

基于移动 GIS 的作物种植环境数据采集技术*

叶思菁¹ 朱德海¹ 姚晓闯¹ 岳彦利² 黄健熙² 李林¹

(1. 中国农业大学农业部农业信息获取技术重点实验室, 北京 100083;

2. 中国农业大学国土资源部农用地质量与监控重点实验室, 北京 100083)

摘要: 野外数据采集具有灵活性强、采集内容多样、准确度高等优势,已成为补充完善农业数据的主要手段之一。作物种植环境数据采集工作存在指标多并随调查区域、作物类型与作物生育期不同而发生变化等特点,采用传统方式设计调查界面与录入模式难以满足数据采集的普适性需求。为此,在分析作物种植环境数据采集工作实际需求的基础上设计并实现了作物种植环境数据采集系统(CPEDCS)原型。一方面,系统针对作物种植环境指标的不确定性特征提出基于结构表的用户可定制种植环境数据录入模式,支持用户自定义录入界面;另一方面,系统集成移动 GIS 为野外采集工作提供空间信息支持,并可以动态适应空间数据类型、数量、范围的变化。研究的数据组织模型在陕西省杨凌区小麦种植环境野外调查的实际应用中,表现出良好的实用性与稳定性,一定程度上提高了采集工作效率,减少了数据录入出错率并能为调查人员提供空间信息辅助功能。

关键词: 种植环境 野外数据采集 移动 GIS 地理信息系统 Android

中图分类号: S2; P208 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)09-0325-10

Mobile GIS Based Approach for Collection of Crop Planting Environment Data

Ye Sijing¹ Zhu Dehai¹ Yao Xiaochuang¹ Yue Yanli² Huang Jianxi² Li Lin¹

(1. Key Laboratory of Agricultural Information Acquisition Technology, Ministry of Agriculture,

China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Key Laboratory of Agricultural Land Quality, Ministry of Land and Resources, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Field data collection, comparing with other data acquisition methods such as remote sensing or wireless sensor network, has advantages of high flexibility, high accuracy and gradually becoming one of the main methods for complementing agricultural data. We analyzed the actual demands of crop planting environment data collection work, and on that basis, presented an Android based crop planting environment data collecting system prototype (CPEDCS). Firstly, in consideration of uncertainty characteristics of crop planting environment indicators, we designed a customizable data input mode based on structural data table, which supports users to set indicators by editing XML file, defines visibility and arrangement of indicators, and configures default value of each indicator; secondly, mobile GIS module was integrated in CPEDCS client to provide spatial information, and the module can automatically adapt to variation of data type, file quantity and spatial range; thirdly, we realized efficient image data management and application by image data acquisition, compression, coding and transmission, and users can query image data in different sample points real-time through browser. At last, we applied our system on crop planting environment data collection work in Yangling District, Shanxi Province in April, 2013 and April, 2014. The experimental results show that the CPEDCS has high practicability and stability, and to some extent could increase data collecting efficiency, reduce error rate on data input, and provide

收稿日期: 2015-01-26 修回日期: 2015-03-02

* 国家自然科学基金资助项目(31471762)

作者简介: 叶思菁, 博士生, 主要从事面向农业信息服务的多源空间数据获取与共享研究, E-mail: 610628289@qq.com

通讯作者: 李林, 教授, 博士生导师, 主要从事软件工程、软件自动化和生物信息科学研究, E-mail: lilincan@126.com

spatial information for investigators.

Key words: Planting environment Collection of field data Mobile GIS Geographic information system Android

引言

快速、准确地收集和整理与作物生长紧密相关的各种信息,是分析作物长势及其与自然环境相关性的重要基础和前提。野外数据采集,相比基于遥感或无线传感器网络的数据收集方式,具有灵活性强、采集内容多样、准确度高等优势,已成为补充完善农业数据的主要手段之一。传统的数据采集模式通过“GPS + 地图”导航到样本位置,通过“纸 + 笔”记录作物种植环境数据并通过相机采集图像数据,采集工作效率低、易出错并且数据管理工作量大、维护困难,难以适应作物种植环境数据量大、内容多样、时空变异性强的特点。近年来随着传感器技术、移动计算技术以及无线通信技术的不断发展,基于智能终端的数据采集方式逐渐在农业信息采集领域应用广泛^[1-2],并表现出高效率、管理方便、易于共享等优点。国内基于 GPS 和 GIS 的农业信息采集系统研究较国外起步晚^[3],但在土壤环境、作物长势及病虫害等相关数据采集与处理方面已较广泛。王虎等^[4]设计了基于 Windows Mobile 的作物品种田间测试数据采集方案,在此基础上黄锦等^[5]实现了数据采集系统向 Android 平台移植,并着重对数据完整性、快速录入和数据校检等问题进行研究。韩岳岐等^[6]、尚明华等^[7]分别将基于 Android 的数据采集系统应用于蝗情数据采集和小麦生产相关农田信息与灾害信息采集,并均在系统中集成了 GPS 模块以获取调查人员的空间位置信息。

然而作物种植环境数据采集过程中,由于外业工作环境以及样点空间分布的复杂性,仅仅依靠空间坐标的表达形式往往无法有效的辅助调查人员前往调查样点并提高调查人员的野外决策能力^[8-11]。移动 GIS 的发展为解决上述问题提供了有效方法^[9-21]。笔者曾针对耕地质量分等计算^[22]过程中指标体系、种植模式的不确定性,在分析耕地质量分等因素野外采集业务逻辑的基础上,设计了动态适应指标变化的数据组织形式,并将其与移动 GIS 技术结合辅助耕地质量指标外业调查工作^[23]。与上述研究相比,作物种植环境数据采集工作具有一定的特殊性。首先,作物种植环境数据指标多样并且可能受采集时间、采集地点、作物类型影响而变化,如果预先把所有指标录入接口配置在采集界面中,不但降低数据录入效率,影响界面美观,也无法满足

调查工作的普适性需求;其次,作物种植环境数据采集工作往往基于位置明确的样点,在野外田间环境想要到达指定的样点位置,除了需要实时获取调查人员位置坐标外,也离不开遥感数据的支持,然而限于移动智能终端的存储空间较小,往往无法存储大量的空间数据;再次,数据采集工作对于每个采样点都规定了照片数量与拍摄角度,如何保障照片数据的高效管理与汇交是作物种植环境数据采集研究的重要内容。综上所述,如何在上述研究的基础上,研究并实现适合作物种植环境数据采集工作实际需求的解决方案是亟待解决的重要问题。

本文在分析作物种植环境数据采集工作实际需求的基础上,设计并实现作物种植环境数据采集系统原型,阐述系统体系结构以及对采集指标变化性强、空间数据多样、图像数据难以管理等关键问题的解决方案,并将原型系统应用到陕西省咸阳市杨陵区小麦种植环境数据采集工作中以测试系统的实用性。

1 系统设计

系统由服务器端和客户端组成。服务器端准备采集工作相关的数据,包括遥感底图数据、样点分布数据等并承担采集成果的存储与管理;客户端辅助外业采集工作的整个过程,执行数据录入、管理与输出。比较 C/S 架构与 B/S 架构的不同特性,服务器端作为数据资源中心更适合采用 B/S 架构以方便数据的管理与交互,客户端鉴于野外网络条件以及数据录入速度的约束而适合选用 C/S 架构。图 1 展示了服务器端与客户端的总体交互情况,由于遥感地图数据量通常较大,通过有线传输方式更加高效;而采集成果,包括作物种植环境指标数据以及图像数据有明确的结构化特性,文件数量较多但总数据量较少,采用无线传输方式可以在很大程度上提升数据管理效率。在明确系统组织架构的基础上,通过分析作物种植环境数据采集工作的实际需求,整理了 CPEDCS 的相关功能与性能约束,并设计了服务器端与客户端的框架结构、功能模块划分方式。

1.1 系统功能与性能约束

服务器端作为数据资源中心需要建立完善的用户管理与用户验证机制以保证数据安全,并提供稳定高效的数据可视化、管理、维护与输出环境,同时支持外业工作人员根据需求下载遥感数据、样点数

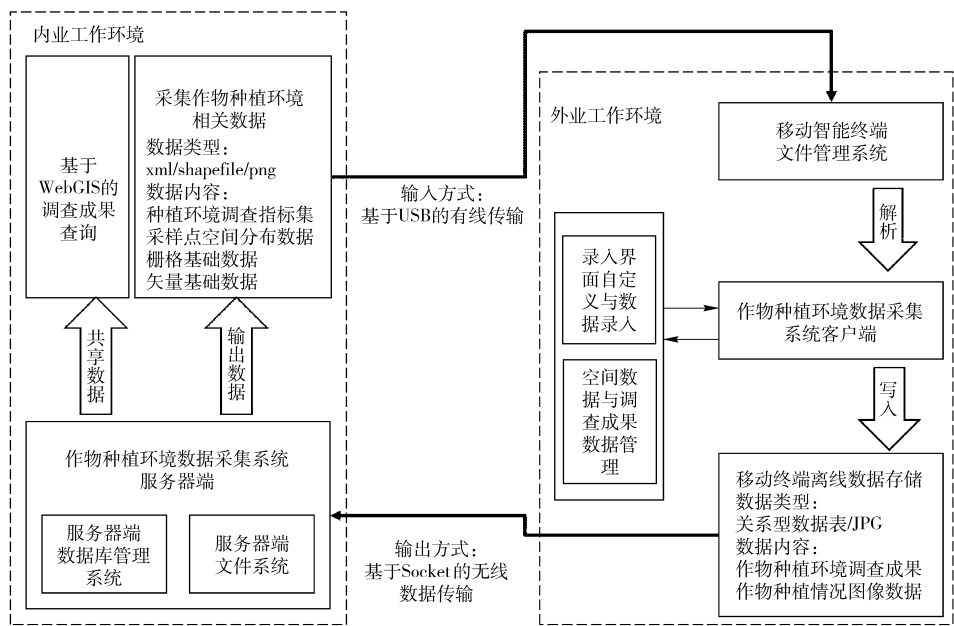


图1 CPEDCS 数据交互体系
Fig. 1 CPEDCS data interaction system

据。此外,应对采集成果上传过程中可能发生的突发情况,服务器端须建立完善的数据接收与回滚机制,保障数据重复传输或传输过程中的数据丢失、网络中断等情况不会引起系统错误或数据错误。

客户端几乎承担外业数据采集工作全部业务,需实现遥感数据与样点数据的空间可视化与查询,并集成 GPS 信息以辅助工作人员到达样点位置,并且可视化过程可以动态适应空间数据的变化;空间数据管理与属性数据采集必须克服移动终端存储空间与性能的限制;数据录入过程中,系统界面应能够根据不同采集任务的具体采集指标调整布局以保障数据录入工作的效率,同时系统快速响应数据录入与编辑操作;采集成果上传过程不会因为网络中断等突发情况而发生数据丢失或损坏,并保证图片数

据传输速度;为防止无线网络中断影响数据采集工作,空间数据查看与属性数据录入工作应支持离线操作。

1.2 系统框架体系结构

如图2所示,考虑到客户端与服务器端开发技术的支持以及系统低耦合、高灵活性与可维护性的要求,CPEDCS 采用了分层体系结构,各层在下一层提供的功能与服务基础上构建,解决问题的一部分并为上一层提供功能与服务接口。由于作物种植环境数据的结构化特征,在服务器端与客户端均采用关系型数据库管理指标数据,同时考虑到遥感数据的数据量较大,采用文件形式存储并通过关系型数据库管理元数据与存储路径的方式管理效率更高,而样点数据由于数据量较小且拓扑关系相对简单,

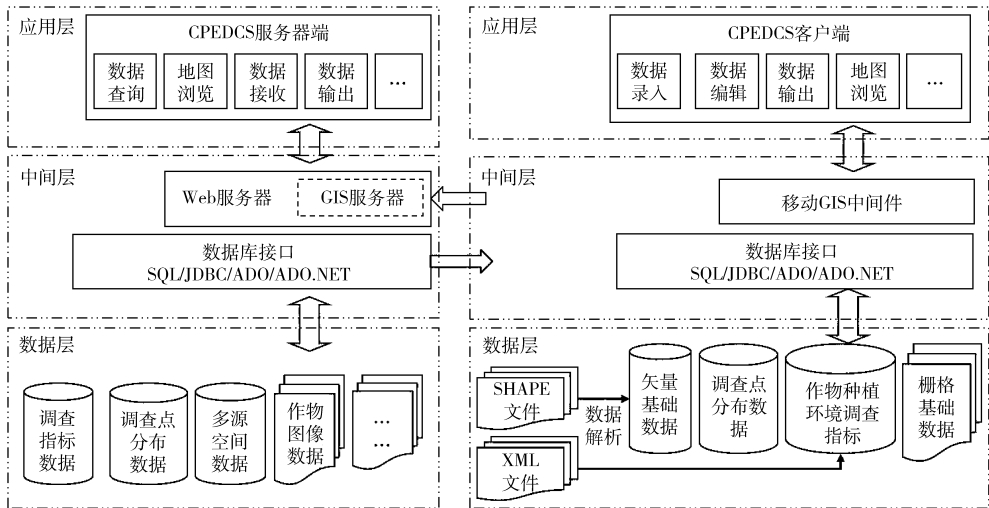


图2 CPEDCS 框架体系结构示意图
Fig. 2 CPEDCS framework architecture

选择关系型数据存储方式即可满足应用需求。服务器端部署于 Windows 操作系统上,选择 SQL Server 2008 作为关系型数据库并基于 .Net 环境研发数据管理软件,通过网络服务与客户端执行数据交互;客户端从易用程度、灵活性、程序执行效率、第三方资源数量、研发成本等角度考虑,选择基于 JAVA 的

Android 操作系统作为移动终端程序运行环境,数据库管理系统与移动 GIS 组件则分别采用 SQLite 与 ArcGIS For Android SDK。数据采集程序通过与本地文件交互实现空间数据可视化,并通过无线通信网络上传采集成果数据。表 1 列出了客户端作物种植环境调查指标体系的相关说明。

表 1 作物种植环境调查指标体系

Tab.1 Crop planting environment investigation indicators system

指标	数据类型	备注	指标	数据类型	备注
种植作物	枚举型	水稻、春小麦等	土壤含水率	数值型	
种植模式	枚举型	一年一熟等	有效土壤厚度	数值型	
土壤 pH 值	数值型		剖面类型	枚举型	简单剖面、复杂坡面等
土壤温度/℃	数值型		灌溉水源污染状况	枚举型	无污染、轻度污染等
株数	数值型		地面破碎情况	文本型	
株数取样宽度/cm	数值型		土壤侵蚀程度	文本型	
株高/cm	数值型		土壤侵蚀类型	枚举型	水力侵蚀、重力侵蚀等
土壤植物量	数值型		土壤动物量	数值型	
种植密度	数值型		土壤呼吸量	数值型	
排水条件	枚举型	健全、基本健全等	有效磷质量比/(mg·kg ⁻¹)	数值型	
利用类型	枚举型	水田、水浇地等	速效钾质量比/(mg·kg ⁻¹)	数值型	
生物量取样宽度/cm	数值型		障碍层距地表深/cm	数值型	
鲜质量/g	数值型		农田水利条件	文本型	
有机质质量比/(mg·kg ⁻¹)	数值型		林网化水平	文本型	
梯田类型	枚举型	反坡、坡式等	景观照片	图片型	

1.3 系统功能模块

图 3 展示了 CPEDCS 功能模块组织结构。服务器端数据管理软件主要划分为用户管理模块、数据管理模块以及成果接收模块。其中用户管理模块分配用户权限并承担用户验证与用户状态管理;数据管理模块实现遥感数据、样点数据与作物种植环境数据管理查询,并按用户需求输出数据;成果接收模块通过网络服务方式获取客户端传输的采集成果数据并将数据存储到数据库或文件系统中。

客户端数据采集程序主要包括 4 个模块:数据

录入模块、数据同步模块、地图应用模块与程序管理模块。数据录入模块承担作物种植环境数据的录入、编辑与查看;数据同步模块通过访问网络服务实现采集成果数据向服务器端传输;地图应用模块实现遥感数据与样点数据的空间可视化,基于 GPS 信息实时显示工作人员位置并提供地图浏览、导航、几何计算、空间查询等功能;程序管理模块由程序运行相关的基础功能组成,包括用户验证、数据库重置、程序更新、网络设置等。

2 关键问题研究

2.1 可定制的种植环境数据录入模式

野外调查指标表达与录入的传统方式在一定程度上降低了作物种植环境数据录入效率。根据传统的野外数据采集应用程序研发过程,调查指标的名称、类型及其在录入界面的布局、排序均在程序设计阶段预先明确,这种模式保障了调查模块的鲁棒性以及录入数据的结构化特性,但是却难以灵活适应调查指标、调查环境的变化性特征。作物种植环境指标体系复杂多样,并且在实际调查工作中需要录入的指标往往会因采集时间、采集作物以及采集区域而异;此外,对于局部采样区域,部分样本指标值可能相似或相同,存在重复录入的可能。在此基础

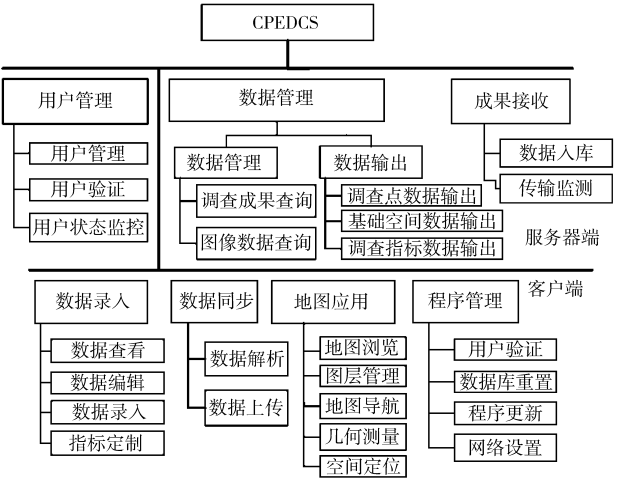


图 3 CPEDCS 功能模块组织结构示意图

Fig.3 CPEDCS functional modules organization

上如果预先明确录入界面布局,众多的调查指标不但影响界面美观,受智能终端屏幕尺寸的限制也会增加录入操作的难度,降低数据采集效率。

针对上述问题,以关系型数据表作为媒介,通过指标结构表(简称结构表)建立作物种植环境指标与数据录入界面的动态关联,实现可定制的种植环境数据录入方式。如表 2 所示,结构表以关系型数据表的形式存储于客户端数据库中,记录指标的名称、录入方式、数据类型、可见性、排序规则、表达精度、默认属性等约束性内容;此外,结构表综合“键类型”字段,“枚举值”字段实现了指标录入方式的动态响应;最后,结构表应用“最大值”、“最小值”、“数据长度”等字段约束各指标录入数据,在一定程度上保障了数据采集工作质量与规范性。需要说明的是,结构表与用于存储实际采集成果的调查表并非等同,图 4 展示了两者的关系。调查表以调查样本编号为主键,逐行存储各样本相应指标的调查成果,而结构表可以理解为调查表的元数据描述,

逐行存储调查表各字段的基础信息;在此基础上,根据结构表与调查表的对应关系可以动态建立调查表以支持调查成果存储。又如图 4 所示,除了支持调查表的动态建立,结构表还充当了指标数据录入界面的“控制器”,基于“是否显示”字段确定在参与构建录入界面的指标集合;根据“排序”字段确定各指标在录入界面中的布局方案;并通过“默认值”字段自动为部分指标赋值,以减少局部采样区域样本指标值相似或相同引起的重复录入工作;通过开放界面化的结构表编辑权限,CPEDCS 客户端实现了用户对调查样本内容、布局以及默认值的自主定制。另外,针对作物种植环境指标体系可能出现变化这一情况,选择以 XML 文件形式组织指标体系并将其存储在移动智能终端的文件系统中,通过解析 XML 文件动态构建结构表。这样一来,通过简单地重组并替换 XML 文件便可以适应作物种植环境指标体系的变化,绕开了繁杂的修改程序代码工作。

表 2 调查指标结构表逻辑结构

Tab. 2 Logical structure of investigation indicators structure data table

字段名称	字段别名	数据类型	是否为空	默认值	是否唯一	备注
ID	编号	Int	否		是	主键
TableName	表名称	Varchar(150)	否		否	数据表表名称
IndicatorName	指标名称	Varchar(100)	否		否	数据表中字段的名称
IndicatorAlias	指标别名	Varchar(100)	是		否	数据表中字段的别名
DataType	数据类型	Varchar(100)	否		否	数据表中字段对应的数据类型
DataLength	数据长度	Int	否		否	数据表中字段的存储的数据长度
PKFK	键类型	Int	否	0	否	用于区分当前字段所属的键的类型:主键(1),外键(2),枚举类型(3),普通字段(4)
FTable	外键表	Text	是		否	用于显示外键表字段
ComValueEnum	枚举值	Text	是		否	用于存储枚举值
MaxValue	最大值	Varchar(50)	是		否	该字段取值的上限
MinValue	最小值	Varchar(50)	是		否	该字段取值的下限
Visible	是否显示	Int	否	2	否	用于标记当前字段是否在列表中进行显示:始终不显示(0),必须显示(1);字段由用户设置显示(2);字段可显示,但当前设置不显示(3)
EditAble	是否编辑	Int	否	2	否	0 表示始终不可编辑;1 表示用户设置不可编辑;2 表示用户设置可编辑
ListOrder	排序	Int	是	0	否	
DecimalLong	小数位数	Int	是		否	表示数据表中小数位的长度,主要针对 Float 类型的字段
DefaultValue	默认值	Varchar(50)	是		否	为指标赋默认值

2.2 动态自适应的空间数据管理

作物种植环境数据采集往往在耕地广阔的农村地区开展,具有工作环境复杂、交通与通信不便等特点,加之样点空间分布的复杂特性,仅仅依靠空间坐标的简单数值型表达形式无法有效辅助调查人员进行野外决策,解决诸如“我在哪里”、“我去哪里”以

及“我如何去”等问题。应对上述问题,目前流行的解决方案是在客户端应用中集成轻量级的 GIS 组件,基于无线通信技术建立任务请求与计算成果的传输通道,通过访问 WMTS、WMS、WFS 等地理信息网络服务获取金字塔结构的地图切片为调查人员提供可视化的电子地图;同时可以根据用户请求规划

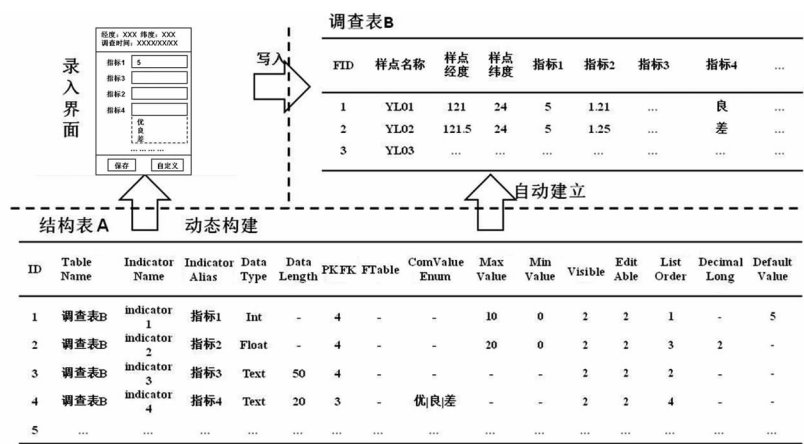


图4 结构表、调查表与录入界面逻辑关系示意图

Fig.4 Logical relationship between structure table, investigation table, input contact surface

调查路径并反馈^[24-26]；这方面的典型应用包括 Google Map、高德地图等。这在一定程度上解决了空间数据量大、空间分析过程复杂与移动终端受限的存储能力与计算能力之间的矛盾,使适合移动终端的大范围、多尺度地图可视化与分析成为可能。然而上述方式在作物种植环境数据采集中存在不足^[18],首先,工作环境通信可能较弱或不稳定,完全依赖无线数据传输可能会因无法获取地图数据而延误调查工作;其次,道路数据在农村地区覆盖程度较

低,路径分析方法往往不能为规划调查路线提供支持。因此,本文综合应用离线存储的矢量数据与栅格数据为野外调查工作提供空间决策支持,同时制定了自适应的空间数据应用模型,动态适应空间数据范围,文件名称、类型与数量等。

图5是CPEDCS客户端空间数据应用模型的组织架构,包括数据解析模型、数据组织模型以及数据索引模型。数据解析模型用于读取空间数据,将文件形式存储的空间数据转换为关系型数据表存储,

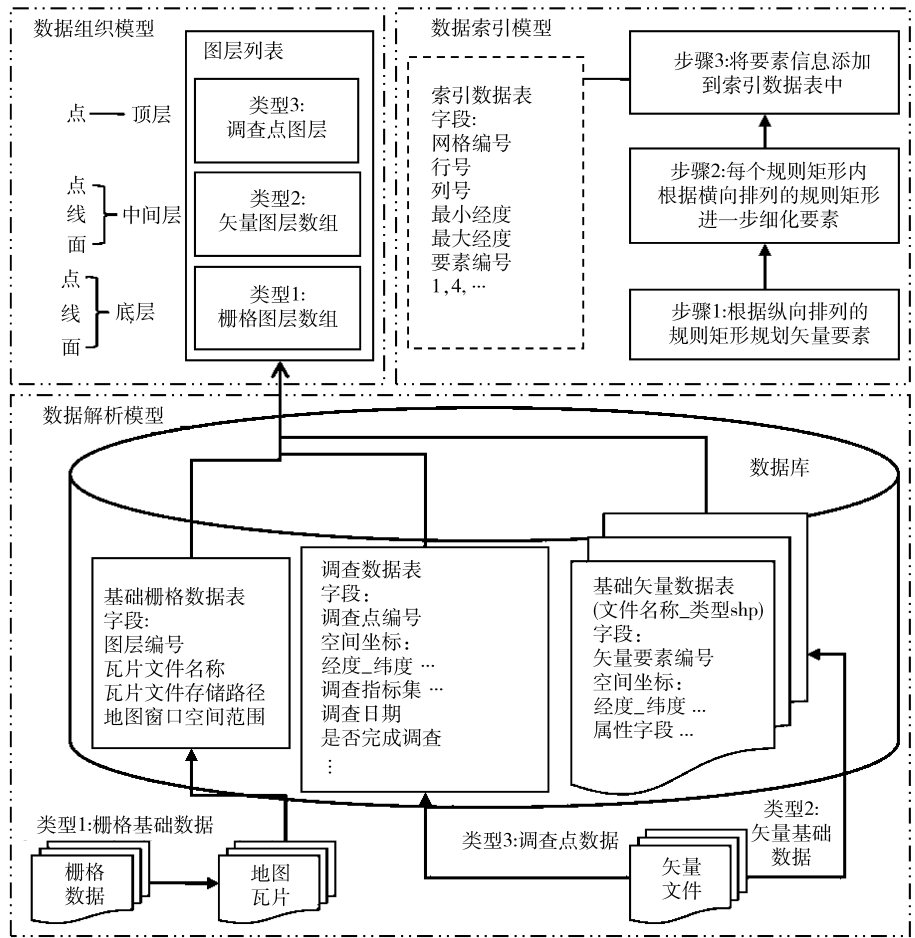


图5 CPEDCS 空间数据组织管理与应用模式示意图

Fig.5 CPEDCS spatial data organization and management

以支持客户端应用。首先,为了方便多源空间数据在客户端的集成应用,同时减轻客户端数据转换压力,数据解析模型定义了空间数据应用的若干统一规范:在数据格式方面,矢量数据采用 shapefile 格式,栅格数据根据 Web Map Tile Service (WMTS) 标准转换为瓦片结构文件;在空间参考方面,统一采用 WGS 1984 地理坐标系(经纬度坐标);在数据命名方面,文件名称只能包含字母和数字;在数据存储方面,全部数据导入移动智能终端 SD 卡中的指定文件目录下。其次,综合考虑空间数据在作物种植环境采集工作中的形式与作用,相关空间数据可以被分为 3 种主要类型:栅格基础数据、矢量基础数据、调查点数据。其中,栅格和矢量基础数据分别以栅格形式(如遥感数据)、矢量形式(如耕地图斑数据、道路数据)为采集工作提供地图参考;调查点数据则与采集成果直接相关,用于存储、展示采样点位置以及相应的指标数据,如图 5 所示。在完成空间数据解析后,数据组织模型用于从关系型数据表中读取数据,并以自适应方式组织空间数据在地图容器中的渲染显示与管理。全部空间数据根据其所属的类型,以图层(Layer)的形式被逐一添加到 3 个相对独立的数组中;栅格图层数组所属图层按存储顺序自上向下排序,而矢量图层数组所属图层自上向下按点文件、线文件、面文件堆叠,并且地图服务模块在初始化过程中自动建立链接,控制每个图层显示情况;此外,考虑到空间数组集成显示过程中的遮挡问题,全部图层按既定规则排列显示:栅格图层数组置于地图容器底部,其所属图层按原始数据几何分辨率由高到低排序;矢量图层数组置于栅格图层数组之上,其所属图层自上向下按点文件、线文件、面文件堆叠;调查点图层数组置于顶部。

相比于服务器或台式计算机,一般而言移动智能终端并不适合大量矢量要素的渲染显示。但在应用空间数据辅助作物种植环境数据采集过程中,往往可能涉及到渲染显示数以千计的线状或面状要素,这便会大大降低数据处理速度甚至可能引起客户端程序崩溃。基于移动终端(CPU: 1.5 GHz, RAM: 512 MB, ROM: 2 GB)的要素渲染实验表明,线状矢量要素数量的增加降低了地图漫游与数据查询的响应速度,并且这种现象在要素数量超过 400 时变得尤为明显,而当要素数量在 3 000 左右时应用程序基本无法操作。本文作者在以前的研究工作中针对这一问题提出了根据要素数量划分的自适应规则网格索引算法并取得了良好的效果^[23]。根据上述算法建立数据索引模型并集成到 CPEDCS 客户端,通过限制图层中渲染显示的要素数量来保障程

序运行效率。在上述数据解析模型、数据组织模型以及数据索引模型支持下,CPEDCS 客户端可以动态适应空间数据范围,文件名称、类型与数量等的不断变化,实现较具普适性的空间数据应用,辅助调查人员进行野外决策。

2.3 图像数据处理与表达

作物种植环境数据采集过程需要在调查点从不同角度采集多幅作物种植情况的图像材料,包括侧角、俯角、平角、近景、远景等,为后期作物种植环境评价与对比提供辅助数据。传统方式是应用相机等设备采集图像数据,并在后期数据处理过程中将图像数据手动导入到计算机,并建立调查点与图像的关联。考虑到照相设备往往无法定义图像名称,这种方式需要严格记录每个调查点采集图像的数量与顺序,以免后期处理时调查点与图像数据的匹配错误;此外还存在数据导出与匹配过程工作量大、无法充分利用图像的空间特性等特点。图像数据反映的是调查区域的作物种植情况,调查点位置即为其空间特性,调查时间即为其时间特性,将图像采集、传输过程集成于 CPEDCS 客户端,通过移动智能设备采集图像并以编码形式定义图像文件名称,编码格式为“调查点名称_调查点经度_调查点纬度_调查时间_递增序列号”,实现图像文件与其时空特性的关联。并在此基础上对采集图像进行等比例压缩。

基于这种方式,服务器端应用程序可以通过解析文件名获取图像的调查位置与调查时间属性,进而自动实现调查点与图像数据的关联。在此基础上结合 WebGIS 技术,服务器端可以实时将采集到的图像数据展示在地图上,支持用户在无需后期处理的前提下方便快捷的查看图像数据,为种植环境评价与对比提供支持,如图 6、7 所示。

3 系统实现与测试

作物种植环境数据采集系统 CPEDCS 分为客户端应用程序与服务器端网站两部分。其中客户端应用程序基于 eclipse 平台实现,运行于 Android 操作系统,并基于 SQLite 建立离线数据库存储矢量数据、结构表数据与调查表数据。应用程序基于 Dom4j 插件实现 XML 文件解析,并以 ArcGIS for Android SDK 为中间件来提供空间数据浏览、查询以及相关空间分析功能。

服务器端网站基于 .NET 实现,以 IIS 7.0 作为 Web 服务器,SQL Server 作为数据库管理系统。一方面,服务器端通过 Socket(一种被动推送方式)获取调查成果数据(包括文本格式和图像格式),相关调查数据在客户端从调查表或文件系统中读取并按

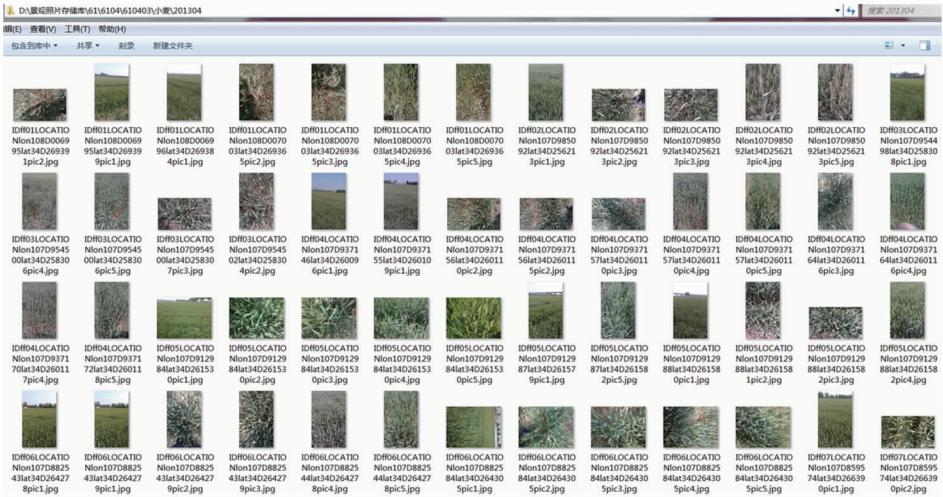


图 6 数据层:基于文件形式与名称编码的景观照片存储

Fig.6 Data layer: storage of photos base on file system and encoding name

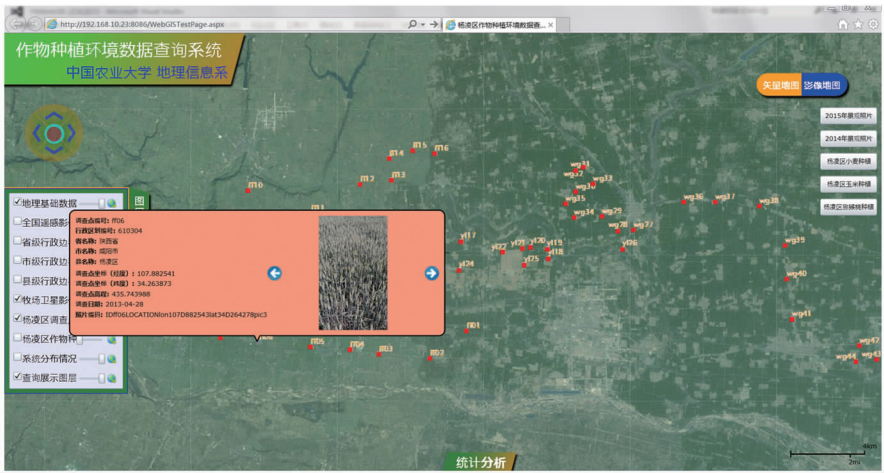


图 7 应用层:基于 WebGIS 的景观照片数据查询

Fig.7 Application layer: WebGIS based photos query and display

规定的 JSON 或字符串形式组织,在网关解析并向服务器端提供接口;服务器程序启动后打开并监听相应的 Socket 端口,一旦监听到有网络连接请求便立即响应,即时处理数据传输;成功接收数据后,服务器端基于 WebService 程序将接收的数据导入预先制定的原始数据表中。另一方面,服务器端以 GeoServer 作为 GIS 服务器,以 ArcGIS for Silverlight 作为网站插件,实现了基于 WebGIS 的调查成果动态查询模块,分别从服务器端数据库与文件系统中获取不同时段的调查成果文本数据与图像数据并在地图上展示,支持用户实时查看调查成果。

为了测试 CPEDCS 在实际作物种植环境数据采集工作中的实用性与稳健性,将客户端应用程序应用于 2013 年 4 月与 2014 年 4 月陕西省杨凌区小麦种植环境野外调查的实际工作中。该项工作在杨凌区部署固定的采样点,并且每年在小麦生长的不同生育期前往采样点采集数据。图 8 是实验过程的流程示意图,首先,综合参考《农用地分等规程》^[22] 与

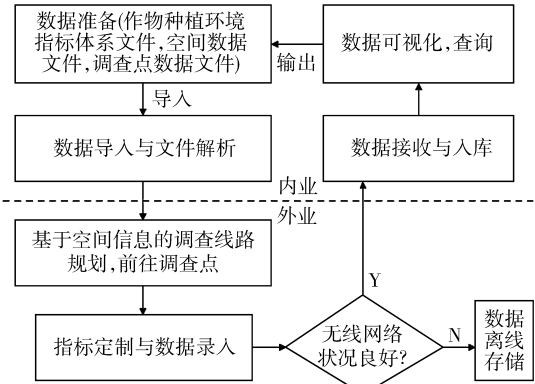


图 8 基于 CPEDCS 的作物种植环境数据采集工作流程图

Fig.8 Crop planting environment data collecting process

实际调查工作经验,建立 XML 格式的作物种植环境指标体系文件,并在前期工作中将 XML 文件以及相关空间数据,包括采样点分布数据、栅格基础数据、矢量基础数据导入移动终端文件系统中;随后,CPEDCS 客户端数据同步模块解析 XML 文件与空间数据文件并建立相应的结构表、调查表以及空间

数据表;在此基础上,用户可以应用多源空间数据组织电子地图并将采样点数据展现在地图上,结合空间定位、地图浏览、地图导航、距离量算等功能辅助用户规划调查路线并前往采样点(图9);到达采样点后,用户进入数据录入界面,录入需要调查的各项指标,并且可以根据实际需求调整录入界面可见的指标及其排序方式,也可以根据经验为某些区域内平滑分布的指标设定默认值以提高录入效率(图10);完成数据录入后,一方面调查点会以点的形式渲染在地图容器上,辅助用户直观掌控调查进度,另一方面调查数据会以离线形式存储在客户端数据库中,支持用户对已录入数据编辑修改并在无线通信网络状态良好的情况下将采集的数据传输并存储于服务器端。实验结果表明,CPEDCS 能够为作物种植环境数据提供实用、稳定的支持,一定程度上提高采集工作效率,减少数据录入出错率并能为调查人员提供空间信息辅助。而相比传统基于移动 GIS 的数据采集系统,CPEDCS 具有更强普适性,能够动态适应调查指标与调查区域的变化,通过结构表模型与空间数据组织模型动态组织不同类型调查数据并生成数据录入界面,如表3所示。

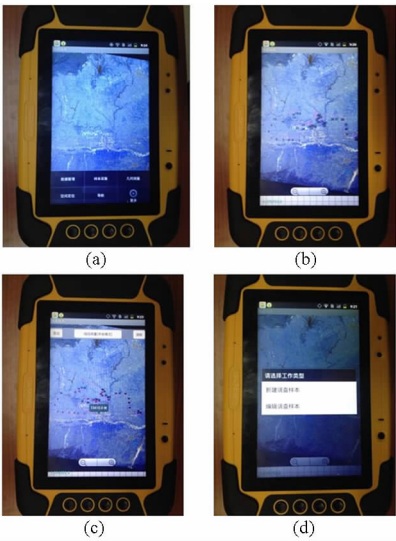


图9 CPEDCS 移动地图在数据采集工作中的应用

Fig.9 Application of mobile map on data collection work

(a) 地图浏览与功能模块 (b) 查看调查样点分布

(c) 几何测量 (d) 基于空间位置的数据采集

4 结束语

在分析作物种植环境数据采集工作实际需求的基础上,基于 Android 操作系统设计并实现了作物种植环境数据采集系统(CPEDCS)原型。系统针对作物种植环境指标的不确定性特征,以增强系统应用普适性为目的,提出基于结构表的用户可定制种



图10 基于 CPEDCS 的调查数据录入

Fig.10 CPEDCS based data input process

- (a) 步骤1:进入调查记录管理界面
- (b) 步骤2:进入调查记录录入界面
- (c) 步骤3:设置调查指标可见性与排序
- (d) 步骤4:设置调查指标默认值
- (e) 步骤5:返回调查记录录入界面
- (f) 步骤6:景观照片采集管理

表3 CPEDCS 与传统数据调查系统普适性对比

Tab.3 Comparison of universality between CPEDCS and traditional data investigation systems

普适性对比	CPEDCS	传统数据调查系统
调查指标变化响应	动态适应调查指标变化	不灵活,通过修改程序响应指标变化
调查录入工作响应	支持用户自定义调查界面并设置默认值	调查界面固定,不支持用户调整界面
空间数据应用模式	在线与离线一体模式,支持空间数据离线组织,并建立自适应网格索引	在线模式为主,空间数据离线处理能力弱

植环境数据录入模式,一方面可以通过编辑指标文件形式调整录入指标;一方面支持用户自定义录入界面内可见的指标项及其排序方式与默认值。系统集成移动 GIS 技术为野外采集工作提供空间信息支持,并可以动态适应空间数据类型、数量、范围的变化。系统通过对图像数据采集、压缩、编码与传输存储,实现图像数据的高效管理应用,支持用户基于浏览器实时查询不同调查样点的照片数据。在2013年4月与2014年4月陕西省杨凌区小麦种植环境野外调查的实际应用中,CPEDCS 表现出良好的实用性与稳定性,一定程度上提高采集工作效率,减少数据录入出错率并能为调查人员提供空间信息辅助。

参考文献

- 1 Novak K. Peer reviewed articles mobile mapping technology for GIS data collection[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1995, 61(5): 493.
- 2 Zingler M, Fischer P, Lichtenegger J. Wireless field data collection and EO-GIS-GPS integration[J]. Computers Environment and Urban Systems, 1999, 23(4): 305-313.
- 3 Pundt H. Field data collection with mobile GIS: dependencies between semantics and data quality[J]. Geoinformatica, 2002, 6(4): 363-380.
- 4 王虎,杨耀华,李绍明,等. 基于移动端作物大田测试数据采集技术研究[实现][J]. 中国农业科技导报, 2013, 15(4): 156-162.
Wang Hu, Yang Yaohua, Li Shaoming, et al. Research and implementation of field crop test data collection based on mobile phone [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2013, 15(4): 156-162. (in Chinese)
- 5 黄锦,李绍明. 基于手机的玉米育种田间数据采集系统设计[J]. 农机化研究, 2014(6): 193-197.
Huang Jin, Li Shaoming. Design on field information acquisition of maize breeding system based mobile phone[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014(6): 193-197. (in Chinese)
- 6 Han Y Q, Shan X A, Zhu D H. Design and implementation of locust data collecting system based on android[C] // 2011 International Conference on Computer Science and Education, 2011: 328-337.
- 7 尚明华. 基于 Android 智能手机的小麦生产风险信息采集系统[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 178-182.
Shang Minghua. Information collection system of wheat production risk based on Android smart phone[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(5): 178-182. (in Chinese)
- 8 Yan Yongbin, Yu Jia, Wu Jianping, et al. Design and implementation of a mobile GIS for field data collection[C] // Proceedings of 2009 World Congress on Computer Science and Information Engineering, 2009: 235-241.
- 9 Thorat S B. Mobile GIS: for collection of socio-economic data and water resource management information [C] // Proceedings of the World Congress on Engineering, 2012, 2: 874-877.
- 10 Chen Huajun, Xiao Keyan. The design and implementation of the geological data acquisition system based on mobile GIS[C] // 19th International Conference on Geoinformatics, 2011: 1-6.
- 11 Jeefoo P. Real-time field survey using android-based interface of mobile GIS[C] // 5th International Conference on Information Science and Applications, 2014: 1-3.
- 12 Jordan C J. The development of digital field data collection systems to fulfil the british geological survey mapping requirements[C] // Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology: GIS and Spatial Analysis, 2005: 861-891.
- 13 Dezani H. Mobile application as a tool for urban traffic data collection and generation to Advanced Traveler Information Systems using Wi-Fi networks available in urban centers[C] // IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2012: 288-292.
- 14 Wang W. Design and implementation of mobile GIS for public health emergency[J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(6): 25-28.
- 15 Shan W. Collecting earthquake disaster area information using smart phone[C] // International Conference on System Science and Engineering, 2012: 310-314.
- 16 李文闯. 基于 Android 的移动 GIS 数据采集系统研究[D]. 北京: 首都师范大学, 2013.
- 17 Mills J W. Geospatial video for field data collection[J]. Applied Geography, 2010, 30(4): 533-547.
- 18 Kawamura Y. Using GIS to develop a mobile communications network for disaster-damaged areas[J]. International Journal of Digital Earth, 2014, 7(4): 279-293.
- 19 Li M, Wang H. Design for mobile GIS based on embedded database[C] // IEEE Conference Anthology, 2013: 1-3.
- 20 Jajac N. Efficient replication of geospatial data for mobile GIS in field work [C] // 11th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services, 2013: 393-396.
- 21 Brisaboa N R. Managing a geographic database from mobile devices through OGC web services[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2007, 4537: 174-179.
- 22 TD/T 1004—2003. 农用地分等规程[S]. 2003.
- 23 Ye S J. Development of a highly flexible mobile GIS-based system for collecting arable land quality data[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2014, 7(11): 4432-4441.
- 24 Choimeun S, Phumejaya N, Pomnakchim S, et al. Tool for collecting spatial data with Google Maps API[C] // International Conference on U- and E-Service, Science and Technology, UNESST 2010, Held as Part of the Future Generation Information Technology, FGIT 2010, 2010: 107-113.
- 25 Myung-Sam K, Yeong-Jee C. Design and implementation of server based GIS computing platform for mobile Web map service[J]. Journal of KISS: Computing Practices, 2006, 12(1): 9-20.
- 26 Fernando N, Dias D, Wijesekera S. A framework to develop location based services applications using OGC map services[C] // 5th International Conference on Information and Automation for Sustainability (ICIAFs), 2010: 521-526.