

WebGIS 在农业环境物联网监测系统中的应用与实现

杜克明¹, 褚金翔¹, 孙忠富^{1*}, 郑飞翔¹, 夏 于¹, 杨小冬²

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 2. 北京农业信息技术研究中心, 北京 100097)

摘 要: 近年来物联网技术在农业环境监测领域得到了广泛的应用。物联网能够及时获取监测点上时间连续的数据, 但在进行较大尺度的区域监测时, 因空间变异性影响, 基于节点的物联网监测技术面临着监测点分布设计、数据空间连续表达等诸多难题。针对农业环境监测对象的特点, 提出了由点到面的区域模拟与评估方法, 设计了一套将物联网基于“点”的监测数据与 WebGIS 基于“面”的空间数据融合分析的解决方案。在已建立的物联网监控中心系统平台基础上, 优化集成 WebGIS 图形化空间分析技术, 建立了物联网监测数据与 WebGIS 空间数据点面融合的农业环境监测系统。系统实现了数据位置地图显示、由点到面的区域模拟与评估、区域监测专题图管理 3 个功能。以河南省小麦灾情监测为案例对系统进行了应用分析, 结果表明系统能有效地实现农业环境由点到面的区域动态监测, 提高了作物长势与灾害的综合诊断能力, 并能够为农业生产管理提供更为便捷的应用服务。

关键词: 农业环境; 监测; 设计; 物联网; WebGIS; 点面融合

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.04.024

中图分类号: S126

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2016)-04-0171-08

杜克明, 褚金翔, 孙忠富, 郑飞翔, 夏 于, 杨小冬. WebGIS 在农业环境物联网监测系统中的应用与实现[J]. 农业工程学报, 2016, 32(4): 171—178. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.04.024 http://www.tcsae.org

Du Keming, Chu Jinxiang, Sun Zhongfu, Zheng Feixiang, Xia Yu, Yang Xiaodong. Design and implementation of monitoring system for agricultural environment based on WebGIS with Internet of Things[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(4): 171—178. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.04.024 http://www.tcsae.org

0 引 言

农业在中国国民经济中占有重要地位, 农业环境和灾害监测与管理是实现农业高效可持续发展的重要基础性工作。近年来随着电子与通信技术的发展, 以 3S (GIS、GPS 和 RS)^[1-4]、物联网 (IoT, internet of things)^[5-11]、云计算 (cloud computing)^[12-14] 和大数据 (big data)^[15-18] 为代表的新一代信息技术, 正在不断地应用于农业的各个领域, 推动农业现代化发展的步伐。

地理信息系统 (GIS, geographic information system) 是结合地理学、地图学和计算机科学的一门综合性学科, 是一种利用计算机对有关地理、空间位置的数据进行存储、查询和显示的计算机支持系统, 主要用来描述现实世界中地物在空间上的分布及其属性^[19]。WebGIS 是 Web 技术与 GIS 相结合的产物, 它的基本思想就是基于网络提供地理信息服务, 让用户通过浏览器从 WebGIS 服务

器上获取地理数据和地理处理服务^[20], WebGIS 将 GIS 从专业应用推向了大众化服务, 同时为地理信息共享提供了方便而有效的途径。WebGIS 与传统的 GIS 软件相比在体系结构上有了根本的改变, 采用基于 Internet/Intranet 的标准, 支持 TCP/IP 和 HTTP, 能与任何接入网络的数据相连, 更新更及时、应用范围更广。支持分布存储的服务器端多源地理数据可以分散部署在不同的平台, 只要通过 Internet/Intranet 相联就可以, 系统安全性高, 建设成本低, 终端用户不需要专门的 GIS 软件, 就可以享受到实时的 GIS 信息服务^[21-23]。WebGIS 技术能够把网络化的地图这种独特的视觉效果和地理分析功能与具体学科领域的系统应用和数据库操作很方便快捷的集成在一起, 这一特点推动了 GIS 技术在不同学科领域的广泛应用。

在农业环境领域, 当前国内外已有学者在探索研究并建立了基于 WebGIS 的地面监测系统。比较典型的研究包括对生态系统的监测^[24-25], 对作物病虫害的监测^[26-28], 对农产品产地污染监测与环境质量评价^[29-30], 对区域性农业空间信息管理与决策支持应用^[31-33], 对区域水资源的预测评估与评价^[34]等。但是, 有关物联网技术与 WebGIS 技术的优化集成, 物联网实时监测信息与 WebGIS 空间信息的融合分析的研究尚鲜有报道。

物联网是互联网应用的延伸, 是集成感知、传输、智能决策与控制功能一体化的网络系统^[10]。物联网基于节点的监测技术能够及时的获取一定区域内离散点的、时间连续的数据, 但存在空间上不连续的问题。因此,

收稿日期: 2015-09-22 修订日期: 2016-01-06

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目 (31401280); “十二五”支撑计划课题 (2011BAD32B03); 农业部 (948 计划) 项目 (2011-G9); 公益性行业 (农业) 科研专项 (200903010); 公益性行业 (气象) 科研专项 (GYHY201206023)

作者简介: 杜克明, 男, 河南许昌人, 助理研究员, 博士, 主要从事农业灾害监控与农业信息技术研究。北京 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 100081。Email: dukeming@caas.cn

*通信作者: 孙忠富, 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事农业物联网与防灾减灾研究。北京 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 100081。Email: sunzf@263.net

将物联网与 WebGIS 技术相结合, 建立物联网基于“点”的实时监测数据与 WebGIS 基于“面”的空间数据相应的融合分析方法, 实现监测信息在时间和空间上的表达, 将为农业物联网应用提供更大的发挥空间。

本文基于前期已建立的国家小麦物联网监控中心系统平台^[35-36], 以小麦生长环境监测为研究对象, 针对数据分析环节, 进一步研究探讨物联网实时监测数据与 WebGIS 空间数据的融合分析方法与应用技术, 提出了由点到面的区域动态模拟与评估分析方法, 建立了基于 WebGIS 和物联网的农业环境监测系统, 最后以河南省冬小麦气象灾害诊断为系统应用案例, 实现了农业环境由点到面的区域动态监测, 并能够为农业生产管理提供更为便捷的应用服务。

1 系统组织结构

1.1 基于物联网的农业环境数据采集

本文系统是在已建立的国家小麦物联网监控中心系统平台基础上构建。国家小麦物联网是在农业部的专项支持下, 在中国小麦主产区代表性区域部署田间监测站点, 对小麦生长环境信息进行实时采集和远程传输至中心系统平台, 实现小麦全生长过程的动态监测, 目前已在黄淮海、长江中下游、东北和西部小麦主产区部署完成 100 多个监测站点, 初步建成了覆盖中国小麦主产区代表性区域的监测网络, 也为本文基于点面融合农业环境监测研究提供了平台基础。

基于物联网的农业环境数据采集架构采用物联网的三层体系结构进行设计, 3 个层次分别为感知层、网络层、应用层 (如图 1 所示)。

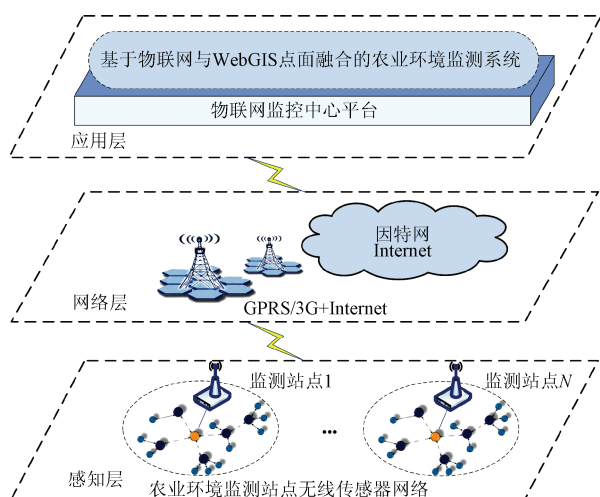


图 1 基于物联网的农业环境数据采集的层次结构图
Fig.1 Structure diagram of data acquisition of agricultural environment based on IoT technology

感知层解决农业环境要素数据获取问题。由传感器节点以及传感器网关构成传感器网络, 部署在农业环境监测区域中。监测节点定时对监测区域的环境要素 (如作物不同位置与不同高度的空气和土壤温湿度、降水、辐射和风速等) 和图像等信息进行定时采集, 并传送到

汇聚节点。

网络层解决数据远程异地传输问题。该层通过 Internet 和 GPRS/3G 移动通信网接入实现数据远程传输, 并结合相应的路由协议和网络安全协议, 将其安全稳定的传输到数据中心。

应用层解决信息处理和人机交互的问题。该层由服务器等基础架构平台和 Web 应用程序等软件平台共同构成, 主要功能是把从各个监测点获取的农业环境数据进行存储、发布和分析等操作, 针对相应农情问题做出及时的诊断和决策管理, 面向用户提供应用和服务。本文在应用层进行 WebGIS 图形化空间分析技术的优化集成, 建立物联网基于“点”的实时监测数据与 WebGIS 基于“面”的空间数据的融合分析, 实现农业环境由点到面的区域动态监测。

1.2 基于 WebGIS 的农业环境数据分析

基于 WebGIS 的农业环境数据分析的结构设计由三大部分组成: 系统数据库服务器、WebGIS 应用服务器、Web 服务器以及运行其上的 Web 应用程序。系统数据库包括地理数据库、环境因子数据库和专家知识数据库等, 其中, 地理数据库为 GIS 专用数据库, 记录地图点线面等空间要素的拓扑关系数据和农情遥感专题图的栅格数据, 环境因子数据库则存储地面监测点传感器实时获取的环境因子数据, 专家知识数据库则存储作物苗情与灾害相关的判别指标、历史经验、管理措施等知识数据和常用指标统计数据等。WebGIS 应用服务器则是系统实现站点数据地图显示、区域监测专题图制作等各种空间数据检索与分析功能的核心组成, 以 Web Service 空间数据接口形式提供应用服务^[37-39]。Web 服务器由运行其上的一系列 Web 应用程序最终实现系统面向终端用户的数据在线发布、作物苗情与灾情诊断、区域监测专题图管理和面向其它平台提供 Web service 接口等功能。本文系统基于 WebGIS 的农业环境数据分析的结构设计如图 2 所示。

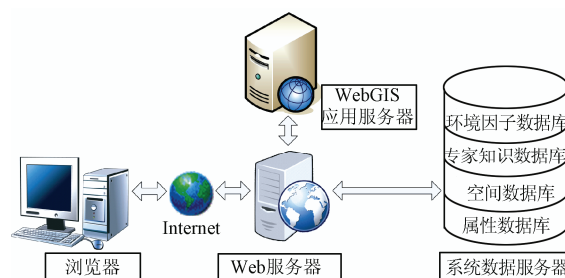


图 2 基于 WebGIS 的农业环境数据分析的结构图
Fig.2 Structure diagram of data analysis of agricultural environment based on WebGIS technology

在使用中, 用户通过浏览器向 Web 服务器发送请求, Web 服务器接收浏览器的请求, 解析成相应的操作指令形式分别访问对应的系统数据库服务器和 WebGIS 应用服务器, 查询获取的监测数据和 GIS 数据返回 Web 服务器, 经 Web 服务器处理后返回浏览器, 从而实现浏览器与服务器动态交互, 也即面向用户服务的整体过程。

2 系统功能设计

2.1 系统总体功能模块

农业环境物联网监测系统在功能上主要分为: 监测点数据在线发布、灾情诊断、苗情诊断和区域监测专题图四个部分(图3所示)。WebGIS 技术在系统中的功能应用主要体现在: 数据位置地图显示、农业气象灾害由点到面的区域模拟与评估、作物苗情由点到面的区域模拟与评估、区域监测专题图管理(见图3中灰色标示部分)。数据位置地图显示, 也即物联网监测点位置和实时监测数据的在线地图定位显示; 苗情和灾情由点到面的区域模拟与评估, 是本文系统的核心功能部分, 是基于监测点作物苗情和灾情的实时监测与诊断结果, 根据同一生态区域内条件相对一致性和区域间条件差异明显性原则, 计算模拟与评估区域监测动态; 区域监测专题图管理, 则是根据由点到面的区域模拟结果, 动态生成、动态在线显示和定时存储区域监测专题图, 包括农业气象灾害区域监测专题图、作物苗情区域监测专题图、从其它平台获取的农情遥感等专题图, 以及与区域监测结果信息相应的专家决策与预警预报等功能。

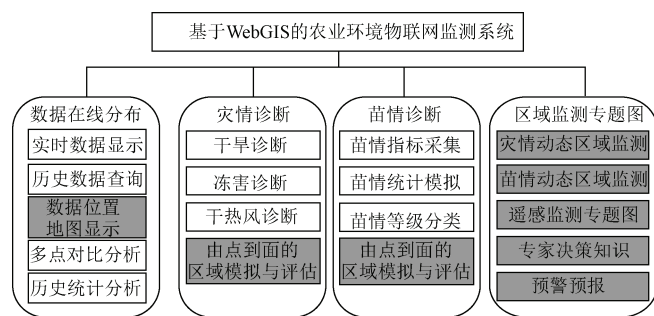


图3 系统总体功能模块设计

Fig.3 Functional module design of the system

2.2 由点到面的区域模拟与评估

通常情况下, 气候生态条件在同一生态类型区域范围内相同或相似, 气候生态因子在同一生态类型区域范围内呈现均匀变化趋势, 而在不同生态类型区域间则条件差异相对明显^[40]。因此, 由监测点采集的农业环境数据可以反映该监测点所代表的农田区域的环境状态, 而同一生态类型区的多个代表性农田区域的环境状态又可以进一步作为该生态类型区域的农业环境状态的初步反映。根据监测对象的特征和不同精确度需求, 对于较大范围的生态类型区域, 又可以划分为若干个生态类型子区域, 或者依次递进循环细分为多级的子区域。

根据小麦生长环境的温度、光照和水分等主要气候生态因素, 并结合地形地貌、土壤种类、生产条件等特征, 一个小麦生产区通常划分为若干不同的生态类型区域。本研究按照同一区域内条件相对一致性和区域间条件差异明显性原则, 基于小麦物联网已建立的小麦监测站点, 在小麦产区的不同生态类型区内分别选定代表性农田监测区域, 然后在代表性农田监测区域分别选定代表性的小麦监测点。以同一个农田监测代表性区域内所

有选定的监测点的监测与诊断结果的均值作为该区域的环境状态; 以同一个生态类型区内所有选定的代表性区域的监测与诊断结果的均值作为该生态类型区的环境状态, 建立“监测点—代表性农田区域—生态类型区—整个小麦产区”的由“点”到“面”的区域动态模拟与评估(详细流程如图4所示)。

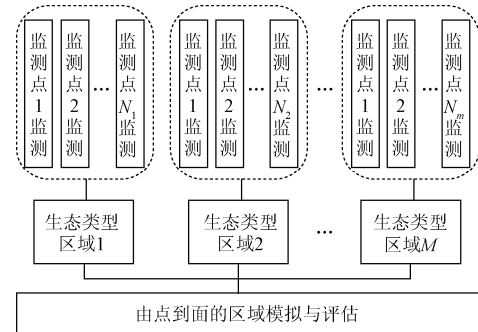


图4 由点到面的区域模拟与评估流程图

Fig.4 Flow diagram of simulation and evaluation from on-farm sites to regional scales

本文系统根据所选监测点对小麦灾情与苗情的监测诊断结果信息, 分别构建由“点”到“面”的区域动态模拟与评估, 并以区域监测专题图形式实现区域监测数据的在线地图动态显示。

3 系统实现与结果分析

系统采用 Visual studio 2010 集成开发工具, 在 ASP.NET MVC3 框架下运用 C#语言开发, WebGIS 应用采用百度地图 API 技术构建。百度地图 API 是网络上广泛采用的一套为开发者免费提供的基于在线地图服务的应用接口, 可满足 PC 端、移动端、服务器等多种设备端和多种操作系统的地图应用开发, 尤其适用于构建网络轻型的空间信息应用系统。

本文以河南省小麦生长环境与气象灾害监测为案例, 进行本文系统的实例应用与结果分析。

3.1 监测点数据的地图显示

物联网监测点数据的地图显示, 主要包括监测点位置的地图定位和监测数据的地图显示。

系统用户可进行相关的地图浏览操作(包括地图放大、缩小、平移)以查看和管理监测点的位置信息、运行状态和分布情况等。既可以全部显示, 也可以分类选择显示某区域或某类型的监测站点, 选择用户所需的数据进行显示。小麦监测点位置信息的系统运行界面如图5所示。

监测点实时监测数据的地图显示, 是基于地图位置信息, 用户通过选择监测点可以查询该站点实时获取的数据和图像信息; 也可以通过选定查询起止时间, 进行历史数据查询与统计分析, 比如: 不同时期内某环境因子的变化规律、同时间点不同站点监测数据的横向对比分析、同一站点不同年份监测数据的纵向对比分析和常用指标计算等。

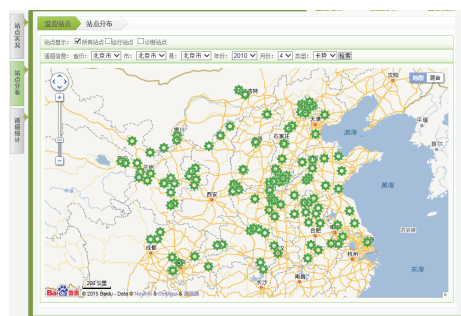


图5 监测点位置信息地图(系统界面截图)

Fig.5 Online map of location information of monitoring sites (system interface snapshot)

以河南安阳滑县小麦监控站点为例,除了在现场安装了高清摄像头,安装的传感器有:空气温湿度、土壤温湿度、太阳辐射、风速风向、降雨量等。用户通过系统在线地图显示界面不仅可以查看实时监测数据,还可以选择查询历史监测数据,并可对小麦长势、墒情、农田气象等因子进行在线浏览和统计分析,也可选择时间段,进行数据下载等(如图6所示)。



图6 监测点实时监测数据的地图显示界面(河南省滑县小麦监控站点为例)

Fig.6 Online map of real-time data of monitoring sites in the system (a case of the wheat site in Hua County, Henan)

3.2 农业气象灾害的区域动态监测

本文以河南省在2013年5月11日-12日发生的干热风的区域动态监测为实例进行系统的农业气象灾害的区域动态监测应用与分析。

小麦干热风灾害是在小麦扬花灌浆期出现的一种高温低湿并伴有一定风力的灾害性天气,它可使小麦失去水分平衡,影响各种生理功能,进而使千粒重明显下降,导致小麦减产,黄淮海冬麦区干热风灾害诊断通常采用日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 、14时空气相对湿度 $\leq 30\%$ 和14时风速 $\geq 3\text{ m/s}$ 的三气象要素指标组合^[41]。

系统采用监测点的小麦冠层位置空气温度、空气相对湿度和1.5 m高度风速3个要素的实时监测值作干热风的实时监测与灾害诊断。同时,为便于区域监测信息的空间直观呈现,系统将干热风划分为警报、预警和正常3个等级并分别以不同颜色标示:红色警报,是指三个要素同时达到干热风诊断指标值,表示干热风灾害已经发生或接近发生,一旦出现,系统则设定当天一直持续红色警报;黄色预警,是指空气温度达到诊断指标值,相对湿度和风速没有达到指标值,受到干热风环境胁迫,存在发生干热风灾害的可能,当空气温度下降到诊断指

标值以下后,系统则解除预警;正常,则以绿色标示,指空气温度没有达到指标值,不存在干热风。

3.2.1 物联网监测点的实时监测

2013年5月11日-12日,河南省大部分地区出现高于 30°C 的高温天气,冬小麦此时正处于易遭受干热风灾害的灌浆期,而干热风的发生经常在数小时内就能导致小麦灾害的严重发生,该时期的干热风实时监测与灾害动态诊断尤为重要。

在豫中补灌区的郑州荥阳小麦监测站点,据监测数据显示,5月11日13点至16点20分的时间段内,小麦冠层位置空气温度高于 30°C ,同时空气相对湿度低于30%,但是风速监测值一直远远低于 3 m/s ,即在该时间段内空气温度与空气湿度同时达到了干热风灾害的诊断指标值,但是平均风速并未达到诊断指标值。该时间段系统输出诊断结果:监测点出现干热风黄色预警,存在发生干热风灾害的可能。图7显示了郑州荥阳监测站点5月11日当天的干热风监测动态。

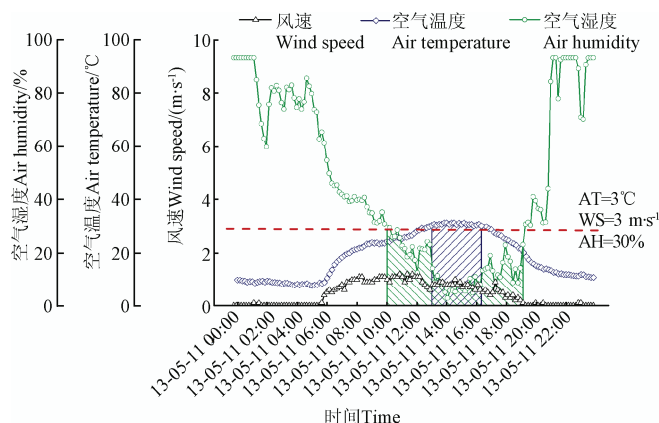


图7 2013年5月11日郑州荥阳小麦监测点干热风三要素实时监测

Fig.7 Real-time monitoring on 3-element of dry-hot wind using the wheat site in Xingyang County on May 11, 2013

基于同上的分析,豫南雨养区的南阳方城小麦监测点在当天的12点40分至17点20分的时间段内,小麦冠层位置空气温度超过 30°C ,空气相对湿度与风速均未达到指标值,出现干热风黄色预警;豫北灌区的新乡获嘉小麦监测点在当天13点30分至17点40分的时间段内,小麦冠层位置空气温度高于 30°C ,其他两要素同样未达到指标值,出现干热风黄色预警;豫西旱作区的三门峡小麦监测点当天全天的小麦冠层位置空气温度均在 30°C 以下,不存在干热风。

3.2.2 由点到面的区域动态监测

根据影响小麦生产的温度、光照和水分等主要气候生态因子,并结合地形地貌、土壤种类、生产条件等特征,河南省小麦产区通常划分为四大生态类型区域:豫中补灌区、豫南雨养区、豫北灌区和豫西旱作区^[35]。

对于气候生态因子,能够显著体现同一区域内条件相对一致性和区域间条件差异明显性的特点,代表性监测点的数据在同一生态类型区域内具有较强的代表性。

因此,在农业气象灾害区域尺度的监测设计上,本研究在豫中补灌区、豫南雨养区、豫北灌区和豫西旱作区四个生态类型区分别选定郑州荥阳、南阳方城、新乡获嘉和三门峡四个代表性监测区域,然后在监测区域内分别选定1个代表性的小麦监测站点:郑州荥阳小麦监测站、南阳方城小麦监测站、新乡获嘉小麦监测站和三门峡小麦监测站,建立起“监测点实时监测—代表性农田区域监测—生态类型区域监测—河南省小麦产区的区域动态监测”。

依据以上四个代表性监测点的实时监测诊断结果,系统可自动计算输出河南省小麦产区干热风由点到面的区域模拟结果,同步生成河南省小麦干热风区域监测专题图,并实时地图显示和定时存储于GIS数据库。同时,系统根据各个区域的干热风预警预报等级,自动调取专家知识数据库,进行对应的灾情描述、灾损分析、防控或减缓措施建议等区域灾害的评估分析与决策支持,并根据系统设置分别反馈给相应区域的用户。图8a、8b、8c和8d分别选取系统在2013年5月11日12时、13时、15时和17时4个时间点的河南省小麦干热风灾害的区域动态监测专题图。

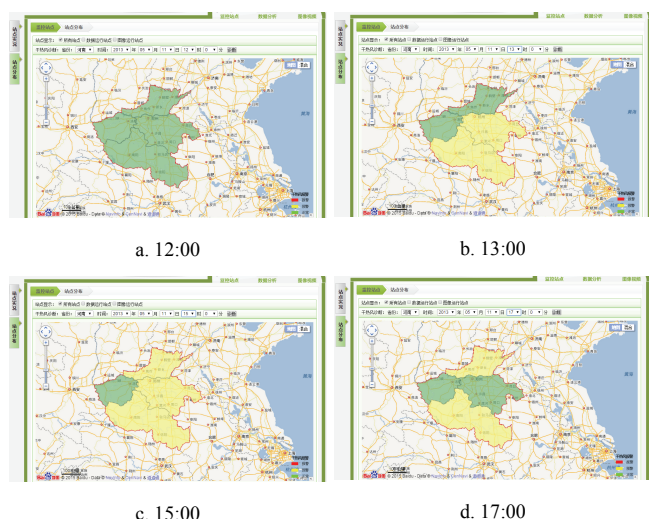


图8 2013年5月11日4个不同时间点河南省小麦干热风灾害的区域动态监测(系统界面截图)

Fig.8 Regional dynamic monitoring of wheat dry-hot wind disaster in Henan province at four different time points on May 11, 2013 (system interface snapshot)

4 结论与讨论

本文以农业环境监测为研究对象,综合利用地理信息系统、物联网、计算机网络等技术,进行基于物联网与WebGIS技术的农业环境监测系统的研究。提出了由点到面的区域模拟与评估方法,设计了一套将物联网基于“点”的监测数据与WebGIS基于“面”的空间数据融合分析的解决方案;以小麦物联网监控中心系统平台为基础,设计开发了物联网监测数据与WebGIS空间数据点面融合的农业环境监测系统;系统实现了监测点数据位置的地图显示、作物灾情和苗情由点到面的区域模

拟与评估、区域监测专题图的动态生成、以及基于监测诊断结果的预警预报和专家决策支持等基于WebGIS图形化空间分析的功能;最后以河南省小麦灾情监测为案例对系统进行了实例应用分析。该系统能有效地实现农业环境由点到面的区域动态监测,提高农业环境和灾害的综合诊断能力,为农业生产管理提供更为便捷的应用服务。

本文的贡献主要体现在以下两方面:1)将物联网基于“点”的实时监测数据与WebGIS基于“面”的空间数据相融合,提出了由点到面的区域模拟与评估方法;2)基于以上方法,设计开发了点面融合的农业环境监测系统,实现了农业环境区域动态监测功能。

下一阶段工作将重点深入以下研究:1)基于以上由点到面的区域模拟与评估方法,研究建立河南省小麦冻害的区域动态监测,豫南雨养区与豫西旱作区小麦干旱的区域动态监测;2)选定区域内更多的监测站点加入系统的区域计算模拟与评估中,研究建立更为明细的多级区域类型划分体系,以提高区域量化模拟的准确度;3)打破基于行政边界的区域划分方法,结合区域内种植区域分布与地理特征等信息,研究确立最优的统计模拟方法,建立基于实际种植和生态类型区划的农业环境区域监测方法与系统应用。

[参 考 文 献]

- [1] 杨邦杰,裴志远,张松岭. 基于3S技术的国家级农情监测系统[J]. 农业工程学报, 2001, 17(1): 154—158.
Yang Bangjie, Pei Zhiyuan, Zhang Songling. RS-GIS-GPS-based agricultural condition monitoring systems at a national scale[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2001, 17(1): 154—158. (in Chinese with English abstract)
- [2] Wang X D, Wang H M, Dang A R. Research on large-scale dynamic monitoring of landuse with RS, GPS and GIS[C]// Igarss 2000: IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vol I-Vi, Proceedings. New York: IEEE, 2000: 2134—2136.
- [3] Liang Yong, Lu Xiushan, Zhang Degui, et al. Study on the framework system of digital agriculture[J]. Chinese Geographical Science, 2003, 13(1): 15—19.
- [4] 邝继双,汪懋华. 3S技术在农田基础地图测绘与更新中的集成应用[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3): 220—223.
Kuang Jishuang, Wang Maohua. Application of GIS, GPS and RS for field surveying, mapping and data updating[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2003, 19(3): 220—223. (in Chinese with English abstract)
- [5] International Telecommunication Union. ITU Internet Reports 2005: The Internet of Things[R]. Geneva: International Telecommunication Union, 2005.
- [6] Atzori L, Iera A, Morabito G. The internet of things: A survey[J]. Computer Networks, 2010, 54(15): 2787—2805.

- [7] 李道亮. 农业物联网导论[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [8] 郭贺铨. 物联网的应用与挑战综述[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2010, 22(5): 526—531.
Wu Hequan. Review on internet of things: application and challenges[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications: Natural Science Edition, 2010, 22(5): 526—531. (in Chinese with English abstract)
- [9] 孙其博, 刘杰, 黎彝, 等. 物联网: 概念、架构与关键技术研究综述[J]. 北京邮电大学学报, 2010, 33(3): 1—9.
Sun Qibo, Liu Jie, Li Shan, et al. The Internet of Things: concept, architecture and key technology research review[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2010, 33(3): 1—9. (in Chinese with English abstract)
- [10] 孙忠富, 杜克明, 尹首一. 物联网发展趋势与农业应用展望[J]. 农业网络信息, 2010(5): 5—8, 21.
Sun Zhongfu, Du Keming, Yin Shouyi. Development trend of Internet of things and perspective of its application in agriculture[J]. Agriculture Network Information, 2010(5): 5—8, 21. (in Chinese with English abstract)
- [11] 聂洪淼, 焦运涛, 赵明宇. 物联网技术在精准农业领域应用的研究与设计[J]. 自动化技术与应用, 2012, 31(10): 89—91, 97.
Nie Hongmiao, Jiao Yuntao, Zhao Mingyu. Research and design of Internet of things technology in precision agriculture application[J]. Techniques of Automation and Application, 2012, 31(10): 89—91, 97. (in Chinese with English abstract)
- [12] Jula A, Sundararajan E, Othman Z. Cloud computing service composition: A systematic literature review[J]. Expert Systems with Applications, 2014, 41(8): 3809—3824.
- [13] 孙香花. 云计算研究现状与发展趋势[J]. 计算机测量与控制, 2011, 19(5): 998—1001.
Sun Xianghua. The research status and development trend of cloud computing[J]. Computer Measurement & Control, 2011, 19(5): 998—1001. (in Chinese with English abstract)
- [14] 魏清凤, 罗长寿, 孙素芬, 等. 云计算在我国农业信息服务中的研究现状与思考[J]. 中国农业科技导报, 2013, 15(4): 151—155.
Wei Qingfeng, Luo Changshou, Sun Sufen, et al. Present status and thoughts about agricultural information service based on cloud computing in China[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2013, 15(4): 151—155. (in Chinese with English abstract)
- [15] 王珊, 王会举, 覃雄派, 等. 架构大数据: 挑战、现状与展望[J]. 计算机学报, 2011, 34(10): 1471—1452.
Wang Shan, Wang Huiju, Qin Xiongpai, et al. Framework of big data: current status and Prospect of challenge[J]. Chinese Journal of Computers, 2011, 34(10): 1471—1452. (in Chinese with English abstract)
- [16] 孟小峰, 慈祥. 大数据管理: 概念、技术与挑战[J]. 计算机研究与发展, 2013, 50(1): 146—169.
Meng Xiaofeng, Ci Xiang. Large data management: concepts, techniques and challenges[J]. Journal of Computer Research and Development, 2013, 50(1): 146—169. (in Chinese with English abstract)
- [17] 孙忠富, 杜克明, 郑飞翔, 等. 大数据在智慧农业中研究与应用展望[J]. 中国农业科技导报, 2013, 15(6): 63—71.
Sun Zhongfu, Du Keming, Zheng Feixiang, et al. Research prospects in wisdom agriculture and application of large data[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2013, 15(6): 63—71. (in Chinese with English abstract)
- [18] 许世卫, 王东杰, 李哲敏. 大数据推动农业现代化应用研究[J]. 中国农业科学, 2015, 48(17): 3429—3438.
Xu Shiwei, Wang Dongjie, Li Zhemin. Application research on big data promote agricultural modernization[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(17): 3429—3438. (in Chinese with English abstract)
- [19] 汤安国, 杨昕. ArcGIS地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [20] 马林兵, 张新长, 伍少坤. WebGIS 原理与方法教程[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [21] 张宏武, 周新邵. WebGIS-互联网时代的 GIS 开发[J]. 湖南科技学院学报, 2008, 29(4): 97—98.
Zhang Hongwu, Zhou Xinsao. WebGIS-GIS development of the internet age[J]. Journal of Hunan University of Science and Engineering, 2008, 29(4): 97—98. (in Chinese with English abstract)
- [22] 范钊. 浅析 Web GIS 中的相关基础技术[J]. 地理空间信息, 2006, 4(2): 44—46.
Fan Zhao. The related basic technology in Web GIS[J]. Geospatial Information, 2006, 4(2): 44—46. (in Chinese with English abstract)
- [23] 徐波. 从 WebGIS 看 GIS 发展的大众化[J]. 林业科技情报, 2009, 41(3): 87—89.
Xu Bo. The development of GIS popularization from the perspective of WebGIS[J]. Forestry Science and Technology Information, 2009, 41(3): 87—89. (in Chinese with English abstract)
- [24] Mathiyalagan V, Grunwald S, Reddy K R, et al. A WebGIS and geodatabase for Florida's wetlands[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2005, 47(1): 69—75.
- [25] 杨小冬, 黄勇奇, 危双丰, 等. 基于 WebGIS 的生态农业监测与决策支持系统设计-以云南省红河州烟草种植业为例[J]. 地球信息科学, 2007, 9(1): 99—103.
Yang Xiaodong, Huang Yongqi, Wei Shuangfeng, et al. Design of WebGIS-based monitoring and decision support system for eco-agriculture[J]. Spatial Formation Science. 2007, 9(1): 99—103. (in Chinese with English abstract)

- [26] 高琪娟, 季小闯, 乐毅, 等. 基于 WEBGIS 的农业病虫害监测系统[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(4): 224—227. Gao Qijuan, Ji Xiaochuang, Le Yi, et al. Agricultural plant diseases and insect pests monitoring system based on WEBGIS[J]. Computer Technology and Development, 2010, 20(4): 224—227. (in Chinese with English abstract)
- [27] Bao Yongwei, Yu Mingxuan, Wu Wei. Design and implementation of database for a WebGIS-based rice diseases and pests system[J]. Procedia Environmental Sciences, 2011, 10: 535—540.
- [28] Karydis I, Gratsanis P, Semertzidis C. WebGIS design & implementation for pest life-cycle & control simulation management: The case of olive-fruit fly[J]. Procedia Technology, 2013, 8: 526—529.
- [29] 王元胜, 赵春江, 王纪华, 等. 基于 WebGIS 的重金属污染决策支持系统设计与应用[J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 137—140. Wang Yuansheng, Zhao Chunjiang, Wang Jihua, et al. Design and application of decision support system for heavy metal pollution management on WebGIS[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2005, 21(12): 137—140. (in Chinese with English abstract)
- [30] 李文峰, 李超, 杨林楠, 等. 基于 WebGIS 的食用农产品产地环境质量评价系统[J]. 农业工程学报, 2011, 27(6): 198—202. Li Wenfeng, Li Chao, Yang Linnan, et al. Farmland environmental quality evaluation system for edible agricultural products based on WebGIS[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(6): 198—202. (in Chinese with English abstract)
- [31] 刘小军, 朱艳, 姚霞, 等. 基于 WebGIS 的农业空间信息管理及辅助决策系统[J]. 农业工程学报, 2006, 22(5): 125—129. Liu Xiaojun, Zhu Yan, Yao Xia, et al. WebGIS-based system for agricultural spatial information management and aided decision-making[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, 22(5): 125—129. (in Chinese with English abstract)
- [32] 严正娟, 段增强, 卢树昌, 等. 基于 GoogleMap 和 WebGIS 的区域桃园施肥决策系统的建立与应用[J]. 农业工程学报, 2010, 26(5): 207—212. Yan Zhengjuan, Duan Zengqiang, Lu Shuchang, et al. Construction and application of regional fertilization decision-making system based on GoogleMap and WebGIS for peach orchard[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(5): 207—212. (in Chinese with English abstract)
- [33] 许鑫, 张浩, 席磊, 等. 基于 WebGIS 的小麦精准施肥决策系统[J]. 农业工程学报, 2011, 27(增刊 2): 94—98. Xu Xin, Zhang Hao, Xi Lei, et al. Decision-making system for wheat precision fertilization based on WebGIS[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(Sup.2): 94—98. (in Chinese with English abstract)
- [34] Jia Yangwen, Zhao Hongli, Niu Cunwen. A WebGIS-based system for rainfall-runoff prediction and real-time water resources assessment for Beijing[J]. Computers & Geosciences, 2009, 35(7): 1517—1528.
- [35] 夏于, 孙忠富, 杜克明, 等. 基于物联网的小麦苗情诊断管理系统设计与实现[J]. 农业工程学报, 2013, 29(5): 117—124. Xia Yu, Sun Zhongfu, Du Keming, et al. Design and realization of IOT-based diagnosis and management system for wheat production[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(5): 117—124. (in Chinese with English abstract)
- [36] 夏于, 杜克明, 孙忠富, 等. 物联网技术在小麦气象灾害监控诊断系统中的应用研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(23): 129—134. Xia Yu, Du Keming, Sun Zhongfu, et al. Study on Application of wheat meteorological disasters monitoring diagnosis system based on Internet of things[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(23): 129—134. (in Chinese with English abstract)
- [37] 马保国, 李华刚, 王连锋. 基于 WebService 的 WebGis 设计与实现[J]. 计算机与数字工程, 2007, 35(4): 136—138. Ma Baoguo, Li Huagang, Wang Lianfeng. Design and implementation of WebGIS based on WebService[J]. Computer & Digital Engineering, 2007, 35(4): 136—138. (in Chinese with English abstract)
- [38] 沈静, 吴健平, 戎恺. 基于 WebService 的 WebGIS 的设计与应用[J]. 遥感技术与应用, 2004, 19(2): 138—142. Shen Jing, Wu Jianping, Rong Kai. Design and application of WebGIS based on WebService[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2004, 19(2): 138—142. (in Chinese with English abstract)
- [39] 王凌云, 李琦, 喻文承. Web Service 与地理信息互操作[J]. 测绘科学, 2004, 29(1): 38—41. Wang Lingyun, Li Qi, Yu Wencheng. WebService and geographical information interoperability[J]. Science of Surveying and Mapping, 2004, 29(1): 38—41. (in Chinese with English abstract)
- [40] 胡廷积, 尹钧. 小麦生态栽培[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [41] 中国气象局. QX/T82-2007 小麦干热风灾害等级[S]. 北京: 气象出版社, 2007. China Meteorological Administration. QX/T82-2007 Disaster grade of dry-hot wind for wheat[S]. Beijing: China Meteorological Press, 2007. (in Chinese with English abstract)

Design and implementation of monitoring system for agricultural environment based on WebGIS with Internet of Things

Du Keming¹, Chu Jinxiang¹, Sun Zhongfu^{1*}, Zheng Feixiang¹, Xia Yu¹, Yang Xiaodong²

(1. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

2. Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China)

Abstract: There are two of the main practical monitoring approaches in agriculture including remote-sensing monitoring and on-farm monitoring. Remote-sensing monitoring uses remote-sensing technologies and devices such as satellites and aerial vehicles to extract the key parameters of agricultural information. The remote-sensing technology is effective on regional-scale monitoring, but difficult to collect real-time information in farmlands. On-farm monitoring uses a variety of sensors deployed in farmlands as well as corresponding data processing and transmission equipment to dynamically acquire on-farm information. The Internet of Things (IoT) technology based on the sensor nodes has been widely used in the field of agricultural environment monitoring in recent years. However, when a regional-scale monitoring is carried out by using the IoT technology, there are some problems in the distribution of monitoring sites and the space representation of monitoring data. Aiming at the problems, an approach to evaluation of agricultural environment from on-farm sites to regional scales and the corresponding solution are proposed in this paper. Most of the factors of agricultural environment remain minor variation and appear to be uniform in the same ecological type region, except for extreme weather events or geographical conditions. Therefore, the agricultural environmental information acquired by an on-farm monitoring site could be regarded as the representation of the entire farm where the site located, and the agricultural environmental information of a representative farm could be also considered as the reflection of an entire ecological type region with similar geographical and environmental conditions. An IoT-based monitoring system has been put into application in the past five years which includes a total of 110 on-farm monitoring sites in representative regions of wheat belts across 14 provinces of China and a central monitoring platform. Based on the established central monitoring platform, a regional-scale monitoring system for agricultural environment is designed by integrating with the spatial analysis technology of WebGIS. In the system, three types of WebGIS-based functions were implemented, including site data positioning, regional-scale evaluation, and thematic mapping. Through an interactive online map, positioning, real-time display and query of on-farm sites information and collected data are realized in the site data positioning. The regional-scale evaluation is used for analysis of the collected agricultural environmental information, and decision-making on crop growth conditions and meteorological disasters from on-farm sites to regional scales, while the thematic mapping is used for automatic generation, dynamic display and query of regional-scale monitoring thematic maps of crop growth conditions and meteorological disasters based on the evaluation. The fusion analysis of “on-farm” IoT data and “spatial” WebGIS data is provided in accordance with the characteristics of monitored objects. The system has been put into application in monitoring of wheat growth conditions and meteorological disasters in Henan Province. And the case is demonstrated in dynamic regional-scale monitoring of wheat dry-hot wind occurred on May 11, 2013 in Henan Province. The result indicates that the system is effective when monitoring agricultural environment from on-farm sites to regional scales with dynamical update and the applicability on diagnosis in crop growth conditions and meteorological disasters is improved.

Keywords: agricultural engineering; monitoring; design; internet of things; WebGIS; data fusion analysis