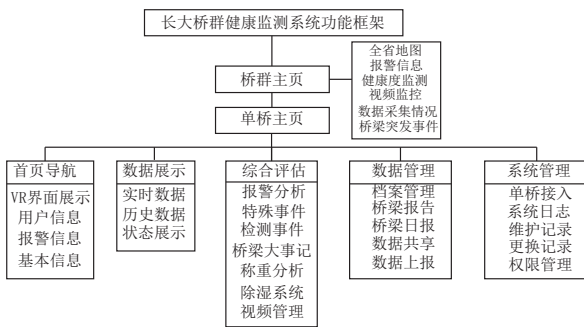


图 2 长大桥群结构健康监测系统功能模块设计图

2.1 桥群主页

桥群主页采用 GIS 地理信息系统应用,将各座长大桥的地理信息在一张地图上进行整体呈现,并实现对各桥监测系统运营状态的动态监管,满足数据监测、报警信息监测、健康度监测、数据采集以及桥梁突发事件等功能需求(见图 3)。通过点击主页地图上各大桥的名称,即可进入对应单桥页面。



图 3 长大桥群主页 UI 设计图

2.2 单桥主页

单桥主页的功能主要分为首页导航、数据展示、综合分析、数据管理、系统管理五大模块,以满足实时可视化展示、数据互联、突发事件实时预警、结构安全性能预测等重要功能需求。

单桥主页 UI 设计图见图 4。



图 4 单桥主页 UI 设计图

2.2.1 首页导航及模型展示

单桥的首页导航页面包括桥梁各重点位置响应指标的展示,每隔 5 min 更新以实时掌握桥梁各测点的结构响应以及环境情况。同时在各响应指标左侧显示参考的报警值,具体数值可针对不同桥梁进行个性化设置。

首页右侧展示桥梁图片并将布置的传感器在对应位置具体标出,展现全桥监测传感器的布设情况。通过点击每个传感器,即可获得其具体名称、编号和具体参数。

桥梁模型功能提供 VR 桥梁模型展示,可动态切换不同视角,如图 5 所示。

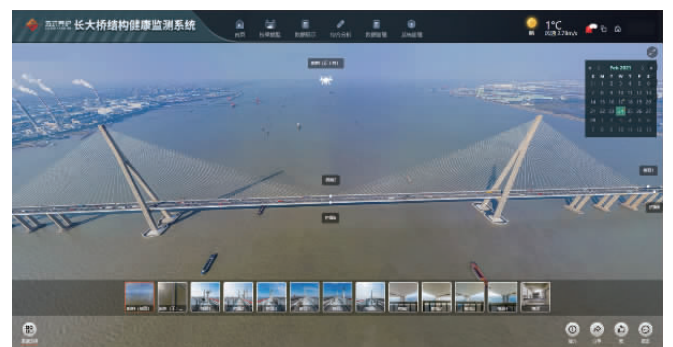


图 5 桥梁模型页面 UI 设计图

2.2.2 数据展示

数据展示模块主要包括对实时与历史数据的查询与显示。在界面上方部署传感器类型信息,界面左下方放置传感器信息、传感器位置信息、布点信息;界面右方用于显示传感器数据展示图表,包含传感器示值、多图切换、频谱显示、索力显示等功能(见图 6)。

2.2.3 综合评估

综合评估模块主要用于实现对采集数据的分析与挖掘,旨在为长大桥养护提供有效的科学决策。具体包含的数据分析方法如表 1 所示。同时提供部分算法的可视化功能,如风场添加风向动画效果、风速风向玫瑰图、紊流强度、阵风系数、风谱功能。温度场以桥梁模型为基础叠加温度场,如图 7 所示。



图6 数据显示页面 UI 设计图

表1 算法功能介绍

算法名称	算法类型	算法介绍
涡振分析算法	结构响应分析	实现桥梁主梁涡振的实时识别,及时发出报警,为养护决策提供依据。输出的涡振特征信息主要包括主梁振动加速度均方根、功率谱峰值比,发生涡激振动的概率
模态分析算法		采用基于数据随机子空间法识别大桥结构的模态振型、基频与阻尼比,通过与往期结构模态信息对比,评估结构刚度状态,为结构评估过程计算模型修正提供依据
风场分析算法	环境激励分析	计算结构各位置风场特性,服务于大风天气下大桥交通管控,风荷载作用下结构状态评估
车辆荷载算法		实时掌握桥上车辆荷载信息,服务于交通荷载总体变化趋势分析,为结构状态评估提供荷载依据
温度场分析算法		分析结构各位置温度变化趋势,为温度对大桥各构件力学行为和状态的影响分析提供依据;桥面铺装层温度及时报警,服务于大桥桥面管养

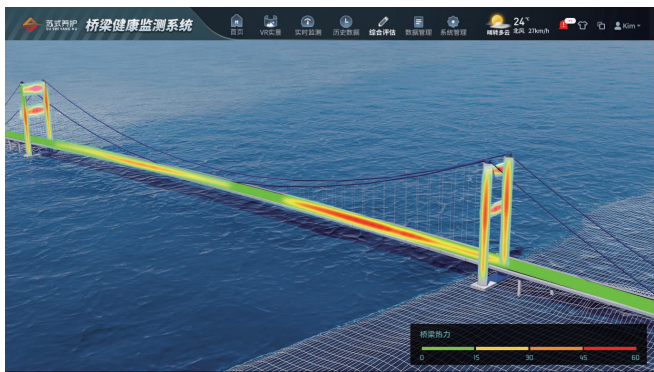


图7 桥梁温度场可视化页 UI 设计图

2.2.4 数据管理

数据管理模块主要包括桥梁档案、桥梁日报等文件数据的上传、查询、下载以及监测数据的共享和上报功能。

数据共享体现“数据中台”思想^[6-7],提供数据接入和输出,并界面化展示、权限化管控、流程化申请,针对以往数据共享情况总结,可以分为数据共享和文件共享:数据共享采用 Https 模式、Socket 模式和消息队列模式,对外数据输出平台需采用 Protobuf 编码和 TLS 链路加密,以保证数据安全和完整,对内接入数据应满足数据输出平台相应的要求;文件共

享主要是原始文件的共享,系统从文件属性做多维选择,如根据所属桥梁名称、采集时间、传感器类型、传感器编号等进行筛选,系统再根据筛选情况将原始文件打包进行共享,并生成对应的下载日志。

数据上报功能主要实现的是单桥向省级平台进行监测数据的上报,上报数据主要包括单桥系统基本信息、测点基本信息、实时监测信息、视频监控信息和报警信息等。系统开发可视化界面,对数据上报过程进行管控,对上传数据体量做统计、对异常数据做分析、对上传记录做展示等。

2.2.5 系统管理

数据管理模块主要包括单桥接入、维护记录和用户权限管理等功能。

单桥接入是为未来标准化接入更多桥梁而开发的可视化功能,可使新桥的接入更加规范、标准、高效。具体的单桥接入流程如下。

(1)单桥进行账号注册或管理单位分配,并生成桥梁识别码。

(2)数据通过规定的长大桥梁结构监测数据通信传输接口协议中 MQTT 的方式进行数据上传。

(3)通过系统对桥梁基本信息进行填报,对桥梁传感器基本信息、报警信息等进行填报或者导入。

(4)上传或填写 VR 桥梁模型地址,在桥梁模型上标记传感器位置信息。

3 结语

长大桥群结构健康监测系统的建立可以有效提高长大桥梁群运行监测与管理水平。未来的系统建设应在保证低成本、高精度采集的监测数据基础上,继续整合桥梁全维度数据,进行综合化管理,深化对数据的进一步挖掘,为桥梁养护提供更加科学有效的决策信息。

参考文献:

[1] 李惠,欧进萍.斜拉桥结构健康监测系统的设计与实现(I):系统设计[J].土木工程学报,2006,39(4):39-44.

[2] 张宇峰,徐宏,倪一清.大跨桥梁结构健康监测及安全评价系统研究与应用进展[J].公路,2005(12):22-26.

[3] 何旭辉,陈政清,黄方林.南京长江大桥结构健康监测及其关键技术研究[J].中国铁道科学,2008,29(4):138-140.

[4] 吴延群,张维春,黄俊,等.时序数据库在核安全级DCS运维场景中的应用研究[J].自动化仪表,2021,42(增刊1):135-138,147.

[5] 程勋煜,陆海珠,黄若昀,等.中小跨径桥梁养护管理系统研究及开发[J].公路,2021,66(6):362-366.

[6] 邓小惠,许清,周成,等.省级普通公路数据中心建设关键技术研究[J].公路,2020,65(8):277-280.

[7] 朱红甫.打造企业数据中台推进企业智慧运营[J].通信企业管理,2018(2):32-33.