

赵贤任, 王立新, 郭德顺, 等. 基于 Java 的桥梁强震动实时监测及警报系统开发与应用[J]. 华南地震, 2016, 36 (2): 101-106. [ZHAO Xianren, WANG Lixin, GUO Deshun, et al. Development and Application of Strong Motion Real-time Monitoring and Alarm System for Bridges Based on Java[J]. South china journal of seismology, 2016, 36(2): 101-106.]

## 基于 Java 的桥梁强震动实时监测及警报系统开发与应用

赵贤任, 王立新, 郭德顺, 严琨, 杨芳, 朱嘉健  
(广东省地震局中国地震局地震监测与减灾技术重点实验室, 广州 510070)

**摘要:** 本文使用 Java 语言, 在测震台网《数据采集与常规处理》区域版 (JOPENS) 的基础上结合 Socket、多线程等技术, 开发出基于 Client/Server (C/S) 模式的桥梁强震动实时监测及警报系统, 系统包括配置模块、数据采集模块、数据存储模块、监测模块、数据浏览模块、警报模块和数据分析模块, 可跨平台安装。该系统已在多座大桥上稳定运行, 可将其推广到其他重大工程结构的强震动监测及事件警报。

**关键词:** 桥梁强震动监测; 警报系统; Java; Socket 技术; 多线程技术

中图分类号: U446 文献标志码: A 文章编号: 1001-8662 (2016) 02-0101-05

DOI: 10.13512/j.hndz.2016.02.016

## Development and Application of Strong Motion Real-time Monitoring and Alarm System for Bridges Based on Java

ZHAO Xianren, WANG Lixin, GUO Deshun, YAN Kun,  
YANG Fang, ZHU Jiajian

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

**Abstract:** Strong motion monitoring arrays have been built on Queshi Bridge in Shantou, Jiujiang Bridge in Fokai highway, Huangpu Bridge over Zhujiang River and Humen Bridge in Dongguan. The amount of structural real-time vibration data of long-span bridges collected by the strong motion monitoring arrays are huge, and the timeliness requirement of earthquake, collision and other events is high. Therefore, it is necessary to establish a rapid response monitoring data processing and alarm system. This paper develops the strong motion real-time monitoring and alarm system based on Client/Server (C/S) mode for bridges by using Java language and combining with Socket and multi-threading technology based on JOPENS. The system comprises configuration

收稿日期: 2015-10-06

基金项目: 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)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.

module, data acquisition module, data storage module, monitoring module, data browsing module, alarm module and data analysis module. The system can be installed across different platform, and the interface is simple and easy to operate. The system has been running steadily for 2 to 6 years on several bridges, and it can be applied to the strong motion monitoring and alerts of other major engineering structures.

**Keywords:** Bridge strong motion monitoring; Alarm system; Java; Socket technique; Multi-thread technique

## 0 引言

大型桥梁在长期的使用中, 由于自身荷载、疲劳、老化和腐蚀以及遭受地震、飓风、洪水等各种原因会发生结构损伤, 如果不能及时分析和排除这些结构损伤, 它将在结构服役期内不断地累加, 并最终威胁到结构的安全, 造成人员伤亡和巨大的经济损失。近年来部分桥梁管理部门开始重视地震动对桥梁结构性能的影响, 并将强震动监测纳入了桥梁健康监测范围内, 广东省内相继在汕头礮石大桥<sup>[1]</sup>、佛开高速九江大桥<sup>[2]</sup>、珠江黄埔大桥<sup>[3]</sup>、东莞虎门大桥<sup>[4]</sup>上安装了强震动监测设备。由于桥梁强震动监测系统采集到的结构实时振动数据量大, 且对碰撞、地震等事件的时效性要求高, 因此需要建立桥梁强震动监测及警

报系统对数据进行自动化的处理与示警。

本文首先介绍了桥梁强震动监测及警报系统各部分的主要功能, 然后使用 Java 语言, 在测震台网《数据采集与常规处理》区域版(JOPENS)<sup>[5]</sup>的基础上, 结合 Socket<sup>[6]</sup>、多线程<sup>[7]</sup>等技术开发了该系统, 并对其中的关键技术进行了说明, 最后介绍了本系统在大桥上的应用。

## 1 功能设计

桥梁强震动监测系统在大桥的关键节点、自由地面、桥体特征部位都布置了力平衡式加速度计<sup>[8]</sup>, 并通过网络与省地震监测中心、桥梁管理中心实现数据共享, 对这些数据的收集、处理和展示成为了该系统要实现的主要功能, 如图 1 所示。

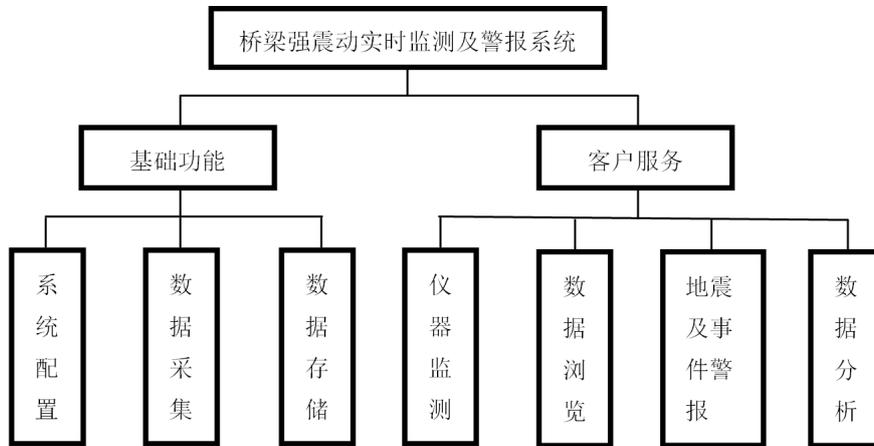


图 1 系统功能图

Fig.1 Function of the system

### 1.1 基础功能子系统

#### 1.1.1 系统配置模块

桥梁强震动监测及警报系统由多个部分组成, 每个部分都有不同的参数配置要求, 包括数据源选择、数据库参数配置、地震及事件警报判断条件参数配置、桥墩碰撞警报参数配置、警报声音、日志文件配置等。完成系统的初始化, 搭建系统的基本管理框架是本模块的主要任务。

#### 1.1.2 数据采集模块

连续采集桥梁实时振动信息是本系统的一个主要目标。市面上的多通道强震数据采集器种类繁多, 而且基本上都是以事件触发为主, 连续记录一般只能保存相当短的时间或者存储在相当有限的磁盘空间中, 这就需要根据不同的数据采集器开发相对应的数据读取接口, 将桥梁振动数据连续实时的进行异地保存。

### 1.1.3 数据存储模块

本系统继承 JOPENS 的存储功能，以数据库的形式保存数据，严格遵循“十五”《中国数字测震台网数据规范》，提供完备和规范的数据模型，保证数据采集、处理、存储、管理和交换等关键业务应用。在数据层次能统一规划，产出的数据采用数字地震波形数据交换的国际通用格式 SEED (The Standard for the Exchange of Earthquake Data)<sup>[9]</sup>。

## 1.2 客户服务子系统

### 1.2.1 力平衡式加速度计监测模块

客户对于技术性的细节了解要求不高，过于深奥的技术介绍和使用也会使程序显得机械化和枯燥乏味，所以本模块将形象具体的显示力平衡式加速度计的安装位置，对应的通道标识、事件触发后的提醒等功能都融合到客户端的界面上，形成一个简洁、美观、实用的监测模块。

### 1.2.2 桥梁实时振动数据浏览模块

为了便于技术人员的检查、维护以及管理者的监督查看，在客户端加入了桥梁实时振动数据浏览模块，并以波形的形式来组织数据，这样能够形象具体的显示桥梁的实时振动。

### 1.2.3 地震及事件警报模块

地震及事件警报模块能够使监测人员从不间断的屏幕监视工作中解放出来，在大桥遭受突发事件后，通过设置的警报提醒功能模块来辅助工作人员，及时为管理人员提供决策支持。另外，本系统引入省地震台网中心的地震自动速报信息

<sup>[10]</sup>，省测震台网能准确快速地得到发生在大桥周围区域的地震信息，这些信息能为桥梁管理方在应对地震事件的时候提供一定程度的决策支持。

### 1.2.4 数据分析模块

系统要达到实时监控大桥振动状态的目标，需要对桥梁连续振动数据进行计算和判断，本模块读取服务器实时数据，对数据进行初始化处理计算后，根据配置文件设置的条件得到相应的判断结果。

## 2 结构设计

本软件的一个主要功能是分析桥梁实时振动数据，判断计算结果，同时根据判断结果给出初步的警报信息，这些功能对客户端的时效性要求比较高，所以本系统采用了 Client/Server 软件体系结构。它可以充分利用两端硬件环境的优势，将任务合理分配到 Client 端和 Server 端来实现，充分发挥客户端 PC 的处理能力和响应速度。

系统结构如图 2 所示。在服务器端，本系统基于大型区域地震台网 JOPENS 处理系统开发，在大桥管理中心搭建数据流服务器接收并保存桥梁实时振动数据，通过网络与省台网中心建立连接，共享数据，并接收台网自动速报信息；在客户端，根据功能划分、模块化管理，将客户端软件划分为 5 大模块，包括仪器监测模块、桥梁实时振动数据浏览模块、地震及事件判断模块、数据分析模块、警报模块等，每个模块从数据流服务里面

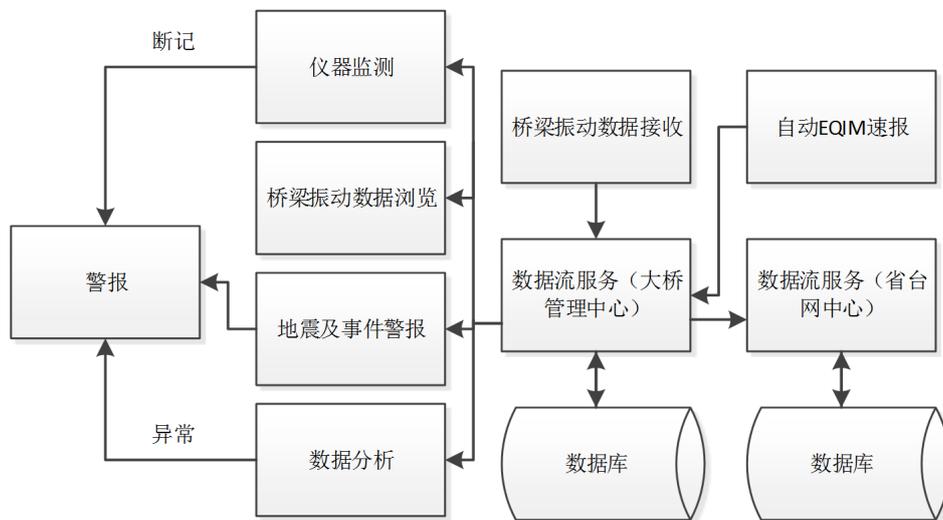


图 2 系统结构图

Fig.2 Structure of the system

获取各自所需的数据，并作独立的计算或者显示，然后模块会将计算结果与预设的阈值进行对比，以此做出示警、结果保存或者略去的动作。

### 3 关键技术分析

#### 3.1 Java 技术

Java 是一项用于开发应用程序的技术，是个简单、面向对象、分布式、解释性、健壮、安全与系统无关、可移植、高性能、多线程和静态的语言。本研究应用 Java 语言的这些特点，设计上实现了系统各个功能模块以及监测警报界面，通过使应用程序在异构环境之间可用，从而显著降

低了开发成本。

#### 3.2 数据采集器接口

能否与数据采集器建立数字连接，自动收集并存储实时振动数据，关乎整个系统的自动化程度，所以要根据数据采集器的文档<sup>[11]</sup>以及 SEED 格式，分析接口协议和数据包格式，编写数据采集模块。首先客户端根据指定的数据采集器 Socket 的地址和端口号提出连接请求，然后数据采集器响应客户端 Socket 的请求，建立一个新的线程，把数据采集器 Socket 的描述发给客户端，最后客户端确认此描述并建立连接，开始 read/write 的动作<sup>[12]</sup>，其流程见图 3 所示。

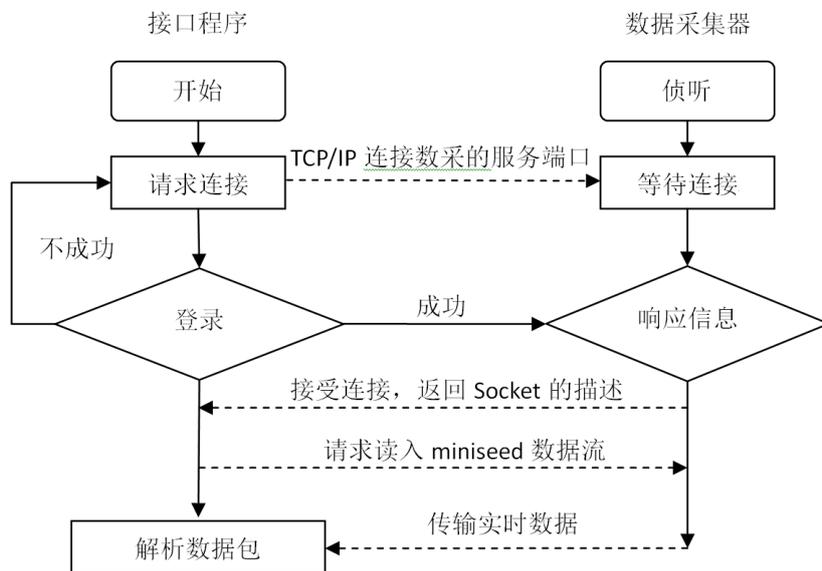


图 3 接口程序流程图

Fig.3 Flowchart of the interface programming

#### 3.3 多线程

Java 的线程功能是一种在一个程序或进程中处理多个控制流的功能，通过多线程，一个程序或进程表面上看同时可以执行一个以上的任务，这样就能实现交互性更好和更敏捷的 GUI 程序。编写一个多线程的程序只要编写实现 Runnable 的代码，而 Runnable 只有一个方法 public void run ()，所以只要提供 run () 方法的实现代码，然后实例化并启动 Runnable。本研究需要在持续采集数据和存储数据的同时对数据进行判断和响应，其系统线程图见图 4 所示，包括数据采集存储、数据浏览、地震及事件判断、数据分析等线程。

### 4 应用

本系统已经部署在广东省珠江黄埔大桥、东莞虎门大桥以及佛山佛开高速九江大桥上，系统运行平稳，期间，系统多次对广东省内地震作出快速响应，其功能界面见图 5 所示。

图 5(a)为监测及警报系统界面图。界面由 3 大区域组成，从上往下，第一部分是加速度计监测区，可以查询加速度计所在的位置、通道号和所对应的方向，可以查询该测点桥梁实时振动信息，第二部分是地震、碰撞相关通道的计算结果显示区，第三部分是综合信息显示区，包括地震及事件警报等内容；图 5(b)为地震及事件警报触

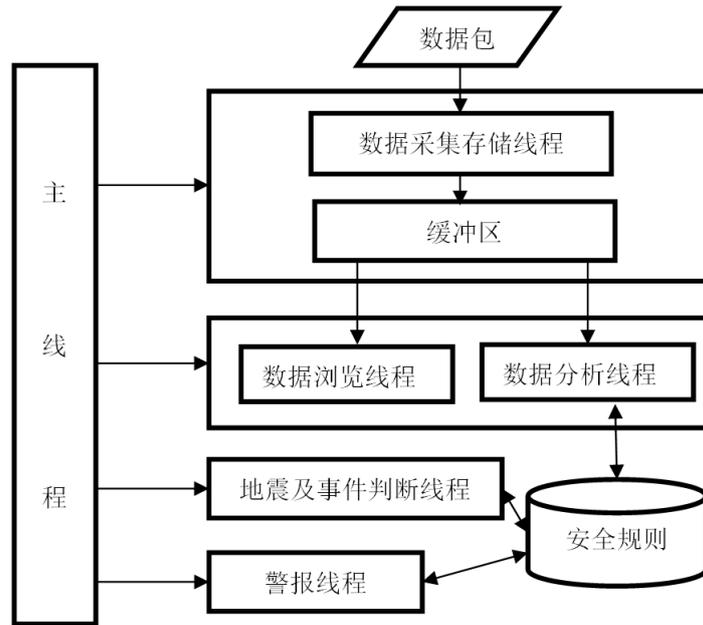
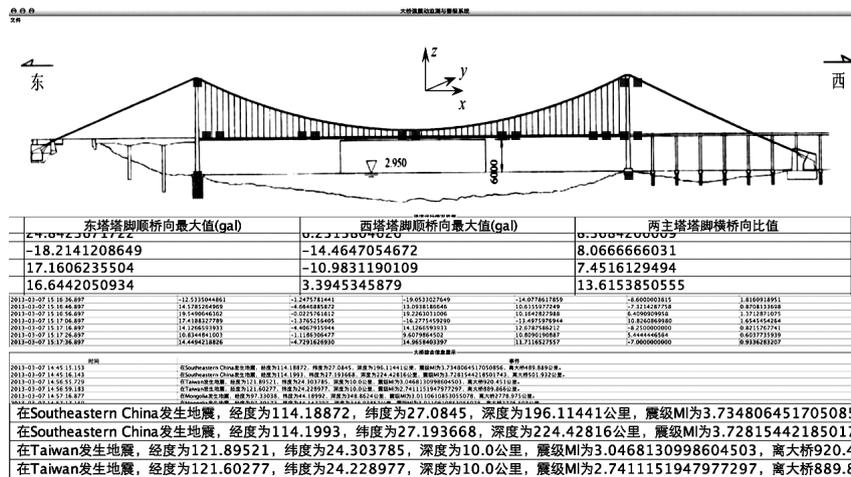
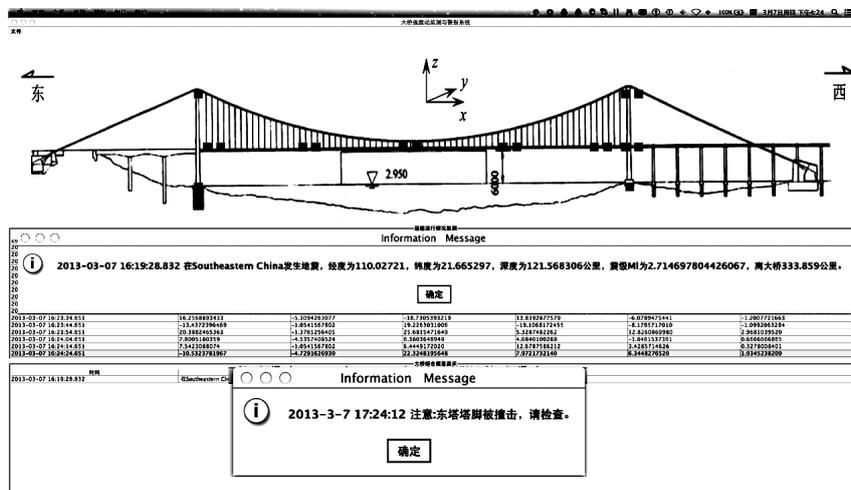


图 4 系统线程图

Fig.4 Multi-thread of the system



(a)系统界面图



(b)地震及事件警报触发效果图

图 5 功能界面图

Fig.5 Function interface of the system

发效果图。本系统实时分析判断桥梁的振动,假如振动超过设定阈值,或者监测范围内发生地震后,会以对话框的形式弹出事件发生的时间、地点、内容、震级以及离大桥的距离等信息,同时以声音示警,超过阈值的测点变为红色。

## 5 结语

本文结合Java、Socket、多线程等技术开发出桥梁强震动实时监测及警报系统,其功能模块包括:配置模块、数据采集模块、数据存储模块、监测模块、数据浏览模块、警报模块和数据分析模块等,具有跨平台运行的特点,移植性强。系统长期接收保存桥梁连续振动数据,实时判断分析振动信息,为客户提供地震及事件警报信号,同时融合地震自动速报消息,帮助桥梁管理方快速、初步分析地震对桥梁的影响,提高了对突发事件处理的时效性。

## 参考文献:

- [1] 叶春明,郭德顺,吴华灯.汕头礮石大桥地震反应台阵建设简介[J].华南地震,2008,28(3):71-79.
- [2] 王立新,姜慧,杜鹏,等.佛开高速九江大桥振动监测数据初步分析[J].华南地震,2010,30(S1):28-35.
- [3] 郭德顺,叶春明,姜慧,等.珠江黄埔大桥强震动监测和警报系统[J].地震地磁观测与研究,2014,35(5):276-281.
- [4] 王立新,姜慧,赵贤任,等.虎门大桥在河源4.8级地震中记录分析[J].地震地磁观测与研究,2013,34(5):292-300.
- [5] 吴永权,黄文辉.数据处理系统软件JOPENS的架构设计与实现[J].地震地磁观测与研究,2010,31(6):59-63.
- [6] 钱娟,殷正国.SOCKET的网络编程与探讨[J].煤炭技术,2011,30(11):261-262.
- [7] Ian F. Darwin. Java 经典实例[M].北京:中国电力出版社,2009.
- [8] 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.
- [9] 郭德顺,杨建安,叶春明.强震动观测台站防雷措施探讨[J].华南地震,2014,34(2):107-114.
- [10] 叶春明,赵贤任,郭德顺.地震自动速报信息在桥梁监测警报系统中的应用[J].地震地磁观测与研究,2013,34(5/6):234-237.
- [11] 吴华灯,叶春明.基于CompactRIO的多通道强震动数据采集器FPGA的实现[J].华南地震,2014,34(3):33-39.
- [12] 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.