

# 分布式监测信息系统架构设计及应用<sup>①</sup>

周奇才, 何海燕, 熊肖磊, 范思遐, 韩梦丹

(同济大学 机械与能源工程学院, 上海 201804)

**摘要:** 分布式监测系统广泛应用于检测对象分散的大型工程项目, 而信息系统是其中重要的组成部分. 本文将信息系统分为内部信息系统和外部信息系统, 内部信息系统负责数据汇集及管理, 为数据库服务器系统架构设计, 外部信息系统则利用原始监测数据, 计算监测目标并将其呈现给用户. 在内部信息系统中通过协调服务器实现现场服务器和数据服务器的有效联接, 按照通用分布式监测系统功能将外部信息系统分为7个层次, 针对不同监测系统构建其中具体功能模块及其关系. 最后, 基于该架构体系提出了分布式地铁隧道沉降监测信息系统模型, 该系统也可广泛应用于其他分布式监测系统.

**关键词:** 分布式监测; 信息系统; 架构

## Framework Design and Application of Distributed Monitoring Information System

ZHOU Qi-Cai, HE Hai-Yan, XIONG Xiao-Lei, FAN Si-Xia, HAN Meng-Dan

(School of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** The distributed monitoring system is widely applied in detecting scattered objects in large engineering projects, of which the information system is the important component. In this paper, the information system is divided into external and internal. Internal information system is responsible for data collection and management, which is the framework design of the database server system. External information system uses the original monitoring data to calculate the monitoring target and presents the results to the user. In the internal information system, field server and data server are effectively connected by coordination server. External information system is divided into 7 levels according to the general distributed monitoring system's function, the specific function modules and the relationship among them are built aiming at the different monitoring systems. Finally, distributed monitoring information system model of subway tunnel subsidence is put forward based on the above-mentioned framework system, and this information system can also be applied to other distributed monitoring systems.

**Key words:** distributed monitoring; information system; framework

## 1 引言

随着传感器技术、网络通信技术及计算机技术的发展, 分布式监测系统已在设备监测诊断、环境监测、医疗监控、工程健康监测等多个领域获得广泛应用. 分布式监测系统是一种网络化的数据采集或信息收集系统, 它能够快速地采集那些分散在不同监测地点的被监测对象的状态数据, 实现被监测对象的集中监控和管理.

一个完整的分布式监测系统通常由监测对象层、

传感监测层和信息系统层三个层次构成<sup>[1]</sup>. 监测对象层是指分布式监测系统所面向的被监测对象, 它可能是某台仪器设备, 也可能是某座工程建筑, 甚至可能是水质、烟尘等环境要素, 这取决于分布式监测系统应用的领域; 传感监测层包括监测装置和现场数据服务器两个抽象模块, 监测装置完成针对待测参量的数据采集, 现场数据服务器则主要负责数据的现场处理和网络传输; 信息系统层由内部信息系统和外部信息系统两个抽象模块组成, 内部信息系统负责数据汇

<sup>①</sup> 基金项目:上海市科委科研计划资助项目(08201202103)

收稿时间:2013-07-25;收到修改稿时间:2013-08-26

集、数据管理和系统管理工作,是分布式监测系统的中枢,而外部信息系统则是指某种具体的应用系统,它充分利用分布式监测系统所采集的宝贵数据以完成其特定的功能,如图 1 所示.本文以上层信息系统为研究对象,提出一个通用的分布式监测信息系统架构体系.

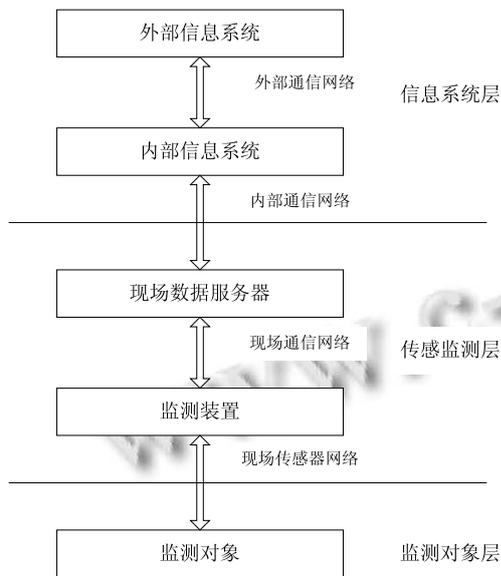


图 1 分布式监测系统结构

## 2 内部信息系统架构设计

### 2.1 设计考虑因素

当设计数据库服务器系统时,有许多因素需要考虑,例如:用户友好性、易管理性等.本文旨在建立一个通用平台,用于存储和共享多个项目监测数据<sup>[2]</sup>.对于这样一个信息系统,需要着重考虑三个关键因素:1)可扩展性:该系统可以包括多少个传感器或多少个监测项目;2)可靠性:监测数据存储的安全可靠性;3)易访问性:访问或利用监测数据的方便性.

可扩展性指的是在尽量减少中断服务的前提下,扩大系统容量<sup>[3]</sup>.目标是建立一个信息系统,能够同时处理多个项目的需求,而且每个项目可能具有不同类型传感器.

可靠性指的是不间断服务,以及确保数据安全性.即使在恶劣的环境下,如硬件故障,该系统也应能提供连续的服务<sup>[4]</sup>.此外,获取的监测数据是极其重要的,因为这些数据可能包含一些目前尚未发现的重要信息,能够为今后的工程设计提供安全建议.

易访问性定义为监测数据易于被查询和尽可能地

得到使用,使得该系统可用于一个未预定义的方式下,如数据挖掘和决策支持系统.

### 2.2 数据库服务器架构

为了实现大规模监测,服务器系统采用以服务为导向的架构体系.以服务为导向的数据库服务器架构体系是一个系统设计概念,它通过松散耦合将各个部分连接起来,能够较好地应用于分布式系统<sup>[5]</sup>.分布式监测系统监测对象分散,使得监测装置所对应的现场服务器个数多、分散,而且数据量繁多,很难将所有现场服务器中数据存入某一个数据服务器中,故需要多个数据服务器.在该数据库服务器系统中通过引入协调服务器,实现现场服务器和数据服务器之间的有机分配,其基本构成如图 2 所示.该系统由三类逻辑服务器构成:1)数据服务器(Data Server);2)现场服务器(Field Server);3)协调服务器(Coordination Server).

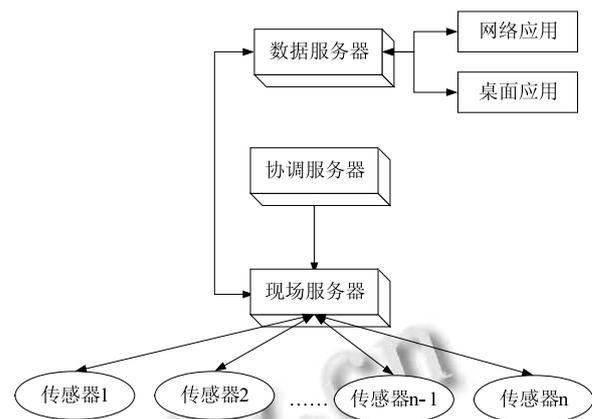


图 2 分布式数据库服务器架构图

DS 用于数据存储和检索.在该系统中,一个 DS 可以处理多个监测项目,同样地,一个项目也可能用到几个 DS.从服务的角度来看,DS 不仅提供内部服务(针对 FS 和 CS),例如存储 FS 监测数据;也提供外部服务(对用户和管理者),允许应用程序来管理项目,检索数据,设置传感器参数(采样频率或标定因素)等.

CS 负责协调 FS 和 DS 之间的联系,例如告诉现场服务器将其监测数据发送到哪个 DS 中,此中间连接使得 DS 和 FS 间耦合变得松散.CS 对 FS 也提供内部服务来分配数据服务.

FS 部署在现场计算机上,在自动化监测系统中起着至关重要的作用.FS 从线路连接传感器数据或由无线网连接传感器网络中传感器节点中读取监测数据,

并且在本地存储监测数据副本, 然后通过互联网将其传输到由 CS 设定的 DS 中, 通用分布式数据库服务器按照图 3 所示步骤 1-5 实现 FS 向 DS 数据流发送.

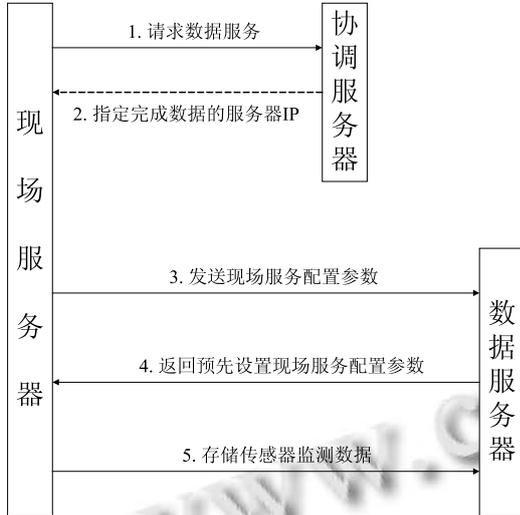


图 3 FS 向 DS 发送数据流程图

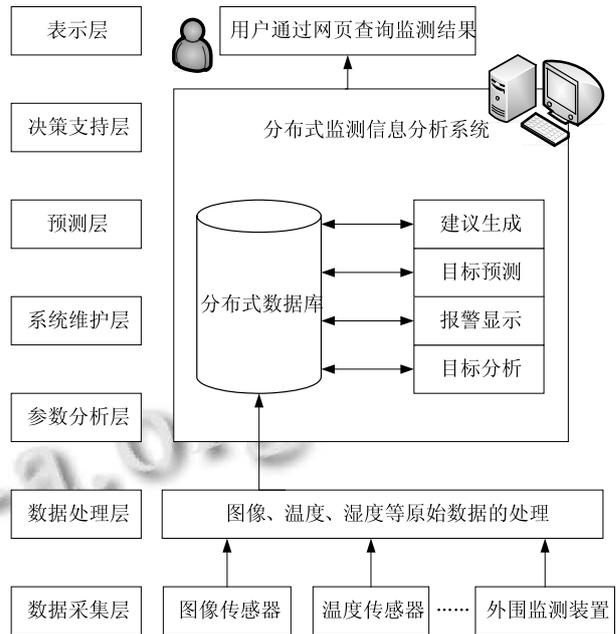


图 4 分布式监测系统总体结构图

### 3 外部系统架构设计

外部信息系统是指某种具体的应用系统, 它充分利用分布式监测系统所采集的宝贵数据以完成其特定的功能. 外部系统对内部系统中监测数据进行数据挖掘及分析, 实现监测系统所要功能, 并用直观、清晰的方式将结果呈现给用户.

#### 3.1 系统总体结构

本系统根据大型工程监测目标, 主要功能为: 传感和数据获取、数据处理和特征提取、计算监测目标值、产生警告、监测目标值预测、辅助决策、管理和控制数据流动、对历史数据存储和存取管理和系统配置管理和人机系统界面.

根据通用监测目标, 将该系统模型分为 7 个层次, 即数据采集层、数据处理层、参数分析层、健康评估层、预测层、决策支持层和表示层. 其总体结构层次如图 4 所示, 该结构反映了系统数据流向, 由传感器进行数据采集, 通过各中间层功能模块进行处理, 传送到表示层, 表示层主要用于监测结果的描述, 对于本文应用的分布式地铁隧道沉降监测信息系统, 包括监测结果显示、变形图形及变形趋势、报警信息及维护记录显示等<sup>[6]</sup>.

#### 3.2 功能模块实现

该系统由 7 个层次组成, 每个层次实现不同的功

能, 对于不同的监测系统, 需根据其监测目标及实际须求进行功能模块设计. 每个模块可用不同的语言编写, 以软件的形式分布在 Internet 上, 也可以使用同一种语言编写形成一个系统. 这些模块在物理上是独立的, 但在逻辑上是统一的. 为了将这些跨越不同平台、不同厂商、用不同编程语言实现的模块集成为一个整体以实现监测系统变形监测及预测的功能, 需要制定一套通信标准以实现模块间的交互. 此通信标准的体系结构可以划分为 3 个层次: 数据交换接口、层次接口、通信协议. 其中数据交换接口提供各模块的应用编程接口, 奠定了模块间通信的基础; 层次接口提供了模块间通信的信息内容的描述, 是模块间通信的重要条件; 通信协议直接面向应用, 是关于消息如何在系统中各执行者间进行交换的一种约定, 是实现模块间通信的必要条件<sup>[7]</sup>.

对于分布式地铁隧道沉降监测系统, 表示层利用 B/S 架构, 构建网页系统, 用户可通过浏览器向分布在网络上的服务器发出请求, 在不安装任何专门软件的前提下, 即可查询监测信息. 其他各层功能由其相应的功能模块实现, 即数据采集模块(Data Acquisition)、数据处理模块(Data Manipulation)、参数分析模块(Parameter Analysis)、健康评估模块(Health Assessment)、预测模块(Prognostics)和决策支持模块(Decision Support).

数据采集模块(DA)用于采集现场设备上的实时数据,为其他模块提供现场的数据信息。其输入信息主要包括历史数据、从底层设备采集的数据及相关配置参数等,输出信息主要包括采集整理的数据、配置参数、控制命令等。

数据处理模块(DM)用于完成单/多信道数据处理任务,提供对数据采集模块的输出数据进行预处理的功能,如特征向量提取、滤波、异常值剔除、均值计算等。其输入数据有从数据采集模块获取的数据、相关历史数据、控制命令及配置参数等,输出数据包括数据处理模块计算处理后的数据、相关配置参数、控制命令等。

参数分析模块(PA)用于计算目标参数,例如累计沉降值、平均沉降速率等信息,并将计算结果与系统工作限定值(额定沉降量、额定沉降速率)进行比较,也可以完成简单的报警功能。输入数据包括该模块历史数据、数据处理模块输出数据、控制命令及配置参数等,输出数据包括该模块处理后的数据、历史数据、模块相关配置参数、控制命令等。

健康评估模块(HA)主要用于评定参数分析模块计算目标量的危险等级,修订评估标准,记录监测项目操作状态、运行时间、维护历史、维修记录、配置参数、控制命令等相关信息。输入数据包括参数分析模块输出数据、历史数据,健康评估模块历史数据,维修记录,专家知识,控制命令及相关配置参数等。输出数据有性能评估结果、解释、相关配置参数及要保存的历史数据等。

预测模块(PC)主要根据参数分析模块的数据信息,

推断监测项目未来变形趋势,并做出预警。输入数据包括参数分析模块历史数据及输出数据、界限值知识库、相应配置参数等,输出数据包括预测结果及相关解释、控制命令、相关配置参数等。

决策支持模块(DS)主要根据监测结果,根据专家知识库,提供项目维护方式,例如沉降区域地基加固措施、辅助支撑措施等<sup>[8]</sup>。该模块的工作需要考虑当前、历史及未来项目工作状态。输入数据包括参数分析模块、健康评估模块和预测模块输出数据,决策历史数据等,输出包括相关建议及解释、决策历史记录等。

分布式地铁隧道沉降监测信息系统各模块信息流及其相互关系如图 5 所示,通过数据采集模块或者其他监测项目获得的监测数据,按照数据库服务器系统工作机制存入内部信息系统中相应的数据服务器中。外部信息系统中数据处理模块(DM)从数据服务器中提取原始数据,按照既定的数据处理方法对数据进行处理,并将结果存入内部信息系统中。参数分析模块(PA)可以直接从数据处理模块(DM)中获取数据,也可从内部信息系统中提取所需数据,进行监测目标分析并存入内部信息系统中。同理,其他功能模块亦可从上一模块或内部信息系统中获取所需数据。健康评估模块(HA)内设定了监测目标标准界限值,通过对比所测参数,可评估测点健康状态。预测模块(FC)可根据参数分析模块(PA)所得结果预测出监测目标未来变化趋势。决策支持模块(DS)一方面根据参数分析模块(PA)和健康评估模块(HA)输出数据对异常区域提出维修意见及其解释,另一方面可根据预测结果对可能出现异常区提前制订维护方案。

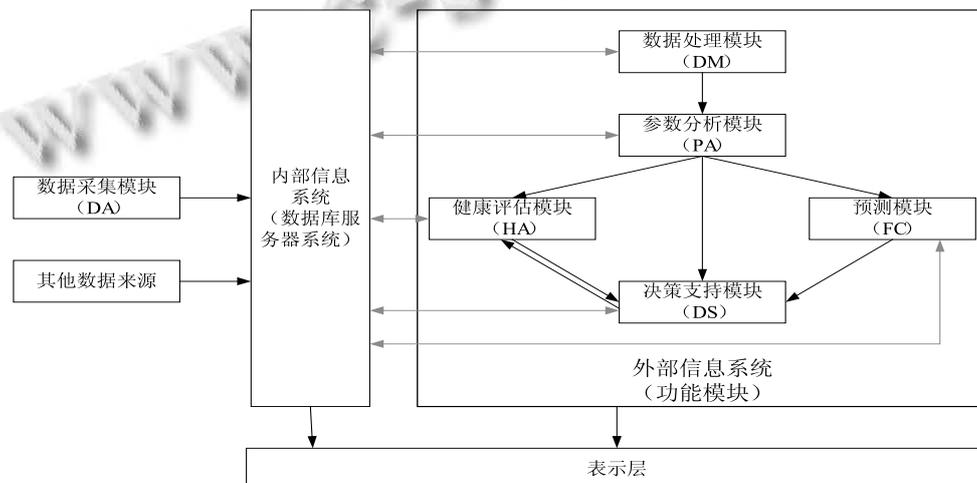


图 5 功能模块与信息流图

### 4 应用实例

地铁在生活中的重要性不言而喻，到 2020 年全国城市轨道交通将达到 7000 公里，城市地铁建设高速发展带来的隧道安全防范问题愈趋重要<sup>[9]</sup>，按照 50-100 米布设监测点，所需监测点数达百万以上，其监测数据量繁多，且系统功能复杂。因此本文以地铁隧道作为监测对象，分析系统目标及结构，设计开发了分布式地铁隧道沉降监测信息系统。本系统用来监测隧道沉降量，并为相关人员提供系统目前状态的准确评估，预测未来沉降趋势，为有针对性的制定合理有效的隧道维护计划提供支持。

#### 4.1 系统开发目标

通过开发该系统，为地铁运营公司的技术、管理人员以及施工单位的操作、维修人员提供地铁隧道沉降值、报警提示、结果报表等信息，使得用户能时刻掌握隧道的运行状态。通过变形监测和诊断，对沉降值异常的部位发出警告或报警，接着会根据相关分析方法诊断出可能的故障，然后为维修人员提供相应的解决方案与建议。通过预测分析隧道沉降变形趋势，对隧道的异常沉降提前预防，提高隧道的健康情况，降低事故发生率以及因事故而引起的不必要的人员和物资损失。根据系统的功能需求，系统的开发目标如下<sup>[10]</sup>：

(1) 满足相关人员在施工过程以及运营过程中对

隧道状态查看的需求；

(2) 长时间记录隧道从施工到运营的一系列数据，为隧道状态监测、健康评估以及预测评估提供了大量、可靠的历史数据；

(3) 根据不同传感器数据的融合和处理，经过数据挖掘剖析隧道沉降原因及未来沉降趋势；

(4) 对不同需求的系统用户设定不同的权限，可以进行不同的操作，防止不恰当的误操作；

(5) 将整个在线监测和远程诊断系统整合为一个完整的整体，便于实现功能和维护；

(6) 备份数据库，实现数据库数据的实时记录和备份，防止因为意外情况而丢失数据的情况发生。

#### 4.2 实施方案

以上述内、外部系统架构体系为模型，构建了分布式地铁隧道沉降变形监测系统，其架构如图 6 所示。该系统以每条线路为一个区域，每一个区域设置一个数据服务器(DS)，在该区域内布置若干传感器进行数据采集。通过设置协调服务器(CS)中传感器与现场服务器(FS)之间连接标志位  $t=1,2,\dots,n$ ，可将传感器所测数据传输到相应现场服务器(FS)中。现场服务器首先将传感器所测原始数据进行备份之后，通过查询协调服务器(CS)中现场服务器(FS)与数据服务器(DS)之间连接标志位  $s=1,2,\dots,n$ ，即可将所测数据传输到对应的数据服务器(DS)中。

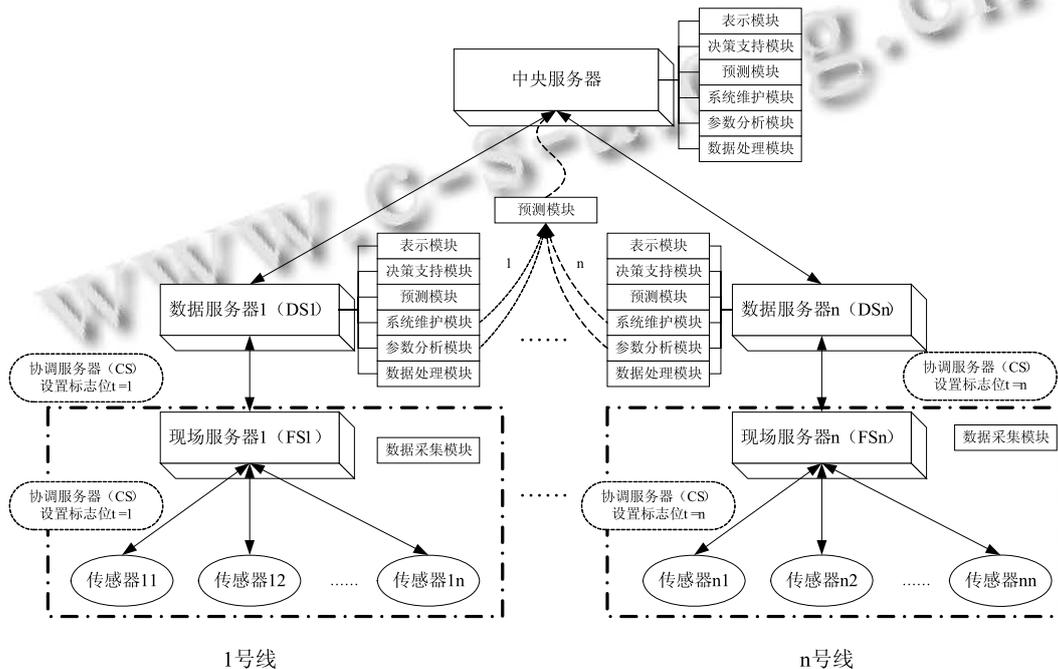


图 6 地铁隧道沉降变形分布式监测系统架构

数据处理层、参数分析层、系统维护层、预测层、决策支持层和表示层可只对一个数据服务器中数据进行分析,即获得单一线路沉降值、变形趋势预测、系统维护性等信息。某一层也可利用多个数据服务器上一层或几层分析结果,进行统一分析,得到上海市所有线路的预测信息,并将其结果保存在中央数据服务器中。例如预测层可通过访问多个数据库服务器中参数分析层、系统维护层信息,预测出整个地铁网络未来变形趋势,以线路交叉点为主要研究对象,提前预警。除此之外,也可由中央服务器一次性从多个数据库服务器中调取原始数据,进行分析及结果展示。

## 5 总结

本文将分布式监测信息系统分为内部系统和外部系统,并分别概括其在结构上的共性,尽可能地降低其模块耦合性,提出了通用的内部系统架构和外部系统架构。对于内部信息系统,采用协调服务器来实现数据库服务器的分布式存储,较好地满足其可靠性及易扩展性。对于外部信息系统,按功能分为独立的模块,使得该系统具有较大的灵活性,能够有效地减弱系统变更所带来的需求变化。基于该架构体系,以上海地铁网为对象,构建了一个分布式地铁隧道沉降变形监测信息系统,该系统可广泛应用于高铁线路监测系统,对于其他领域的分布式监测系统也具有极大的意义。

## 参考文献

- 1 王丰贵.因特网环境下分布式监测系统关键技术研究及应用[学位论文].长春:吉林大学,2009.
- 2 周奇才,陈海燕,熊肖磊等.运营地铁隧道形变检测信息系统设计.中国工程机械学报,2010,8(1):96-100.
- 3 徐俊刚,邵佩英.分布式数据库系统及其应用.北京:科学出版社,2012:91-100.
- 4 Brownjohn J, Tjin SC, Tan GH, Tan BL, Chakraborty S. A structural health monitoring paradigm for civil infrastructure. 1st FIG International Symposium on Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering. Nottingham, United Kingdom. 2006. 247-256.
- 5 Hsieh YM, Hung YC. A scalable IT infrastructure for automated monitoring systems based on the distributed computing technique using simple object access protocol Web-services. Automation in Construction, 2009, 18(4): 424-433.
- 6 赵炯,鲁丹君,胡玉俊等.地铁隧道沉降变形信息发布及预警系统设计与实现.铁道科学与工程学报,2011,8(6):44-49.
- 7 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB/T 26221-2010 基于状态的维护系统体系结构.http://www.bzfxw.com.
- 8 Cheng MY, Ko CH, Chang CH. Computer-aided DSS for safety monitoring of geotechnical construction. Automation in Construction, 2002, 11: 375-390.
- 9 周奇才,高嵩,熊肖磊等.基于图像传感器网络的隧道形变监测系统研究.计算机测量与控制,2009,17(9):1699-1700.
- 10 Kim S, Pakzad S, Culler D, Demmel J, Fennes G, Glaser S, Turon M. Health monitoring of civil infrastructures using wireless sensor networks. Proc. of the 6th International Conference on Information Processing in Sensor Networks. ACM Press, Cambridge, Massachusetts, USA. 2007. 254-263.
- 11 刘士新,宋健海,唐加福.基于关键链的的资源受限项目调度新方法.自动化学报,2006,32(1):60-66.
- 12 郭研,宁宣熙.利用遗传算法求解多资源项目平衡问题.系统工程理论与实践,2005,17(10):78-82.
- 13 Tsai DM, Chiu HN. Two heuristics for scheduling multiple projects with resources constraints. Construction Management and Economics, 1996, 14: 325-340.
- 14 应瑛,寿涌毅,李敏.资源受限多项目调度的混合遗传算法.浙江大学学报,2009,43(1):23-27.
- 15 刘士新.项目优化调度理论与方法.北京:机械工业出版社,2006:95-100.

(上接第127页)

管理工程学报,2002,16:100-103.

7 Jedrzejowicz P, Ratajczak E. Solving the RCPSP/max Problem by Teams of Agents. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2009: 734-743.

8 应瑛,寿涌毅,李敏.资源受限多项目调度的混合遗传算法.浙江大学学报,2009,43(1):23-27.

9 刘士新.项目优化调度理论与方法.北京:机械工业出版社,2006:95-100.

10 刘士新,宋健海,唐加福.基于关键链的的资源受限项目调度新方法.自动化学报,2006,32(1):60-66.

11 郭研,宁宣熙.利用遗传算法求解多资源项目平衡问题.系统工程理论与实践,2005,17(10):78-82.

12 Tsai DM, Chiu HN. Two heuristics for scheduling multiple projects with resources constraints. Construction Management and Economics, 1996, 14: 325-340.