

基于BIM的桥梁健康监测系统

韩宜轩, 巨永锋, 杜凯, 王长祺

(长安大学 电子与控制工程学院, 陕西 西安 710064)

摘要: 桥梁作为交通系统的组成部分之一, 在建造完成之后的使用过程中因为车辆行驶、人为因素、或者风、地震等自然因素的作用, 以及材料本身性能的退化, 致使桥梁的运营安全受到影响。为了避免这些原因导致的对桥梁使用寿命和行车安全的影响, 本文以浏览器端为开发端, 利用BIM桥梁模型技术, 结合传感器数据, 为桥梁管理养护部门提供一条可视化、信息化的桥梁健康信息监测方案, 以解决管养部门检测难、风险高、成本高、时间滞后、数据碎片化等问题。

关键词: BIM; 桥梁健康监测; 轻量化; Web

中图分类号: TP2

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2019)07-0042-05

Bridge health monitoring system based on BIM

HAN Yi-xuan, JU Yong-feng, DU Kai, WANG Chang-qi

(School of Electronic and Control Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Bridges as part of the transportation system, due to the environment in the process of construction and use of the erosion of harmful substances, vehicles, wind, earthquake, fatigue, human factors, and the degradation of material itself performance, lead to structure in front of the far not meet the design life of the parts can produce different degree of damage and degradation. In order to avoid the impact of these injuries on traffic safety and service life of the bridge, the paper browser for the development end, the use of BIM three-dimensional bridge model technology, combined with sensor data, providing a visual for the bridge management and maintenance department, information-based health information to monitor bridges The program solves the problems of difficult testing, high risk, high cost, time lag, and data fragmentation in the custody department.

Key words: BIM; bridge health monitoring; lightweight; Web

20世纪70年代, 1971年美国因为银桥倒塌事故, 制定了国家桥梁监测标准, 为桥梁检测奠定了基础。20世纪80年代中后期, 英国在三跨变高度连续钢箱梁桥上布设传感器, 监测大桥振动、应变和挠度, 该系统通过计算网络技术开创了桥梁在线健康监测、分析的先河^[1-2]。在21世纪, 桥梁监测效率随着传感器设备技术的提高而提高。但由于桥梁跨度的增加以及设计的复杂化, 桥梁健康监测技术依旧是国内外关注的焦点。

在2015年, 交通运输部印发了《交通运输重大技术方向和技术政策》的通知, 就BIM技术在桥梁养护管理方面的应用做出明确要求, BIM技术将成

为桥梁养护运营阶段发展的突破口^[3-6]。

1 BIM桥梁健康监测系统整体架构

桥梁健康监测系统已应用于国内外众多桥梁中, 然而, 依旧存在着以下几方面问题:

1) 监测数据自诊断。由于桥梁健康监测系统所获取数据具有海量性、多维性、复杂性和随机性的特点, 所监测的数据会存在大量的无效和干扰信息, 这类信息会导致监控结果失效。因此, 需要建立对所获取的监测数据实现自诊断的方法, 以保证监测结果准确性。

2) 监测数据可视化。桥梁健康监测由于其涉及的监测指标的多样性, 以及每种指标的所获取信息

收稿日期: 2018-07-05 **稿件编号:** 201807023
基金项目: “弘毅长大”研究生科研创新实践项目(2018083)

作者简介: 韩宜轩(1995—), 女, 陕西延安人, 硕士研究生。研究方向: 交通BIM技术及应用。

的大量性。对于从业人员正确理解此类监测数据造成了一定困难。因此需要将监控数据可视化,以满足行业内相关人员的需求。

3)预警实时性。桥梁自建成之时至达到使用年限之日,将一直处于运营状态。为了满足桥梁长期安全服役的需求,需要对桥梁关键位置开展失效分析与预测,并且可以对桥梁可能的安全问题进行预警、控制和处理,真正实现预警实时性并且使桥梁健康问题可防可控。

桥梁健康监测数据具有数据量大、数据多且复杂的特点,结合这些特点,文中提出了一种多细度的BIM监测模型,其系统整体框图如图1所示。

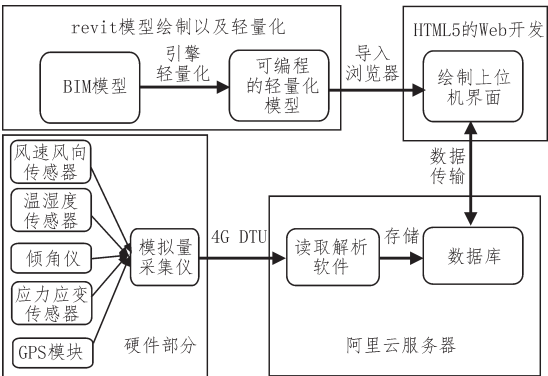


图1 BIM桥梁健康监测系统整体方案

该系统通过布设在桥梁上各种传感器收集桥梁健康监测相关数据并连接采集仪,再将采集仪处理过的数据发送到DTU(Data Transfer unit)上,通过DTU将采集到的监测数据发送到服务器的数据库中。这样我们可以在任何可以实现网络连接的地方通过访问服务器来获取桥梁健康的数据。同时,将BIM技术与web浏览器显示端相结合,把被监测桥梁BIM模型轻量化之后导入浏览器中,通过在浏览器中进行HTML5的编程来构建前台界面,访问服务器获取数据,将得到的桥梁健康监测数据通过上位机界面实现健康监测的功能。

2 传感器布设及原理分析

2.1 桥梁健康监测指标

2.1.1 风速风向

风力监测的主要功能是监测外部风力大小与风向等条件。桥梁建设完工后除了要负担外部人流与车辆等通行过程中产生的载荷,它所承受的外界风力也是主要载荷的一部分。桥梁结构的性能具有随

时间变化的显著特性,因此预警阈值具有一定的时效性,应结合实际服役状况,定期对阈值进行检验、补充、修正和优化,尽量减少预警现象的发生,降低结构运营维护的成本。

考虑车辆行驶安全的风速预警阈值,宜按表1确定。

表1 风速预警阈值

预警级别	预警阈值
I	0.84V _d 和32.6 m/s中较小值,但不小于25.0 m/s
II	25.0 m/s
III	20.8 m/s
IV	17.2 m/s

注:表中风速为10 min平均风速,并以桥面高度处风速仪设备采集数据作为判断依据;当采用气象站或桥塔等其他位置处风速仪的风速值作为预警值时,应将此表数据按照文献[7]进行修改;V_d为重现期为100年的主梁设计基准风速。

本次设计采用HSTL-FSX03一体式风速风向传感器变送器。

2.1.2 温湿度

当环境温度发生变化时,桥梁构件温度也发生变化。一般情况下,构件温度变化会导致构件内部产生应力^[8]。因为桥梁构件种类各异,所以对于温度变化的敏感程度也各不相同,导致同样环境温度下的各桥梁构件的温度分布复杂。环境温度监测的可以帮助掌握各构件温度分布规律,为其后续数据分析提供依据。

研究表明,当环境湿度发生变化时,桥梁表面可能产生干燥缩减或湿润膨胀现象^[9]。随着使用年限的增加,由于环境湿度导致的桥梁表面裂纹产生,在外在荷载的作用下,存在出现大型裂缝的可能性。因此湿度监测对桥梁健康十分必要。

本系统采用型号为RS-WS-* -2-*壁挂高防护等级外壳的温湿度采集变送器。

2.1.3 挠度

桥梁挠度指桥梁修建使用过程中所用的钢筋混凝土受弯构件由于荷载原因产生的挠曲变形,当变形超过一定值以后,会影响桥梁的正常使用。桥梁挠度值在一座桥梁建成之时至在使用过程中出现问题需要进行危桥改造的过程中都需要准确监测。该数据作为桥梁健康监测的指标之一,对于桥梁能否继续使用有重要参考价值^[10]。

本系统采用 BWK220 双轴电压输出倾角传感器对桥梁挠度进行监测,不同强度的混凝土对应的挠度增长系数存在差异,具体值的选取参考行业标准。

2.1.4 应力应变

桥梁作为公路运输线上的关键结构物之一,由于施工误差、预应力损失等因素,其应力分布与理论值有一定差异^[1],桥梁结构应力会对桥梁性能产生影响,所以需要采取合适的测量方法对桥梁的应力应变进行监测。通过对桥梁应力的监测和分析,根据监测结果对桥梁产生影响的规律,得出桥梁在荷载作用下的性能稳定性,进而保障桥梁在运营中的可靠性。应力应变检测结果不仅可以评级桥梁的施工质量,而且对施工中结构的安全也可以起到预警作用^[12],对桥梁进行应力应变的监测对桥梁的健康意义重大。

在数据收集时,应变计所收集的振动频率数据,需要将振动频率数据换算为应力值。数据转换方法如下:

应变变量数据计算方法:

$$\nu^{\mu} = \Delta U / T \quad (1)$$

$$\Delta U = U_0^2 - U_1^2 \quad (2)$$

式中: ν^{μ} 为应变变量; ΔU 实测应力级输出与给定基准值的差; T 为表面应力计率定系数,该系数由厂家出具的技术手册确定; U_1 为表面应变计实时测量值; U_0 为表面应变计初始值。

2.2 传感器布设点位

根据上述分析,可以得到检测项对应的传感器测点布设,如表2所示。

表2 传感器的测点布设

监测项	传感器	测点布设
挠度监测	压差式变形测量传感器	桥墩、桥塔、梁体、拱圈等
倾斜监测	盒式固定测斜仪	桥墩、桥塔、梁体、拱圈等
应力监测	表面式应变计	桥墩、桥塔、梁身等
振动监测	磁电式传感器	桥墩、桥塔、桥身等
裂缝监测	裂缝计	最大缝宽处
温度监测	温度传感器	桥面、桥底、梁体
湿度监测	湿度传感器	桥面、桥底、梁体
风速风向	风速风向仪	塔顶、跨中

3 BIM模型绘制和轻量化

文中采用 Revit 绘制 BIM 模型。Revit 作为 Autodesk 公司旗下的一款建筑建模软件由于其强大的建模功能和丰富的组件资源,深受广大建筑行业从业者的欢迎,为建筑设计师在设计过程中提供了

一种更加高效的工具。Revit 重要功能之一是 BIM 模型的构建,是目前使用最广泛的 BIM 建模软件之一^[13]。Revit 的在模型的绘制过程中,它优势体现在:

1) Revit 系列软件在建筑物设计过程中,以三维数据与体积数据为基础,为建筑的修建、维护提供参考资料,并且,所提供资料的精确度取决于建模精度。

2) 当使用 Revit 精确建模后,所生成的模型图质量几乎不受人为因素影响。

Revit 绘制的桥梁模型如图2所示。

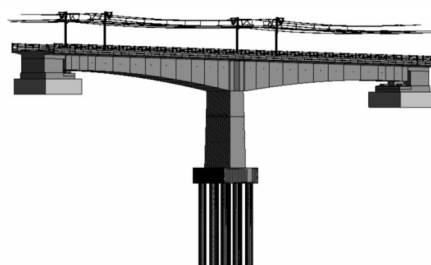


图2 Revit绘制的桥梁模型

伴随着 BIM 行业的发展,作为用户,有通过浏览器在线浏览 BIM 模型的需求^[14]。BIM 可以展现一个维度较广,复杂度高的三维计算机图形模型。当这样的图形模型在计算机设备上显示时,由于其数据量大的特点,对于计算机 GPU 新能要求极高。目前主要的 BIM 浏览的方式依旧是以桌面客户端为主。随着社会与技术的发展,一个工程项目可能需要在世界的任何一个角落被查看,仅仅在桌面端应用 BIM 已无法满足使用需求,BIM 模型必然要向 Web 端、移动端方向发展。但由于浏览器的内存以及其本身计算能力的限制。为了可以实现 BIM 模型的 Web 端显示,需要利用三维模型轻量化技术对 BIM 模型进行处理。

本文应用 Autodesk 公司发布的模型轻量化引擎及二次开发软件 Forge 对桥梁模型进行轻量化处理^[15],轻量化处理后的 BIM 桥梁模型可以直接通过浏览器打开。

图3为轻量化处理后,通过浏览器浏览 BIM 桥梁模型的显示界面。

4 系统实施方案与结果

4.1 系统设计

4.1.1 系统功能设计

本次设计使用 HTML5 语言编写程序,在开发端



图3 轻量化BIM桥梁在浏览器显示

将BIM模型轻量化后进行导入,再布设传感器,实现所需的功能,再利用Hbuilder软件查看设计效果,本次设计上位机制作的操作菜单为:

- 1)动态观察:视角聚焦鼠标点击处;
 - 2)平移:可将BIM模型在页面内进行平移;
 - 3)第一视角:对模型进行第一视角漫游;
 - 4)相机交互:修改相机参数;
 - 5)缩放窗口:聚焦用户划定的窗口范围;
 - 6)测量:提供用户在模型上取点测量;
 - 7)剖切:提供用户按X/Y/Z轴或者用户划定区域进行剖切,查看模型剖面图;
 - 8)爆炸:将模型以组件为单位在三维空间上进行分散拆解;
 - 9)模型浏览器:提供BIM模型组件树状图显示;
 - 10)特性:显示选中组件特性;
 - 11)设置:设置模型、场景渲染等;
- 其上位机界面菜单栏如图4所示。上文所提到的操作功能可以通过底部菜单栏实现。

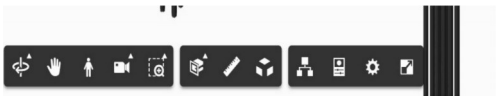


图4 上位机菜单界面

4.1.2 系统流程图

在开发端中导入BIM轻量化的模型,调用API完成各种按钮功能,再调用three.js,在模型上添加小球(小球代表布设在该点的传感器),同时在导入BIM轻量化的模型后,从后台数据库获取数据,调用echartst显示数据曲线,即点击小球可以弹出该传感器的信息,点击详情可以查看数据曲线,其流程图如图5所示。

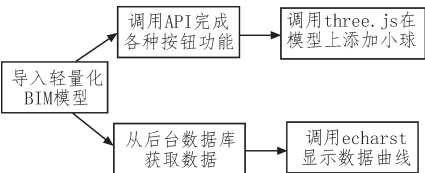


图5 系统流程图

4.2 主要功能展示

- 1)监测数据自诊断。本系统可以实现对所检测数据自诊断的功能,避免由于监测数据复杂性、随机性的特点导致的无效干扰信息,以保证监测结果的准确性。
 - 2)监测数据可视化。通过对桥梁各部分进行监测所获得所有数据,都保存在后台数据库中,行业内人员可以依据自己的需求选择相关数据进行查看,实现监测数据可视化。
 - 3)预警实时性。获得的监测数据存入后台数据库后,依据行业标准设定预警值,当桥梁构件发生损坏、桥梁性能退化,超过设定的预警值之后,系统自动发出警报消息,实现实时警报功能。
- 以应力数据监测为例,所监测的应力数据如图6所示。

设备编号	监测参数	参数值	监测时间	是否预警
DisplacementMeter	倾角 X	10	18-7-5 11:14:56	否
DisplacementMeter	倾角 Y	-5	18-7-5 11:14:56	否
DisplacementMeter	倾角 X	11	18-7-5 11:15:01	否
DisplacementMeter	倾角 Y	-6	18-7-5 11:15:01	否
DisplacementMeter	倾角 X	5	18-7-5 11:19:09	否
DisplacementMeter	倾角 Y	-6	18-7-5 11:19:09	否
DisplacementMeter	倾角 X	15	18-7-5 11:19:14	否
DisplacementMeter	倾角 Y	-7	18-7-5 11:19:14	否

图6 应力监测数据

图7为上位机显示界面,图8为上位机监测数据实时显示界面。



图7 上位机展示界面

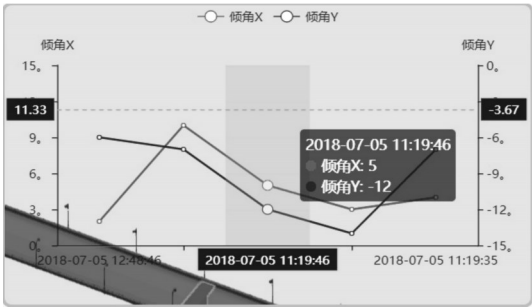


图8 应力监测数据可视化界面

5 结 论

本系统的研究目的是将BIM技术引入传统的桥梁健康监测系统,结合传感器的整合、搭配4G网络通讯模块、Web端的界面开发将整个链路优化到最佳,提供一个普遍意义上的桥梁健康监测系统的框架,完成远程的Web端监控桥梁的需求。为桥梁管理养护部门提供一条可视化、信息化的桥梁健康信息监测方案,以解决管养部门检测难、风险高、成本高、时间滞后、数据碎片化等问题。

本系统目前仍有许多可以优化的地方,如桥梁的实际点位布设、Web端模型加载的速度等方面,或受限于经济支撑或受限于桥梁方面专业的知识,不过整体的框架基础已经提出,可以根据对应的需求在这个基础上进行专业的补充完善,使得整个系统能更好的完成监测任务。

参考文献:

- [1] 张洋. 基于BIM的建筑工程信息集成与管理研究[D]. 北京:清华大学, 2009.
- [2] 朱彦, 承宇, 张宇峰, 等. 基于GPS技术的大跨桥梁实时动态监测系统[J]. 现代交通技术, 2010, 7(3):48-51.
- [3] 耿方方, 尹方舟, 丁幼亮, 等. 基于BIM的桥梁健康监测系统设计[J]. 现代交通技术, 2018(1):35-38.
- [4] 马军海. 路桥工程因BIM更智能——“BIM在交通领域推广与应用技术交流会”侧记——BIM开创公路行业新纪元[J]. 中国公路, 2016(21):66-69.
- [5] 苏远, 唐振宇, 马理镜. 基于物联网的桥梁实时监

测系统的研究与设计[J]. 电子设计工程, 2015, 23(14):134-137.

- [6] 郝浩. 基于BIM的桥梁检测与安全评估系统研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2016(12):8-9, 12.
- [7] 中交公路规划设计院. 公路桥梁抗风设计规范[M]. 北京:人民交通出版社, 2005.
- [8] 赵珖冰. 考虑温度效应的索梁结构建模及动力特性研究[D]. 长沙:湖南大学, 2015.
- [9] 高原, 张君, 孙伟. 干湿循环下混凝土湿度与变形的测量[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2012(2):144-149.
- [10] 肖新江, 刘洪彬, 李永强. 桥梁荷载试验挠度测量方法的现状与展望[J]. 城市建设理论研究:电子版, 2013(3):1-4.
- [11] 鲁薇薇, 杨永清, 李晓斌. 随机变温作用下徐变对预应力混凝土梁桥结构行为的影响[J]. 公路交通科技, 2017, 34(12):82-89.
- [12] 张少庆. 施工阶段误差对大跨PC连续梁桥长期工作性能的影响[D]. 西安:长安大学, 2014.
- [13] 徐照, 徐夏炎, 李启明, 等. 基于WebGL与IFC的建筑信息模型可视化分析方法[J]. 东南大学学报:自然科学版, 2016, 46(2):444-449.
- [14] Kropp C, Koch C, K nig M. Interior construction state recognition with 4D BIM registered image sequences [J]. Automation in Construction, 2018 (86):11-32.
- [15] 陈祥方, 谢忠, 罗忠祥, 等. 基于长期健康监测的公路大型桥梁运营状况评估研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2017(9):219-220.

(上接第41页)

- 推荐算法研究[J]. 计算机时代, 2015(11):4-7.
- [12] 周云龙. 基于Web的用户行为分析和挖掘的关键技术研究[D]. 成都:电子科技大学, 2013.
- [13] 王冰怡, 刘杨, 聂长新, 等. 基于用户兴趣三维建模的个性化推荐算法[J]. 计算机工程, 2015, 41(1):65-70.
- [14] 肖诗伯, 兰鹰, 杨玉梅, 等. 基于用户行为的学术

文献个性化推荐研究[J]. 电脑知识与技术, 2015 (2):8-10.

- [15] 杨昭. 基于用户行为模型和蚁群聚类的协同过滤推荐算法[D]. 上海:复旦大学, 2013.
- [16] 李湛, 吴江宁. 基于用户行为特征分析的隐性信任协同过滤推荐方法[J]. 情报学报, 2013, 32(5):490-496.