

赵贤任, 王立新, 严琨. 大型桥梁地震安全性在线监测与评估系统开发应用和功能的实现[J]. 华南地震, 2016, 36(3): 29-34. [ZHAO Xianren, WANG Lixin, YAN Kun. Development and Implementation of Online Monitoring and Evaluation System of Seismic Safety for Long-span Bridges[J]. South china journal of seismology, 2016, 36(3): 29-34.]

大型桥梁地震安全性在线监测与 评估系统开发应用和功能的实现

赵贤任^{1, 2}, 王立新^{1, 2}, 严琨^{1, 2}

(1. 广东省地震局, 广州 510070; 2. 中国地震局地震监测与减灾技术重点实验室, 广州 510070)

摘要: 广东多座大型桥梁相继建成了强震动监测台阵, 为了及时处理与评估地震事件对桥梁的影响, 必须建立相应的数据处理及安全评估系统。基于 Java 技术、MySQL 数据库开发了桥梁地震安全性在线监测与评估系统, 该系统实现了地震报警、桥梁振动数据实时分析、桥梁快速仿真和安全评估功能。系统成功应用于多座大型桥梁的强震动监测台阵, 可以为桥梁管理部门应对突发事件提供科学决策, 为桥梁的地震安全评估及抗震设计与加固提供基础数据。

关键词: 桥梁工程; 强震动监测; 安全评估; 系统开发

中图分类号: U442.55; U446 文献标志码: A 文章编号: 1001-8662 (2016) 03-0029-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2016.03.004

Development and Implementation of Online Monitoring and Evaluation System of Seismic Safety for Long-span Bridges

ZHAO Xianren^{1, 2}, WANG Lixin^{1, 2}, YAN Kun^{1, 2}

(1. Earthquake Administration of Guangdong Province, Guangzhou 510070, China; 2. CEA Key Laboratory of Earthquake Monitoring and Disaster Mitigation Technology, Earthquake Administration of Guangdong Province, Guangzhou 510070, China)

Abstract: Many long-span bridges in Guangdong province have built a strong motion monitoring array, in order to deal with and assess the impacts of seismic events on the bridge, data processing and safety assessment system should be established. This paper developed online monitoring and evaluation system of seismic safety for long-span bridges base on Java technology and MySQL database. The system realizes the functions of earthquake alarm, bridge vibration data real-time analysis, fast simulation and safety assessment of bridge. System successfully used in long-span bridges strong motion monitoring array can provide scientific decision-making for bridge management to respond to emergencies, basic data for the bridge seismic safety evaluation and seismic design and reinforcement.

Keywords: Bridge engineering; Strong motion monitoring; Safety assessment; System development

收稿日期: 2016-06-20

基金项目: 由广东省重大科技专项(2012A080102008)、中国地震局地震监测与减灾技术重点实验室开放基金、广东省地震预警与重大工程安全诊断重点实验室建设项目(2011A060901006)、地震科技星火计划(XH16031)共同资助

作者简介: 赵贤任 (1982-), 男, 工程师, 主要从事强震动监测方面研究工作。

E-mail: felix0930@me.com

0 引言

大型桥梁在长期使用过程中，由于荷载作用、老化、疲劳和腐蚀等各种因素的影响会发生结构损伤，监测修复这些损伤是养护部门的日常工作，也是桥梁健康监测系统的主要服务对象。同时地震对桥梁所造成的影响也不可忽视，一旦破坏性地震发生，其造成的后果也是非常严重的，如2008年汶川地震就造成了上千座桥梁受损或倒塌。而大跨度桥梁在遭受长周期地震动以及近断层大震的影响，同样会造成落梁、倒塌破坏等，这些大桥一般造价高昂，枢纽作用明显，一旦倒塌或者封闭，造成的直接和间接经济损失巨大。所以借助计算机技术，结合现有的桥梁安全评估理论方法，开发大型桥梁地震安全性在线监测与评估系统，对地震事件处理决策以及后续的长期监测与性能评定将是有益的辅助措施，而且可为桥梁结构的抗震设计和加固提供基础数据。

本文首先介绍了大型桥梁地震安全性在线监测与评估系统的主要功能，然后确定系统开发方案，根据相应的系统功能设计了6大功能模块，使用Java[®]、数据库与网页技术开发了该系统，最后介绍了本系统在大桥强震动监测上的应用。

1 系统功能分析

本系统是利用布置在大型桥梁关键节点上的力平衡式加速度传感器^[2]，对桥梁的振动进行在线监测，基于监测数据及设定的阈值对地震事件进行报警，利用选定的评价方法、设定的评价指标，结合桥梁仿真模块，对大桥遇到地震事件后的安全状况进行评估。系统主要用户包括桥梁管理方、地震部门、设计部门以及其他研究机构，系统主要实现以下几个方面的功能：用户管理、桥梁振动数据采集存储、实时报警、数据分析、桥梁仿真及安全评估^[9]。系统功能图见图1所示，各功能的具体说明如下：

- (1) 用户管理。根据不同用户需求，划分权限，对不同用户显示或者限制特定内容和操作。
- (2) 数据采集。采用中国地震局制定的统一结构制定数据表，编写软件端口，采集存储桥梁实时振动数据。
- (3) 实时报警。实时计算分析桥梁振动数据，根据预先设定的阈值，对地震、撞击等事件进行报警。

(4) 数据分析。采用若干特定的桥梁振动数据处理和分析方法，编写Java代码将其进行实现，获得不同方法计算得到的桥梁损伤指标，并设计其数据结构，利用MySQL数据库对分析结果进行存储。

(5) 桥梁仿真。基于快速桥梁数值仿真技术，建立大型桥梁的三维有限元模型，获得结构的模态及振型，结合ActiveX控件，实现三维直观显示，并针对设定地震动或实际地震记录作为输入，计算桥梁的地震响应，对大桥的抗震性能进行预测。

(6) 安全评估。结合数据分析结果以及大桥地震响应仿真结果，综合评估桥梁的地震安全性

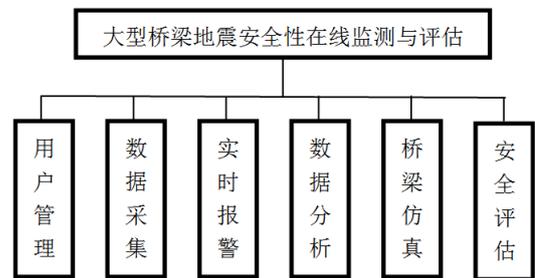


图1 系统功能

Fig.1 Function of the system

2 系统方案比选

根据上述系统功能设计要求，目前较成熟的系统实现方案主要有下面两种：

第一种：基于Java或C#的B/S结构的网络模式，这种模式统一了客户端，将系统功能实现的核心部分集中到服务器上，维护和升级方式简单，可扩展性和重用性强，维护部署成本降低，用户权限管理方便，简化了系统的开发，客户机上只要安装一个浏览器，服务器安装SQL Server、Oracle、MYSQL等数据库。浏览器实现数据的输入和显示，服务器端实现数据的计算和保存，但是应用服务器运行数据负荷较重。

第二种：基于编程语言(Java、C++、C#、VB等)的C/S结构的网络模式，客户端和服务端都需要单独编写。这种模式的实时交互性强，功能强大，但是结构比较复杂，可扩展性和重用性低，维护和升级成本非常高。

基于本项目系统的功能划分，用户管理是系统的一个主要功能，B/S结构实现较容易；系统的另一个主要功能是实时报警，对实时性要求较高，C/S结构实时交互性强；另外，由于系统长期连续

服务于桥梁监测,在此期间,数据分析和损伤识别的技术可以预见会有较大的进展,安全评估的标准也会有所改进,所以系统宜更新方便,功能扩展容易;最终,综合开发维护成本限制的考虑,权衡利弊,本项目选择方案一作为系统设计方案。

3 系统设计与开发

根据功能要求,将系统分为用户管理、数据采集、实时报警、数据分析、桥梁仿真、安全评估等6个模块。数据库采用关系型数据库管理软件 MySQL,利用 Java 语言,基于模型-视图-控制器(MVC)设计模式框架 JSF 和对象关系映射框架 Hibernate 技术,结合 JSP、HTML、JavaScript、AJAX、ActiveX 等网页技术,构建 Web 应用。JSF 框架使用用户界面代码(视图)与应用程序数据和逻辑

(模型)清晰分离, Hibernate 对 JDBC(Java 数据库连接)进行了对象封装,以对象编程思维来操纵数据库,这样搭建的系统分层清晰,易于管理。

3.1 用户管理模块

系统服务的对象有多个,每一个服务对象的需求也不尽相同,因此系统中根据需求划分出多种用户权限,主要包括:①普通用户,只可浏览数据;②科研部门用户,可以浏览数据、进行数据分析和桥梁仿真;③管理部门用户,具有浏览数据、实时报警的权限;④超级用户,具有所有权限及用户管理权限。用户管理模块基于 JSF 和自定义标签来实现,根据用户输入的帐号密码,获取用户权限,根据该权限对比所有菜单所需权限,得到该用户的菜单,编写标签显示菜单,实现用户权限管理^[4],图2是权限管理图。

用户列表						
<input type="button" value="查询"/> <input type="button" value="显示条件"/> <input type="button" value="重置条件"/> <input type="button" value="清空条件"/> <input type="button" value="查看所有"/> <input type="button" value="新增用户"/>						
帐号	照片	用户姓名	所在单位	所在部门	联系方式	用户权限管理
aa	 暂无照片	adsf	广东省地震局		办公电话: 移动电话: 家庭电话: 邮箱:	用户权限管理
gdssn1	 暂无照片	管理员1	广东省地震局	理学院	办公电话: 移动电话: 家庭电话: 邮箱:	用户权限管理
aaa	 暂无照片	aaa	广东省地震局		办公电话: 移动电话: 232321321 家庭电话: 邮箱:	用户权限管理
abc	 暂无照片	abc	暨南大学	理学院	办公电话: 移动电话: 家庭电话: 邮箱:	用户权限管理

图2 用户权限管理图

Fig.2 User permission

3.2 数据采集模块

用 Java 语言编写模块,通过网络化技术,实现桥梁关键节点振动数据的实时汇集、传输。首先采集模块按设定的数据采集器 Socket 地址和端口号请求连接,接着数据采集器响应采集模块的请求,把 Socket 的描述发给采集模块,最后采集模块确认此描述并建立连接,开始读写的行为^[5],流程参见图3。

3.3 实时报警模块

根据桥梁场地条件,设定桥址自由场地或大桥主塔基础处峰值加速度的地震报警阈值,以

Java 语言实现实时计算该位置的振动幅值,利用 JavaScript 实现弹窗报警,对桥梁可能遭遇的地震事件进行监测和识别。

3.4 数据分析模块

目前本系统桥梁监测数据分析主要采用四种独立的损伤分析方法:主成分分析法、小波包能量法、重构相空间法^[6]和二次协方差矩阵法^[7]。得到的四个指标从不同的方面反映了桥梁的结构健康状态。

3.5 桥梁仿真模块

与广州中国科学院工业技术研究院合作,建

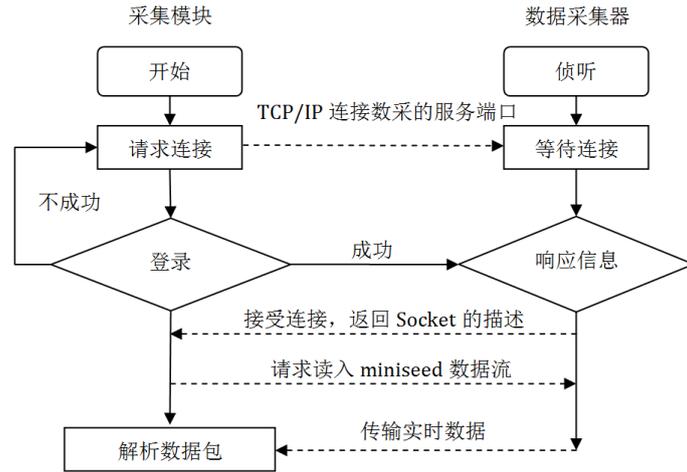


图3 接口程序流程图

Fig.3 Flowchart of the interface programming

立了桥梁快速仿真模块，实现了模态振型的三维显示。另外，本模块可以输入自定义地震波或者预设地震波，针对特定宏单元设置刚度折减比例，实现桥梁的快速地震响应仿真，并对桥梁在损伤状态下的抗震性能进行预测。桥梁仿真模块以 JSP 技术实现网页开发，如图 4 所示，模型以 ActiveX 控件来显示，如图 5 所示。



图4 地震输入图

Fig.4 Earthquake input

3.6 安全评估模块

在线监测系统给出了四种指标来反应桥梁结构的健康状态，但是单一指标的损伤识别方法可能存在误判和漏判的情况，从而降低了损伤识别的可靠性。因此，本系统将上述多个指标进行融

合，以此提高识别精度和效率。具体地，采用自适应加权最小二乘法实现 4 个独立指标的融合^④，得到桥梁的综合评估指标，以此对桥梁结构的安全性进行评估。

4 系统实现

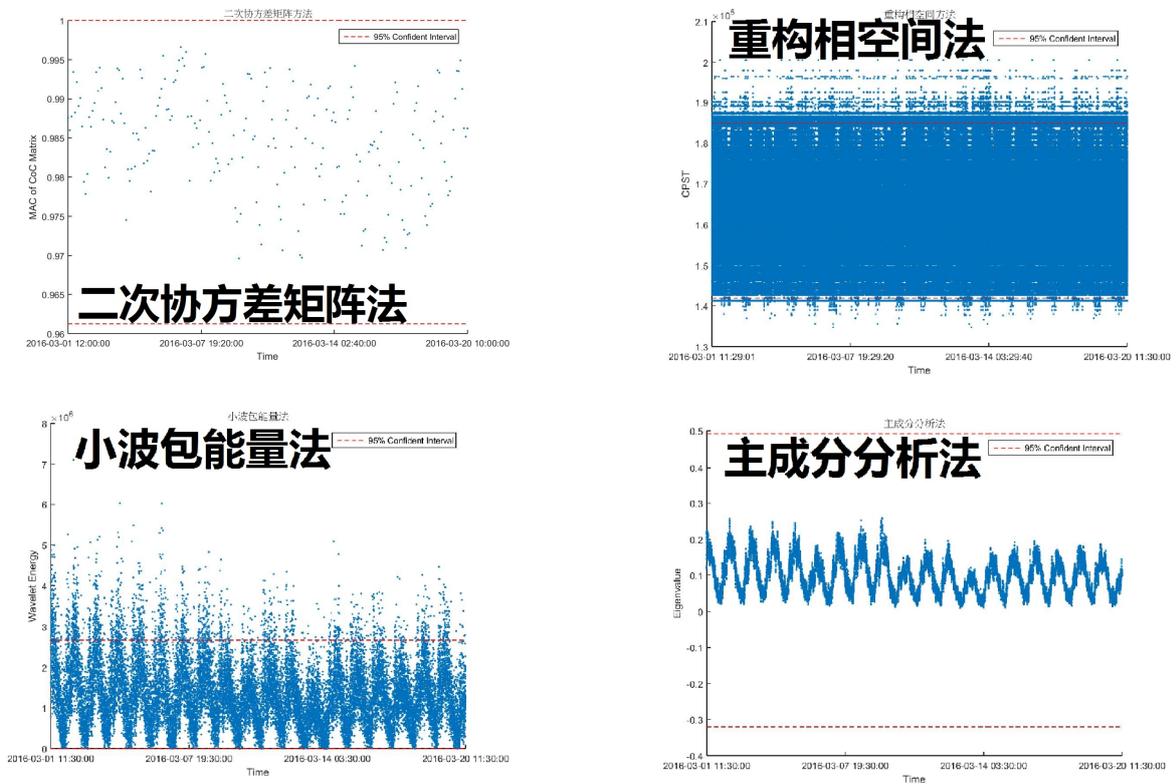
利用上述思路和方法开发了大型桥梁地震安全性在线监测与评估系统，并应用于多座大型桥梁的监测，如图 5 所示。整个系统实现如下其功能：① 实时记录桥梁振动，并对振动数据进行实时分析，提供地震事件的报警信息；② 提供四个独立的损伤指标数据，可以根据每个指标的结果反应结构的状态；③ 三维直观显示结构动力特性结果，并对结构地震响应进行快速仿真；④ 通过对上述多个损伤指标进行融合，并结合桥梁的快速地震响应仿真结果，对大型桥梁的地震安全性进行评估。

5 结语

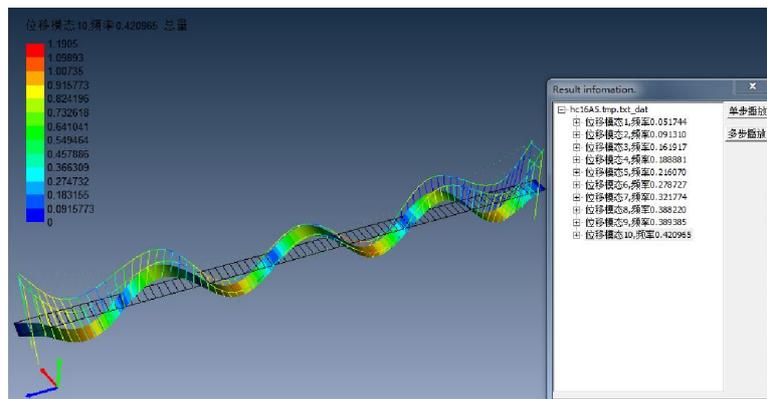
本系统利用 JSF 框架搭建系统，Hibernate 封装管理 MySQL 数据库，JSP、HTML、JavaScript、AJAX、ActiveX 等技术丰富界面，开发出安全友好实用的大型桥梁地震安全性在线监测与评估系统。系统具有开发难度可控，数据管理有条不紊，扩展性强，升级更新容易，维护成本低，用户安装和使用简单等特点，可以满足地震事件的在线监测和报警，桥梁多种指标的综合评估，模拟地震作用下桥梁结构的动力反应等需求。本系统可以



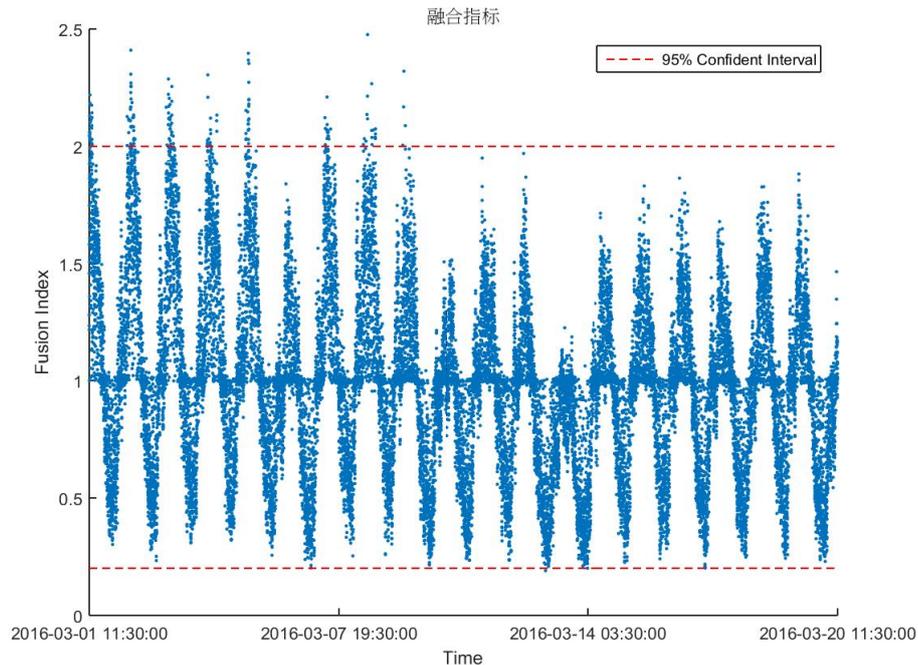
(1) 在线监测及报警效果图



(2) 损伤指标结果示例



(3) 桥梁模态三维显示



(4) 指标融合结果示例

图5 系统实施效果图

Fig.5 System implementation effect

为桥梁管理方对突发事件的处理提供有力的决策支持，为震后快速评估桥梁结构的安全性提供了多种方式，同时可为桥梁的抗震设计和加固提供基础数据。

参考文献:

- [1] Ian F. Darwin. Java 经典实例[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [2] 赵贤任, 王立新, 姜慧. 封闭车道对珠江黄埔大桥振动的影响分析[J]. 建筑监督检测与造价, 2014, 7 (1): 12-17.
- [3] 姜慧, 王立新, 严琨, 等. 大型桥梁地震安全性在线监测与评估系统研究[J]. 震灾防御技术, 2016, 11 (2): 261-271.
- [4] 杨安印, 王保保. 基于 JSF 和标签的 Web 权限控制实现[J]. 科学技术与工程, 2007, 7 (9): 1945-1947.
- [5] 吴永权, 黄文辉. JOPENS 流服务与 TDE-324 系列地震数据采集器实时数据流接口程序的设计与实现[J]. 华南地震, 2011, 31 (3): 50-59.
- [6] 聂振华, 马宏伟. 基于重构相空间的结构损伤识别方法[J]. 固体力学学报, 2013, 34 (1): 83-92.
- [7] Takens, F. Detecting strange attractors in turbulence. In: Rand, D. and Young, L.S. (eds), Dynamical Systems and Turbulence. Springer Lecture Notes in Mathematics [M]. New York: Springer, 1981.
- [8] 聂振华, 程良彦, 马宏伟. 基于结构动力特性的损伤检测可视化方法[J]. 振动与冲击, 2011, 30 (12): 7-12.