

引用格式: Wu Adan, Guo Jianwen, Li Jianyuan, *et al.* On the Application of Web-based Visualization System for a Wireless Sensor Network in Heihe Watershed Allied Telemetry Experimental Research[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2013, 28(3): 416-422. [吴阿丹, 郭建文, 李建轩, 等. 基于 Web 的黑河流域生态水文 WSN 自动观测数据可视化系统应用研究[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(3): 416-422.]

基于 Web 的黑河流域生态水文 WSN 自动观测数据可视化系统应用研究

吴阿丹¹, 郭建文¹, 李建轩¹, 尚庆生², 常海龙¹, 刘 丰¹

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 兰州商学院信息工程学院, 甘肃 兰州 730020)

摘要:正在执行的黑河流域生态—水文过程综合遥感观测联合试验中的 WSN 系统不断产出数量巨大、种类繁多的自动观测数据, 为了有效管理和应用这些数据, 设计并实现了一个在线的可视化 Web 系统。整体工作从观测数据管理与可视化角度出发, 对系统进行了详细的设计, 系统包括观测数据可视化、静态信息录入、设备监控、管理、示范应用五大功能模块, 提供了地图、各种类型矢量图、拓扑图、列表、图片和视频等可视化手段。目前系统已正常运行超过 10 个月, 管理观测数据记录超过 4 亿条, 对 WSN 设备和数据的管理, 以及相关研究人员的研究工作具有重要意义。

关 键 词: WSN; 数据可视化; 数据管理; 系统集成; 系统优化; 黑河流域

中图分类号: TP 392 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2013)03-0416-07

1 引 言

“黑河流域生态—水文过程综合遥感观测联合试验”是围绕黑河流域生态—水文集成研究中的核心科学目标, 以黑河流域已有观测系统以及 2007~2009 年开展的“黑河综合遥感联合试验”成果为基础, 联合多学科、多机构、多项目的科研人员, 于 2012~2015 年在黑河流域开展的一次卫星和航空遥感及地面观测互相配合的多尺度综合观测试验^[1-2]。该实验在黑河上游八宝河流域、中游盈科/大满灌区等试验区, 以新布设的无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)为纽带, 高效集成了流域/灌区尺度内密集分布的多源传感器的各种气象、水文及生态观测项目, 建立了自动化、智能化、时空协同的、各观测节点远程可控的生态水文传感器观测网络^[3]。WSN 是“中国西部环境与生态科学数据中心(<http://westdc. westgis. ac. cn>)”的重要组

成部分, 接收自动持续的野外观测数据, 数据最终进入数据中心的数据库。为了实现对“黑河生态水文遥感试验”WSN 数据的管理^[4], 在黑河数据中心、区域数据汇聚中心和观测节点间部署统一的“生态水文无线传感器网络”自动汇控系统, 它是野外自动数采设备与远端的黑河数据中心之间的监控及自动同步控制枢纽, 其中包含“观测数据自动综汇”和“观测设备状态监控”两个子系统。本文介绍的黑河流域生态水文 WSN 自动观测数据可视化平台是观测数据自动综汇系统中的一个重要组成部分。本文重点介绍系统的体系及功能设计和实现, 同时也介绍了与 4 个应用示范子系统的集成, 最后讨论了对系统的优化。

2 系统体系设计

2.1 总体逻辑结构

系统框架如图 1 所示, 采用 B/S 结构, 由客户

收稿日期: 2012-09-21; 修订日期: 2013-04-22

基金项目: “基于下一代互联网的科研信息基础设施建设和应用示范工程”课题“黑河流域生态水文遥感—地面观测试验与综合模拟应用示范”(Y002025412), 国家自然科学基金重点项目(91025001)。

作者简介 吴阿丹(1984—), 男, 甘肃张掖人, 助理工程师, 主要从事 WebGIS、寒旱区数据科学研究。E-mail: wuadan@lzb. ac. cn。

机端和服务器端两部分组成。客户端是管理者和使用者对系统的操作,包括利用 Web 浏览器进行的数据可视化、数据录入、管理、设备状态监控、与系统集成。服务器端响应客户端的请求,为客户端提供相应服务。在功能组成上包括数据库服务器、应用服务器和网站服务器。数据库服务器提供数据存储、查询和管理;应用服务器部署与本系统集成的 4 个子系统及数据自动入库程序;网站服务器提供 Web 服务,处理网页请求信息。

图2是本系统的功能结构图。用户通过 Web

浏览器实现系统的可视化、数据录入、管理、设备状态监控和示范应用子程序等基本功能。基本功能的描述如表 1 所示。

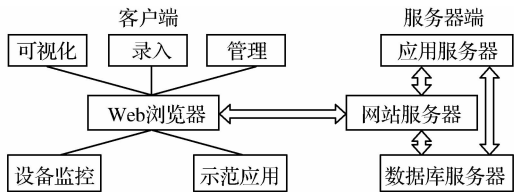


图 1 系统框架

Fig. 1 The overall system architecture

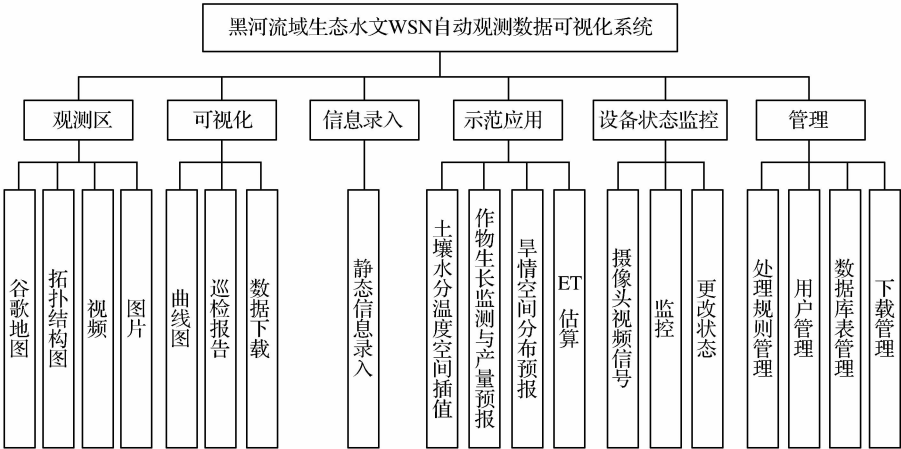


图 2 系统功能结构框图

Fig. 1 The system function chart

表 1 系统功能描述

Table 1 Description of the system function

功能名称	描述
观测区	以谷歌地图、拓扑结构图、视频、图片等方式展示观测区相关信息
观测数据可视化	查询结果以折线图、柱状图、区域图、散点图和阔线图在平台上显示,同时可以将这些图形以 JPEG、SVG、PNG、PDF 方式保存到本地。巡检报告将一个站点或多个站点中的观测变量生成一个 PDF 的观测报告,便于维护人员及时发现数据或仪器的异常。也可以将数据以 CSV 格式下载到本地
静态信息录入	有权限的用户可以通过浏览器客户端将观测站、观测点、数采仪、传感器、观测变量、人员、厂家和项目等 WSN 静态信息录入数据库
示范应用	与土壤水分/温度空间插值、作物生长监测与产量预报、旱情空间分布预报、ET 估算 4 个应用程序进行集成
设备状态监控	主要包括对摄像头视频信号的采集与发布、对仪器状态的监控、以及对远程改变仪器工作状态的支持
管理	自动预处理规则管理:添加、修改、删除质量评价和自动转换预处理算法及设置每个 WSN 数据的的预处理规则。通过前台网页修改这些内容,部署在应用服务器上的应用程序 24 h 运行,如果数据库中的规则发生变化,程序将按照修改后的规则处理新入库的数据 用户管理:查看用户信息,超级管理员可以设置用户的权限 数据库表管理:查看数据表信息统计,如数据表个数、每个表中数据的个数等 下载管理:统计下载数据的相关信息,如下载用户、下载数据信息等

2.2 基于 PHP 平台逻辑结构

本系统采用开源的 Zend Framework 框架,该框架基于 PHP5,是 Web2.0 风格的程序体系,采用

模块化的结构设计,有着丰富完善的组件支持。Zend Framework 采用了模型—视图—控制器 (Model-View-Controller, MVC) 设计模式。MVC

模式是一个用于分离应用逻辑和表现逻辑的设计模式,它将软件体系分为模型(Model)、视图(View)、控制器(Controller)3个部分,它们既相对独立又能协同工作。模型部分主要是对后台数据进行封装和事务处理,控制器部分主要是对业务流程和用户页面选择做出判断和分发,视图部分主要是用户交互界面,进行显示以及与后台数据的动态交互^[5]。

2.3 观测数据库

以往的观测数据主要以文本文件或 Excel 文件的方式进行管理,管理效率不高,查询与使用不方便,在黑河流域的生态水文 WSN 观测数据管理中,专门设计了针对自动观测仪器的观测数据库,采用开源的关系数据库系统 PostgreSQL^[6-7]来进行观测数据管理。黑河流域野外 WSN 自动观测系统的观测节点多、观测仪器种类多、观测变量多,为了应对这些复杂状况,数据库的设计能够应对新站点、新仪器、新观测变量的扩展要求。

由于观测数据库的数据记录条数以每月几千万条的幅度在不断增长,为了提高访问效率,在观测数据库中采用了触发器技术^[6]和动态分表技术:每天新入库的数据先进入总表,触发器程序根据观测数据的时间将它自动转存至粒度更小的分表中去,如果相应分表不存在就自动建立一个分表。

3 系统实现

3.1 开发技术和运行环境

本系统采用基于 PHP 技术的 B/S 结构,遵循 MVC 设计模式,以 Adobe Dreamweaver CS6 为开发平台,PostgreSQL 为数据库平台,应用 Apache 2.0 服务器,使用 Zend 框架技术。利用开源的 Highcharts(统计图表)、Highstock(时间序列数据展示)实现数据的可视化功能。为了提高用户体验,同时采用了 JQuery、Ajax 等技术。系统运行在 linux 操作系统环境。集成的 4 个子系统运行在 Windows 2003 操作系统下。

3.2 功能实现

3.2.1 数据可视化

将数据在线可视化技术应用于科学数据共享平台中,使抽象的数据转化为易于辨识的图像,从而为用户提供更加直观的数据可视化服务,是科技进步的必然要求,也是应对数据共享平台“数据丰富,信息贫乏”的有效措施^[9-10]。

系统根据科研人员的需求对观测数据进行了可视化,可视化工具使用开源的 Highcharts(统计图表)和 Highstock(时间序列数据展示),二者都是用

纯 JavaScript 编写的图表库,能够很简单便捷的在 Web 网站或是 Web 应用程序添加有交互性的图表,而且运行速度快,具有很好的兼容性,可以实现自适应尺寸,能够支持当前大多数浏览器^[11]。

利用该控件实现了十分钟数据和一分钟数据的可视化功能。用户根据观测站、观测点、数采仪、观测变量这样的逻辑顺序来查看变量曲线图。这样可以查看每个观测点下面的不同变量曲线图,也可以查看不同观测点下相同变量的曲线图(图 3)。同时可以打印该曲线图,也可以将曲线图以 PNG、JPEG、SVG、PDF 的格式保存到本地。该过程使用 Ajax 技术,通过用户选择的信息加载下一级的信息,提高网页加载速度的同时也提升了用户体验。

3.2.2 巡检报告

因为对 WSN 观测设备的监测与维护方面的要求,需要每天或者数天一次对特定观测点下所有的观测要素的数据生成一个 PDF 格式的巡检报告,以往的模式需要一个专门的小组以手工方式来完成这一工作,生成一个巡检报告要花费几个小时,费时费力。关系型观测数据库的应用可以使此项工作在少量人工干预的情况下借助程序自动完成,现在生成一个巡检报告只需要一个人花三分钟时间就可以完成。系统目前已实现对中游地区超级站、气象站、EC、LAS、COSMOS 5 个报告的自动生成。最后可以使用 DO PDF 虚拟打印机将 HTML 格式的巡检报告转换为 PDF,以方便存档、打印及邮件分发。

3.2.3 WSN 网络拓扑结构的可视化

本系统中采用 JavaScript+Ajax 技术实现了对网络拓扑关系的图形化可视表达,清晰直观,可以让使用者快速方便地了解整个观测体系的逻辑结构,能够按照观测站、观测点、数采仪、传感器分级查看(如图 4 所示,图中左上角的工具条实现放大、缩小、打印等功能,右上角是整个拓扑图的缩略图),同时也可以进一步查看更为详细的信息。

3.2.4 设备状态监控

此功能主要包括对网络摄像头视频信号的采集与发布、对传感器工作状态的监控、以及对远程改变传感器工作状态的支持,这些功能都需要在 WSN 节点层次开展的基于硬件接口编程工作的支持。

查看设备监控状态时,页面每 5 秒刷新一次,用户可以及时看到数采连接状态的变化情况,包括字节数、连接状态、数据个数、接收时间、无线 IP、无线 IP 来源、发送的 TCP 包、收到的 TCP 包、电池电压、数采面板温度等参数。

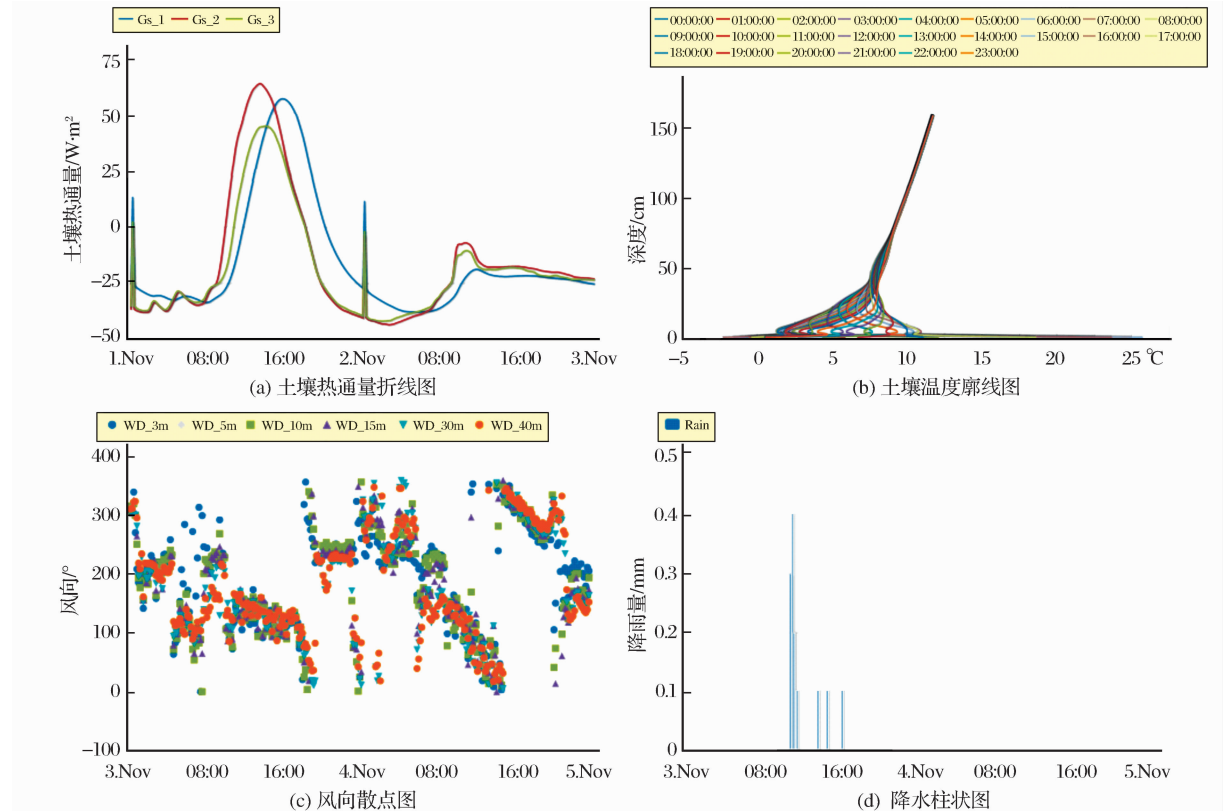


图 3 超级站部分变量可视化图形

Fig. 3 The Partial variable visualization graphics of The super station part

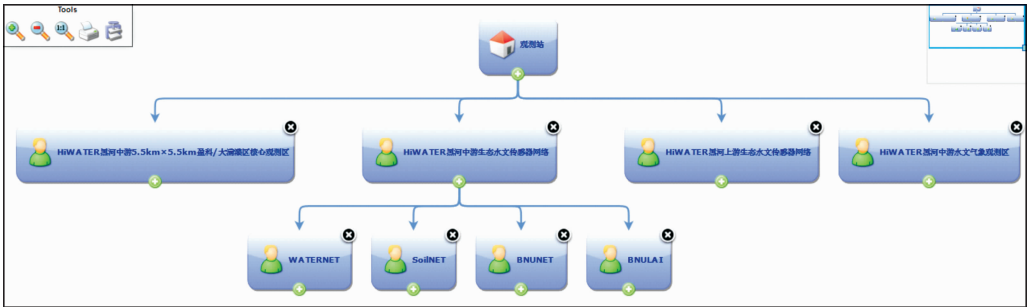


图 4 WSN 网络拓扑图(部分)

Fig. 4 Partial WSN network topology

使用者也可以通过可视化在线管理平台远程更改自动数采仪的运行参数(注:硬件必须支持,只能对硬件支持修改的运行参数进行更改),例如系统时间或观测采样频率。这主要通过 CURL 技术^[12-14]实现。

3. 2. 5 模型示范应用集成

本系统集成 4 个做为应用示范的模型应用子系统:土壤水分/温度空间插值模型、作物生长监测与产量预报模型、旱情空间分布预报模型和 ET(蒸散发)估算模型。4 个模型使用的编程语言分别是 Python、Fortune、C #、C,都运行在 Windows 平台下,使用 Web Services 技术来解决在线平台与 4 个模型应用系统在 Internet 环境中互相沟通和合作的

问题。集成工作原理如图 5 所示。

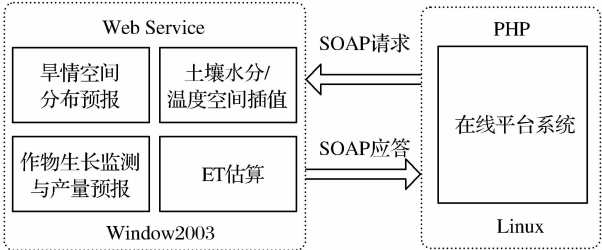


图 5 WebService 工作原理图

Fig. 5 Schematic work of WebService

图 6、7 为土壤水分/温度空间插值、旱情空间分布预报系统计算结果。

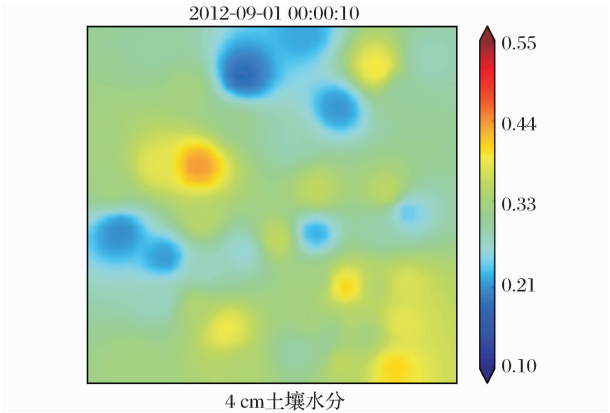


图 6 土壤水分插值结果

Fig. 6 The difference between the results of the soil moisture

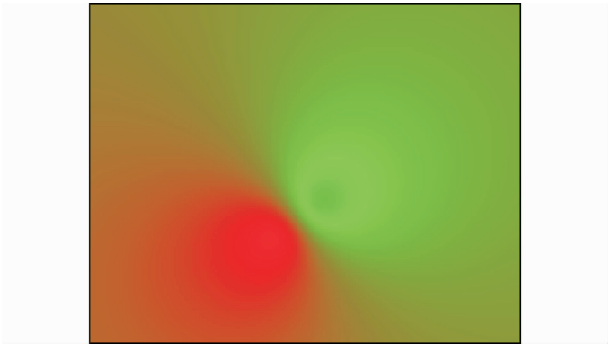


图 7 黑河中游 5×5 km 范围干旱预测结果

Fig. 7 Drought prediction results of 5×5 km radius of the middle reaches of the Heihe River

3.2.6 自动预处理规则管理

观测数据自动综汇系统中实现了对观测数据的自动预处理功能,其预处理规则可以通过本系统进行远程在线管理,可以添加、修改、删除相应的预处理算法及设置每类 WSN 数据的预处理规则。部署在应用服务器上的应用程序 24 h 运行,如果数据库中的规则发生变化,自动预处理程序将执行这些变化。

3.2.7 观测网络静态信息管理

观测数据在线管理系统的运行离不开观测网络所有相关静态信息的支持(静态是相对于数据库中不断实时更新的动态观测数据而言),包括观测网络中所涉及的观测位置、设备、观测量和相关人员等信息。经过授权的用户登录系统后,可以远程执行相关的授权操作。

本系统根据不同用户角色,设置不同的权限,角色分为 7 个层次:普通用户、数据查看者、管理员、管理员_数据下载、管理员_加密观测数据查看、管理员_设备状态监控及算法管理、超级管理员。

3.2.8 其他功能

谷歌地图作为 WebGIS 支持手段^[15],主要用来显示实验区边界、飞行区域边界、观测站和观测站点等信息(图 8),可以执行放大、缩小、显示和隐藏等可视化操作。同时也可以以视频方式显示上游大野口区域的三维场景。

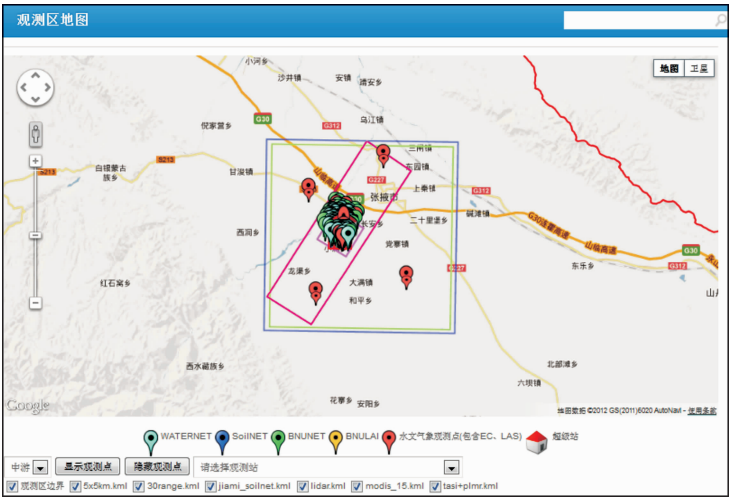


图 8 实验区相关信息

Fig. 8 Experimental zone

4 性能优化

基于 Web 的网站系统对实时性的要求比较高,用户希望得到既准确又快捷的交互体验,为了提高系统执行效率,在硬件性能无法进一步提高的情况

下,还可以通过对系统体系及代码进行优化来提高性能,主要包括 3 个方面:

4.1 优化 HTML 代码

- (1)尽量去除 HTML 代码中没有用的标记符。
- (2)尽量减少注释,这样可以达到加速加载的

目的。

(3) 尽量避免使用网页框架和图像。

(4) 使用相对路径而非绝对路径。

4.2 优化脚本语言

(1) 尽量使用局部变量。调用局部变量比调用全局变量的执行效率要高。

(2) 减少 PHP 脚本的大小。PHP 脚本行数越多,相应地执行时间就越长。所以控制脚本的大小可以有效地改善系统的执行效率。

(3) 使用 Select 查询语言时,尽量查什么字段就用什么字段,尽量少用“* ”。

(4) 使用完变量的值后及时卸载资源,否则占用内存非常高。

4.3 优化数据库

(1) 优化数据库的存储方式。好的数据库结构可以大幅度提高网站的运行效率。

(2) 将 Web 服务器和数据库服务器分开。来自客户端的请求经过 Web 服务器的处理后,从后台数据库取出数据将生成的结果反馈给客户端,分开的 Web 服务器和数据库服务器将加速这个过程,缩短请求的响应时间。

5 结 语

通过采用最新的技术和设计理念建立了一个具有良好稳定性和可扩展性的在线数字化信息平台——黑河流域生态水文 WSN 自动观测数据可视化平台,将 GIS、遥感、应用模型与实时监测系统集成为一个整体,其可以为黑河生态水文遥感试验提供有力的支持(<http://waterwsn.westgis.ac.cn>)。今后还将继续在目前应用研究工作基础之上,进一步开展模型集成环境方面的研究,使功能和数据耦合过程更为顺畅,并不断汇集模型研究方面的最新进展,进一步提升系统的空间分析和预测能力。

参考文献(References):

- [1] Li Xin, Li Xiaowen, Li Zengyuan, *et al.* Progresses on the Watershed Allied Telemetry Experimental Research[J]. Remote Sensing Tecnology and Application, 2012, 27(5): 637-639. [李新, 李小文, 李增元, 等. 黑河综合遥感联合实验研究进展: 概述, 遥感技术与应用, 2012, 27(5): 637-639.]
- [2] Li Xin, Liu Shaomin, Ma Mingguo, *et al.* HiWATER: An Integrated Remote Sensing Experiment on Hydrological and Ecological Processes in the Heihe River Basin[J]. Advances in Earth Science, 2012, 27(5): 482-483. [李新, 刘绍民, 马明国, 等. 黑河流域生态—水文过程综合观测联合实验总体设计[J]. 地球科学进展, 2012, 27(5): 482-483.]
- [3] Jin Rui, Li Xin, Yan Baoping, *et al.* Introduction of Eco-hydrological Wireless Sensor Network in the Heihe River Basin[J]. Advances in Earth Science, 2012, 27(9): 993-994. [晋锐, 李新, 阎保平, 等. 黑河流域生态水文传感器网络设计[J]. 地球科学进展, 2012, 27(9): 993-994.]
- [4] Wu Lizong, Qu Yonghua, Wang Liangxu, *et al.* Data Management and Its Sharing Application of Watershed Allied Telemetry Experimental Research[J]. Remote Sensing Tecnology and Application, 2010, 25(6): 778-779 [吴立宗, 屈永华, 王亮旭, 等. 黑河综合遥感联合实验的数据管理与共享[J]. 遥感技术与应用, 2010, 25(6): 778-779.]
- [5] Zhang Zhaoyang, Xiong Shuhua, Heng Li. Website Design and Implementation based on Zend Framework [J]. Computer Technology and Development, 2011, 21(11): 197-199 [张朝阳, 熊淑华, 衡丽. 基于 Zend Framework 的网站设计与实现[J]. 计算机技术与应用, 2011, 21(11): 197-199.]
- [6] Yu Hao, Zhou Peiyuan. Technical Construction of ERP based on PostgreSQL[J]. Application Research of Computers, 2002, (8): 77-78 [于浩, 周培源. 基于 PostgreSQL 数据库的 ERP 系统的技术实现[J]. 计算机应用研究, 2002, (8): 77-78.]
- [7] Feng Xingli, Suo Zhihai, Xu Mo. Security and Website Static Technology of WEB System based on PHP + MySQL [J]. Modern Electronics Technique, 2012, 35(8): 25-26. [冯兴利, 锁志海, 徐墨. 基于 PHP + MySQL 的 Web 系统安全防范及全站静态化[J]. 现代电子技术, 2012, 35(8): 25-26.]
- [8] Zhang Feng, Zhang Lili. The Applied Research of Trigger in the Process of Data Processing[J]. Computer Engineering & Science, 2008, 30(5): 156-157 [张峰, 张莉莉. 触发器在数据处理过程中的应用研究[J]. 计算机工程与科学, 2008, 30(5): 156-157.]
- [9] Liu Peng, Guo Jianwen, Fu Weiping. Application of Web-based Science Data Visualization in Data Sharing[J]. Remote Sensing Tecnology And Application, 2011, 26(6): 11-14. [刘鹏, 郭建文, 付卫平等. 基于 Web 的科学数据可视化在数据共享中的应用[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(6): 11-14.]
- [10] Zhang Wen, Li Xiaomei. Research and Implementation of Web-based Visualization [J]. Computer Engineering & Science, 2002, 24(3): 25-27. [张文, 李晓梅. 基于 Web 的可视化研究与实现[J]. 计算机工程与科学, 2002, 24(3): 25-27.]
- [11] Highcharts J S. Documentation [EB/OL]. <http://www.highcharts.com/>. 2012, 12.
- [12] Xu Yifei, Cheng Guangzhu, Sheng Chunfeng, *et al.* Inquiry Into Remote Control System based on PHP Site[J]. Control and Automation Publication, 2010, 26(5): 115-116 [徐一菲, 陈光柱, 沈春丰, 等. 基于 PHP 网站的远程控制系统研究[J]. 微计算机信息, 2010, 26(5): 115-116.]
- [13] Li Fengyun, Huang Yingchun, Feng Yongxin. Research on Implementation Technologies of SOA based on WebService [J]. Science & Technology Vision, 2012, (23): 17-19 [李风云, 黄迎春, 冯永新. 基于 WebService 的 SOA 实现技术研究[J]. 科技视界, 2012, (23): 17-19.]
- [14] Zhang Wei, Luo Changshou, Zhang Junfeng, *et al.* Unified

Searches Technique for Heterogeneous Digital Database based on CURL[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2010,26(22):399-401. [张卫,罗长寿,张峻峰,等. 基于 CURL 异构数字资源统一检索的研究[J]. 中国农学通报,2010,26(22):399-401.]

[15] Fu Weiping, Guo Jianwen, Liu Peng. A Vectorization Web Platform based on Google Maps API[J]. Remote Sensing Technology and Application,2011,26(6):863-865[付卫平,郭建文,刘鹏. 基于 Google Maps API 的矢量化 Web 平台[J]. 遥感技术与应用,2011,26(6):863-865.]

The Application of Web-based Visualization System for
a Wireless Sensor Network in Heihe Watershed Allied
Telemetry Experimental Research

Wu Adan¹,Guo Jianwen¹,Li Jianyuan¹

(1. Gold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute ,
Chinese Academy of Sciences ,Lanzhou 730000 ,China ;
2. School of Information Engineering ,Lanzhou University of
Finance and Economics ,Lanzhou 730020 ,China)

Abstract: The WSN system of ongoing programme, Heihe Watershed Allied Telemetry Experimental Research, generates a huge number and variety of observation data. In order to effective manage and apply these data, we designed and implemented an online visual Web system. Proceeding from the management of observation data and the visualization angle, we made the detailed design for the system which includes five functional modules, such as observational data visualization, static information input, the device monitoring, management, demonstrating application and provides visual means which contains a map, a variety of type Vector, topology diagrams, lists, pictures, and video. This system has been normally running more than ten months and handled over four hundred million observation records, which proves its significance in managing WSN devices and generating data.

Key words: WSN; Data Visualization; Data Management; System integration; System Optimization; Heihe River Basin