

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.03.037

基于GIS的农田小气候环境可视监测系统*

林兰芬 王瑞松 于鹏华

(浙江大学计算机科学与技术学院, 杭州 310027)

摘要: 根据农田小气候环境监测的特点,分析了利用多传感器采集的小气候环境参数的时间、空间分布特性。针对小气候环境监测环节中对地理空间分析和数据可视化的具体需求,研究了农业物联网信息感知、物联网资源与地理信息系统(GIS)融合、感知数据可视化等技术,建立了物联网资源与GIS融合的统一接口规范,并以GIS为基础,设计了多种可视化方法对采集到的多维小气候环境数据进行同步展示和可视分析。在此基础上,研发了Web GIS平台,集成了地理空间分析组件、可视化监测服务组件和基于地理位置的智能移动端应用。实现了基于GIS的农田小气候环境可视监测系统,通过不同终端设备提供可视监测服务,方便农业参与者随时随地掌握农田的小气候环境。

关键词: 农田小气候 环境监测 地理信息系统 可视化

中图分类号: P463.2; X83 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)03-0254-07

GIS Based Visual Monitoring System of Farmland Microclimate Environment

Lin Lanfen Wang Ruisong Yu Penghua

(College of Computer Science and Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: The microclimate environment monitoring is significant for agricultural production. Several characteristics of microclimate environment monitoring can be summarized from a variety of monitoring systems. Particularly, environmental data collected by multiple sensors have shown temporal and spatial properties simultaneously. The need for geospatial analysis and data visualization in monitoring microclimate environment became the main focus. In order to achieve this, a certain kinds of techniques were explored including internet of things (IOT) perception, the information fusion and data visualization. Furthermore, a unified interface specification was established to fuse IOT data with geographic information system seamlessly. In order to display and visualize the multidimensional environmental data, a series of visual methods were developed. Moreover, a web geographic information platform was built by using the Baidu Map APIs. In addition, several components were implemented including the geospatial analysis component, visual monitoring component, and some location based mobile applications. Finally, a flexible and vivid visualized monitoring system was formed. The adoption of this system could make it more convenient and easier to visualize and understand the microclimate environmental conditions via different terminal equipments.

Key words: Farmland microclimate Environment monitoring Geographic information system Visualization

引言

农田小气候是指农田贴地气层、土层与作物群

体之间的物理过程和生物过程相互作用所形成的小范围气候环境,常以农田贴地气层中的辐射、空气温度和湿度、风、二氧化碳以及土壤温度和湿度等农业

收稿日期: 2014-06-22 修回日期: 2014-09-10

*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAD35B01-3)

作者简介: 林兰芬,教授,博士生导师,主要从事知识管理、数据挖掘、智能信息处理和语义网研究,E-mail: llf@zju.edu.cn

气象要素的量值表示^[1]。农田小气候是影响农作物生长发育和产量的重要环境条件。因此,对农田小气候环境进行监测具有重要的现实意义。

研究人员近年来已在农田小气候环境监测方面开展了许多有益的研究工作。武永峰等^[2]设计了一套基于远程监控的农业气象自动采集系统,实现了农田小气候和视频图像信息采集与传输的高度集成;杨爱萍等^[3]采用虚拟仪器技术设计了架设在稻田的农田小气候自动观测系统,为农业防灾减灾提供了高精度的农田小气候信息;王柏林等^[1]设计了一套完整的农田小气候自动气象观测系统,可将区域内的多个观测站组合成观测网络,从而实现多种环境参数的观测。

上述工作主要侧重于农田环境参数的采集与监测,在多维环境参数的空间地理分析与可视化方面还存在不足。本文针对多维农田小气候环境参数的时空分布特性,基于数据可视化和地理位置服务技术,以地理信息系统为基础,设计多种可视化方法对环境参数进行展示与分析,并提供基于地理位置的移动端应用,以随时随地实现农田小气候环境的实时可视监测。

1 农田小气候环境监测的特点

首先对农田小气候环境监测的主要特点和关键要素进行分析,为后续基于地理信息系统(GIS)的农田小气候环境可视监测系统的方案设计提供基础。

(1)多传感器感知。在农业生产、管理活动中,

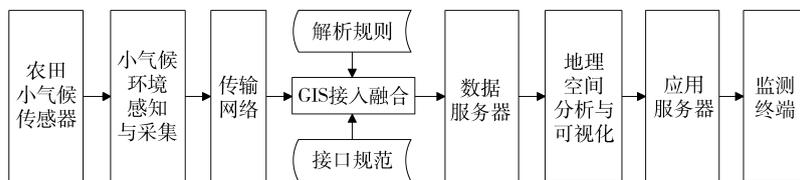


图1 系统总体方案图

Fig.1 Outline of system

首先,利用农业物联网技术^[9],在农田部署不同种类的传感器^[10],采集空气温湿度、光照强度、土壤水分、土壤温度等小气候环境要素信息。然后,将这些感知信息通过无线网络传输,并根据数据解析规则和接口规范对感知信息进行解析,并与GIS数据进行融合。

在此基础上,针对农业生产管理人员对地理位置服务和可视化的需求,研发农业信息地理空间分析、多维感知数据可视化监测服务组件和基于地理位置的智能移动端应用。最后,基于这些组件和移动端应用构建应用平台,在计算机、移动设备等不同类型的终端上实现农田小气候环境的实时可视监

测。需要关注多个环境参数,如空气温湿度、光照强度、CO₂浓度、土壤温湿度等,这些参数直接影响农作物的生长发育。由此需要多种类型的传感器对这些环境参数进行感知^[4-5]。

(2)视频辅助监测。视频和图像信息在农业小气候环境监测中越来越重要^[2]。通过实时视频,从业人员可以在任何时刻观察作物的生长状况,及时发现病虫害等异常情况。

(3)实时动态监测。农田小气候环境监测需要实时显示各种监测环境参数的动态变化,并且当监测参数低于或者高于警戒值时发出报警,以便从业人员根据预警信息采取相应措施。

(4)远程监测控制。随着无线传感器网络技术的发展和各种监测系统的应用,农业人员不必到农业现场就能够了解农田环境状况以及调控相关环境参数。

(5)关联位置信息。由于农田和作物具有空间位置属性,因此越来越多的监测系统和GIS^[6-7]相结合,提供基于地理位置信息的监测服务^[8]。

2 系统方案设计

2.1 系统总体方案

针对农田小气候环境监测的特点,结合农业从业人员对多维环境时空数据地理空间分析和数据可视化的具体需求,基于数据可视化和地理位置服务技术,设计了一种基于GIS的农田小气候环境可视监测的应用方案,如图1所示。

测。

2.2 系统功能设计

基于GIS的农田小气候环境可视监测系统主要分为4个功能模块,包括:农业物联网信息资源配置、农业物联网信息资源GIS接入、环境参数可视化监测、环境参数监测移动端功能模块。

2.2.1 农业物联网信息资源配置模块

该模块是系统基础,提供所有基础数据的配置功能,具体包括农业基地配置、地块类型配置、农作物类型配置、传感器配置、农业物联网信息采集仪配置等。其中,一个农业物联网信息采集仪可以整合多个不同传感器,由此实现多环境参数的统一感知。

通过配置,使系统具有良好的柔性和扩展性,可以适用于不同类型的小气候环境监测对象及农作物。

2.2.2 农业物联网信息资源 GIS 接入模块

该模块针对农田小气候环境监测的视频辅助监测、关联位置信息的特点,考虑将农业物联网信息采集仪、全景摄像机、红外摄像机等物联网感知设备接入到 GIS 平台上,配准其地理位置信息及相关的属性信息;在 GIS 平台上提供对这些感知设备的添加、修改和删除功能。

2.2.3 环境参数可视化监测模块

该模块是系统核心模块,主要实现多维农田小气候环境参数与 GIS 数据的同步展示、实时监测和可视分析相关功能。在同步展示方面,将农业物联网信息感知设备以点可视化方式在 GIS 平台上进行展示,并提供不同的交互方式查看其属性信息和位置信息。

在实时监测方面,以多视图协调关联方式,展示多传感器感知的实时环境参数和实时视频信息,对参数异常提供报警,并对环境参数、报警进行统计分析。

在可视分析方面,将农田小气候环境参数信息在 GIS 平台上以多种可视化方式进行分析,包括小气候环境参数空间分布可视化、多维小气候环境参数同步可视化、小气候环境参数相关性可视化及时序趋势可视化等。

2.2.4 环境参数监测移动端模块

该模块是一个基于智能移动设备的 APP,主要是通过智能手机、平板计算机等移动终端设备,远程查看各物联网设备感知的实时数据,并基于位置提供便捷的环境参数监测服务,方便用户实时了解农田的小气候环境信息。

3 关键技术

在基于 GIS 的农田小气候环境可视检测系统的总体方案中,需要重点研究农业物联网信息感知、农业物联网信息资源与 GIS 数据融合以及多维农业物

联网数据可视化等关键技术。

3.1 农业物联网信息感知技术

农业物联网感知技术需要实时采集农田小气候环境信息,并实现信息采样、传输和存储。针对上述需求,本文提出了农业物联网信息感知技术流程(图2),具体阐述如下:

首先,根据需采集的空气温湿度、光照强度、土壤水分、土壤温度等农田小气候环境参数确定传感器类型,进而整合传感器形成农业物联网信息采集仪。将采集仪部署在农业基地的关键地块上,形成感知节点。节点之间采用主动诱导式组网方式进行自组织组网^[11],根据网络布置寻找路径,预知每个节点的前后向,以提高组网效率,保证可靠传输。采用深度路由方法,使得路由优先级数与该节点路由深度呈正比,与发送频率、能耗呈反比。最后,制定可扩展的农业物联网信息传输协议,将采集信息通过网络传输到服务器进行存储。



图2 农业物联网信息感知技术流程图
Fig.2 Flow chart of agricultural IOT

3.2 农业物联网信息资源与 GIS 数据融合技术

为了实现基于 GIS 的农田小气候环境远程可视监测,需要将感知的农业物联网信息资源与 GIS 数据进行无偏配准和数据融合,本文提出一种农业物联网感知数据与 GIS 数据融合的方法,包括数据解析、GIS 接入和数据融合 3 个环节,如图 3 所示。

在数据解析阶段,关键是制定统一的农业物联网资源信息协议规范,作为感知信息格式解析、内容

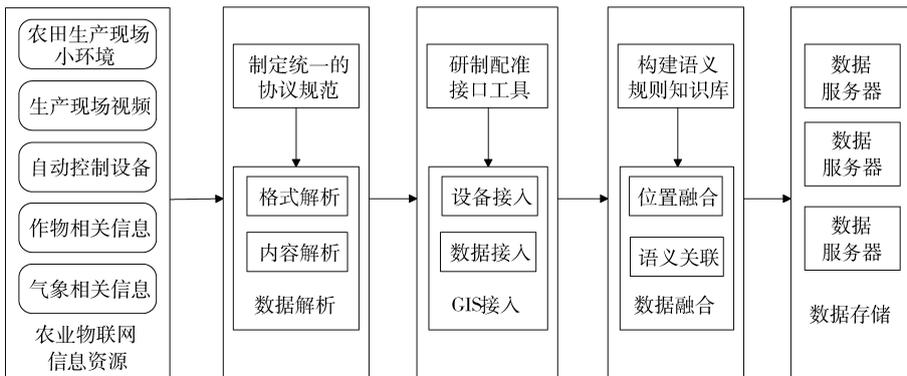


图3 农业物联网数据与 GIS 数据融合的方法
Fig.3 Fusion method of IOT and GIS data

解析的标准。协议规范具体包括农业物联网信息资源的地理位置信息描述、农业物联网信息采集仪接口规范、农业生产场景视频接入的接口规范等。以农业物联网信息采集仪接口规范为例,具体格式如图 4 所示。

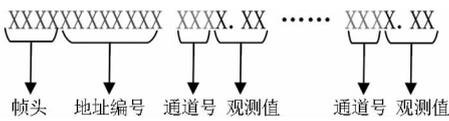


图 4 采集仪接口规范

Fig. 4 Interface specification of sensor data

根据协议规范,格式解析是将持续到达的感知数据分割为多个片段,而内容解析则是利用这些片段识别出农业物联网信息采集仪节点,确定其配备的传感器列表,进行解码和转换,最终得到真实的农田小气候环境参数。

在 GIS 接入环节,关键是实现农业物联网信息资源与 GIS 数据的无偏配准。农业物联网信息资源的地理位置信息主要通过 GPS 定位仪获取,采用地球坐标 (WGS - 84) 或者火星坐标 (GCJ - 02) 来表

示。由于本文采用百度地图作为基础的 GIS 平台,采用的坐标格式为 BD - 09,因此本文基于百度地图 API 开发不同的配准接口工具,可以实现不同坐标系之间的坐标格式转换,从而保证农业物联网信息资源与 GIS 数据的无偏配准。

在数据融合阶段,重点是将农田小气候环境相关的多模态信息与农业基地的地块、作物等对象的信息进行融合。首先,将识别的传感器与系统预设的预警条件关联,以对地块的异常环境情况进行及时预警。通过系统配置功能模块,将农业物联网采集仪和摄像机等设备及感知信息关联到特定地块,并将其在地图上进行聚合。进一步将感知信息与地块上种植的农作物进行关联,融合作物的生长状态、作物的产量和价格等外源信息,形成农作物生命周期不同阶段不同层面的信息。最终对不同来源、不同模态的数据实现基于地理位置的融合。

3.3 多维农业物联网数据可视化技术

本文基于数据可视化的基本流程^[12],提出了针对农业物联网感知数据的可视化方案,如图 5 所示。

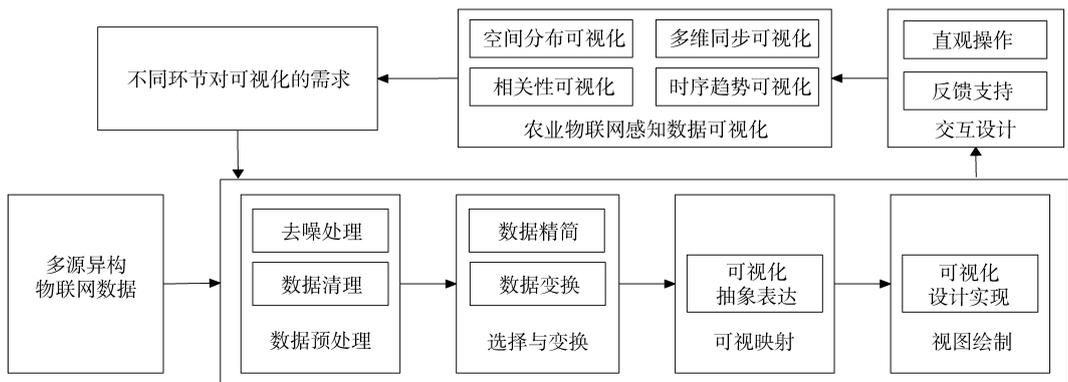


图 5 农业物联网感知数据可视化方案

Fig. 5 Scheme of IOT data visualization

3.3.1 农田小气候环境参数空间分布可视化

通过小气候传感器采集到的环境参数信息是与地理位置紧密相关的。仅仅孤立的查看某一个传感器的参数很难了解到农场的真实情况,因而,需要一个宏观的、全面的角度对感知的环境参数进行空间分布情况的分析。热力图 (Heat map)^[13] 是一种比较常见的可视化方法,经常应用在地理信息可视化领域。基于此,本文提出了一种基于热力图的小气候环境参数空间分布可视化方法。采用不同颜色的圆圈表示小气候传感器所感知到的数据的数值大小,圆心的颜色为感知数据的真实值,颜色从圆心开始到圆周逐渐衰减。此外,将当前触发预警的采集仪的地理位置叠加在热力图上,并对不同预警范围内采集仪的个数进行统计以表格形式展示。

3.3.2 多维小气候环境参数同步可视化

在农田小气候环境中,同一地点往往会布置多种类型的传感器,为了将农场中各个地点所采集到的多种小气候环境参数同时展现出来,以直观地呈现不同采集仪之间的数据差异、同一采集仪中多个传感器之间的差异,本文提出了基于平行坐标^[14]的多维小气候环境参数同步可视化方法。将不同类型的环境参数用一系列相互平行的坐标轴表示,参数值对应轴上的位置,然后将同一采集仪在轴上的各点连接成折线,不同采集仪用不同颜色进行区分。此外,通过颜色透明度的变化情况以动画形式呈现某个采集仪的各个维度的时序变化情况。

3.3.3 小气候环境参数相关性可视化

在农田小气候环境监测的过程中,不同采集仪的某些类型的环境参数之间可能存在同样的关联,

同一采集仪的不同类型的环境参数之间也可能存在相关性。散点图矩阵^[15]是散点图的高维扩展,基于此,本文提出了基于散点图矩阵的小气候环境参数相关性可视化方法。利用散点图矩阵来同时绘制多维农田小气候环境参数之间的散点图。以 N 个维度的环境传感器参数为自变量,构建一个 $N \times N$ 的散点图矩阵。通过对各个维度之间的散点图对比,可以快速发现各环境参数间的相关性。

3.3.4 小气候环境参数时序趋势可视化

小气候传感器采集到的环境参数随着时间动态变化,感知数据以流数据的形式到达。为了直观地体现环境参数信息随时间变化的趋势,帮助用户发现不同类型的环境参数的时间分布特点和变化规律,本文提出了基于时序图的小气候环境参数时序趋势可视化方法。以滑动窗口的形式对最近一段时间内各个采集仪在某个维度的感知数据以时序图的形式进行绘制。此外,在地图上对不同采集仪用不

同颜色进行区分,在时序矩阵图中不同的颜色对应相应地理位置所标注的采集仪。

4 系统实现

在系统方案设计、关键技术研究基础上,开发了一个基于 GIS 的农田小气候环境可视监测系统,该系统基于 J2EE 开发,采用 Struts、Hibernate、Spring 框架部署,采用 SQLServer 2008 数据库,基于百度地图 API 开发 Web GIS 基础平台,实现对农业基地、地块、采集仪等的接入和管理;完成了小气候环境数据展示、地理空间分析与可视化服务等服务功能。以浙江省某农场为例,简要概括该系统的功能。

图 6 展示了系统的实时监测功能,其中触发预警的采集仪用红色标记。图 7 展示了基于 GIS 的农田小气候环境参数可视化结果。图 8 展示了监测系统的移动端界面。



图 6 基于 GIS 的农田小气候环境可视监测系统主界面

Fig. 6 GIS based visual monitoring system of farmland microclimate environment

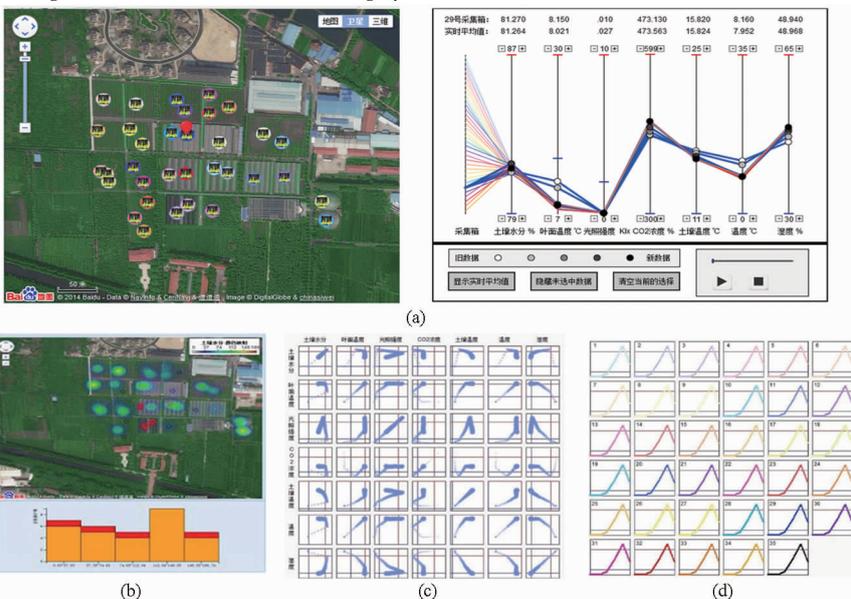


图 7 农田小气候环境参数可视化结果

Fig. 7 Visualization of farmland microclimate information

(a) 多维环境参数同步 (b) 环境参数空间分布 (c) 环境参数相关性 (d) 环境参数时序趋势



图8 农田小气候环境可视监测系统移动端

Fig. 8 Visualized monitoring system on mobile devices

(a) 农场地块分布 (b) 基于地理距离显示地块 (c) 实时感知信息

5 结束语

研究了农业物联网信息感知技术、物联网信息资源与GIS数据融合技术、基于GIS的数据可视化技术等,并通过建立物联网资源与GIS整合的接口规范,研制了物联网信息资源GIS融合、实时监测信息GIS展示、基于地理位置的小气候环境参数可视化等应用服务组件,进而构建了基于GIS的农田小

气候环境可视监测系统。系统提供了基于GIS的物联网资源管理、可视化监测等面向农田小气候环境监测的服务,方便农业参与者以WebGIS的形式对环境进行可视化监测;此外,系统开发了移动端监测应用服务,使得农业参与者可以随时随地掌握农田小气候环境,对农田生产进行实时监控;最后,通过系统配置可以适用于不同的农田和果园,保证了系统的通用性。

参 考 文 献

- 王柏林, 朱成欣, 阳艳红. 农田小气候自动气象观测系统[J]. 气象水文海洋仪器, 2013, 30(4): 1-3.
Wang Bolin, Zhu Chengxin, Yang Yanhong. Farmland microclimatic automatic meteorological observing system [J]. Meteorological, Hydrological and Marine Instruments, 2013, 30(4): 1-3. (in Chinese)
- 武永峰, 宫志宏, 刘布春, 等. 基于远程监控的农业气象自动采集系统设计[J]. 农业机械学报, 2010, 41(10): 174-179.
Wu Yongfeng, Gong Zhihong, Liu Buchun, et al. Automatic collecting system of agro-meteorology information based on remote monitoring technique [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(10): 174-179. (in Chinese)
- 杨爱萍, 杜筱玲, 郭瑞鸽, 等. 农田小气候自动观测系统效能评估[J]. 气象科技, 2013, 41(2): 278-281.
Yang Aiping, Du Xiaoling, Guo Ruige, et al. Performance evaluation of automatic farmland microclimate observation system [J]. Meteorological Science and Technology, 2013, 41(2): 278-281. (in Chinese)
- 刘洋, 杨维. 基于物联网的农田环境监测无线传感器网络的管理[J]. 中国农学通报, 2011, 27(30): 297-302.
Liu Yang, Yang Wei. Management for farmland environment monitoring WSN based on the internet of things [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(30): 297-302. (in Chinese)
- 郭文川, 程寒杰, 李瑞明, 等. 基于无线传感器网络的温室环境信息监测系统[J]. 农业机械学报, 2010, 41(7): 181-185.
Guo Wenchuan, Cheng Hanjie, Li Ruiming, et al. Greenhouse monitoring system based on wireless sensor networks [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(7): 181-185. (in Chinese)
- Star J, Estes J. Geographic information systems: an introduction [M]. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1990.
- 吴信才, 白玉琪, 郭玲玲. 地理信息系统(GIS)发展现状及展望[J]. 计算机工程与应用, 2000, 36(4): 8-9, 38.
Wu Xincan, Bai Yuqi, Guo Lingling. Development and prospect of geographic information system [J]. Computer Engineering and Applications, 2000, 36(4): 8-9, 38. (in Chinese)
- 王莉, 潘瑜春, 王映龙, 等. 基于Geo-WebServices的农田环境动态监测与评价分析系统[J]. 农业工程学报, 2013, 29(5): 109-116.
Wang Li, Pan Yuchun, Wang Yinglong, et al. System for farmland environment dynamic monitoring and evaluation based on Geo-WebServices [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(5): 109-116. (in Chinese)
- 何勇, 聂鹏程, 刘飞. 农业物联网与传感仪器研究进展[J]. 农业机械学报, 2013, 44(10): 216-226.
He Yong, Nie Pengcheng, Liu Fei. Advancement and trend of internet of things in agriculture and sensing instrument [J].

- Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(10): 216 - 226. (in Chinese)
- 10 何勇, 赵春江, 吴迪, 等. 作物-环境信息的快速获取技术与传感仪器[J]. 中国科学:信息科学, 2010, 40(增刊):1-20.
He Yong, Zhao Chunjiang, Wu Di, et al. Fast detection technique and sensor instruments for crop-environment information: a review [J]. Science China: Information Sciences, 2010, 40(Supp.):1-20. (in Chinese)
- 11 聂鹏程. 植物信息感知与自组织农业物联网系统研究[D]. 杭州:浙江大学, 2012.
- 12 袁晓如, 张昕, 肖何, 等. 可视化研究前沿及展望[J]. 科研信息化技术与应用, 2011, 2(4): 3-13.
Yuan Xiaoru, Zhang Xin, Xiao He, et al. Visualization research frontier and prospect [J]. E-Science Technology & Application, 2011, 2(4): 3-13. (in Chinese)
- 13 Pleil Joachim D, Stiegel Matthew A, Madden Michael C, et al. Heat map visualization of complex environmental and biomarker measurements [J]. Chemosphere, 2011, 84(5): 716-723.
- 14 Inselberg A, Dimsdale B. Parallel coordinates [M]. Allen Klinger; human-machine interactive systems. Springer US, 1991: 199-233.
- 15 Elmquist N, Dragicevic P, Fekete J D. Rolling the dice: multidimensional visual exploration using scatterplot matrix navigation [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2008, 14(6): 1141-1148.

(上接第 281 页)

- 6 史兵, 赵德安, 刘星桥, 等. 基于无线传感网络的规模化水产养殖智能监控系统[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 136-140.
Shi Bing, Zhao Dean, Liu Xingqiao, et al. Intelligent monitoring system for industrialized aquaculture based on wireless sensor network [J]. Transactions of the CASE, 2011, 27(9): 136-140. (in Chinese)
- 7 史兵, 赵德安, 刘星桥, 等. 工业化水产养殖智能监控系统设计[J]. 农业机械学报, 2011, 42(9): 191-196.
Shi Bing, Zhao Dean, Liu Xingqiao, et al. Design of intelligent monitoring system for aquaculture [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(9): 191-196. (in Chinese)
- 8 李慧, 刘星桥, 李景, 等. 基于物联网 Android 平台的水产养殖远程监控系统[J]. 农业工程学报, 2013, 29(13): 175-181.
Li Hui, Liu Xingqiao, Li Jing, et al. Aquiculture remote monitoring system based on IOT Android platform [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(13): 175-181. (in Chinese)
- 9 李丽丽, 施伟. 海水工厂化养殖水质动态监控系统设计[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(3): 364-367.
Li Lili, Shi Wei. Design of dynamic monitoring system for seawater factory culture [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2012, 40(3): 364-367. (in Chinese)
- 10 沈阳航天新光集团有限公司. 一种可自动巡航的无人驾驶船:中国, CN101161547A [P]. 2008-04-16.
- 11 崔健, 马天宇, 杨松林, 等. 高速无人船推进系统控制参数组合优化分析[J]. 舰船科学技术, 2009, 9(1): 69-73.
Cui Jian, Ma Tianyu, Yang Songlin, et al. Optimized analysis of high-speed USV intelligence propulsion system [J]. Ship Science and Technology, 2009, 9(1): 69-73. (in Chinese)
- 12 沈阳航天新光集团有限公司. 一种无人驾驶气象探测船:中国, CN101683894A [P]. 2010-03-31.
- 13 沈阳航天新光集团有限公司. 一种无人控制水上环保监测采样船:中国, CN101434286A [P]. 2009-05-20.
- 14 宇星科技发展(深圳)有限公司. 水质监测船:中国, CN201559799U [P]. 2010-08-25.
- 15 何勇, 方慧, 冯雷. 基于 GPS 和 GIS 的精准农业信息处理系统研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 145-149.
He Yong, Fang Hui, Feng Lei. Information processing system for precision agriculture based on GPS and GIS [J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(1): 145-149. (in Chinese)
- 16 邓小蕾, 李民赞, 武佳, 等. 集成 GPRS、GPS、ZigBee 的土壤水分移动监测系统[J]. 农业工程学报, 2012, 28(9): 130-135.
Deng Xiaolei, Li Minzan, Wu Jia, et al. Development of mobile soil moisture monitoring system integrated with GPRS, GPS and ZigBee [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(9): 130-135. (in Chinese)
- 17 广州市健坤网络科技发展有限公司, 广东省现代农业装备研究所. 一种无舵船舶的自动化航向控制系统及方法:中国, CN201310638691.3 [P]. 2013-12-02.