

基于 Google Maps 的农业机械作业轨迹监测系统*

史国滨¹ 王 熙² 庄卫东²

(1. 黑龙江八一农垦大学信息技术学院, 大庆 163319; 2. 黑龙江八一农垦大学工程学院, 大庆 163319)

【摘要】 为满足现代农业机械管理需要,实现农业机械作业调度与实时监控,运用 GPS、GPRS 和 Google Maps 技术进行有机集成,构建了农业机械作业轨迹监测系统。该系统采用单片机整合 GPS 模块、GPRS 模块实现车载 GPS 数据无线远程回传,通过 Google Maps API 构建 Web GIS 系统,采用 ASP.NET 实现农业机械田间作业管理;以 Web Service 技术及 Ajax 技术实现作业轨迹回放、作业实时定位及长度、面积测量等功能。

关键词: 农业机械 作业轨迹 监测 Google Maps Web GIS

中图分类号: S126; S232.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)11-0231-06

Agricultural Machinery Trace Monitoring System with Google Maps

Shi Guobin¹ Wang Xi² Zhuang Weidong²

(1. College of Information Technology, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China

2. College of Engineering, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

Abstract

To meet the needs of modern agricultural machinery management, an agricultural machinery trace monitoring system based on the technology of GPS, GPRS and Google Maps was developed in order to realize the real-time monitoring and scheduling of farm machinery. This system with built-in GPS and GPRS modules, which use wireless network transfer GPS data to remote machine by single-chip microcomputer. With Google Maps API, a Web GIS system was established. An agricultural machinery management by ASP.NET was achieved. Web Service and Ajax technology was used to do such things like trace playback, length measuring, and calculation of land area function.

Key words Agricultural machinery, Trace, Monitoring, Google Maps, Web GIS

引言

随着现代农业的发展,农业机械(以下简称农机)作业调度与实时监控已成为农机管理的一项重要工作,信息化手段是提高农机作业管理水平的有效途径。近年来,随着无线通信技术、GPS 和 GIS 的不断发展,将三者进行集成在精准农业领域中也已有所应用^[1-3]。国内外相关研究在硬件方面主要采用嵌入式系统集成 GPS、GPRS 模块,软件方面地图显示功能主要采用商业地图开发软件实现,其开发须配合专用软件完成,需要在 GIS 空间数据存储、网

络传输、客户端设置等多方面建立整套方案,为增强显示的可视化效果往往在地物标识等地理信息处理上花费大量时间,为了获得高精度地图需另行购买地图影像数据等,这些均增加了系统开发的周期和资金投入,不适合日常农机作业调度与实时监控系统的管理和维护需求。

本文构建的具有 GPS 定位、GPRS 无线远程传输功能的硬件终端装载在机车上,借助无线 GPRS 网络把运行轨迹数据回传给监控中心,在监控中心构建 Web GIS 系统用于及时监测农机作业轨迹数据;结合 Google Maps 提供的免费高精度地图进行精

收稿日期: 2011-12-05 修回日期: 2012-04-20

* “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B06)和黑龙江农垦总局课题资助项目(HNK11A-07-01-02)

作者简介: 史国滨,讲师,主要从事精准农业技术研究,E-mail: shiguobin@126.com

通讯作者: 王熙,教授,博士生导师,主要从事精准农业技术研究,E-mail: ndwangxi@163.com

确定位显示,并对作业长度、面积等做出准确测量;以 Web 方式实现瘦客户端定位跟踪监测,实现一套轻量级的 Web GIS 系统,并对系统的性能进行优化,以提升农机管理的现代化水平。

1 监测系统实现

硬件系统采用模块化结构设计,如图 1 所示。主要由 GPS 模块、无线数据终端构成 GPS 数据现场采集部分。GPS 数据经处理后以 GPRS 分组数据的形式发送到 GSM 基站(BSS),分组数据经 SGSN 封装后,发送到 GPRS 骨干网,经 GGSN 进行协议转换后,发送到固网中^[4]。由接收端通信服务器、存储及 Web GIS 应用服务器构成监控中心部分。

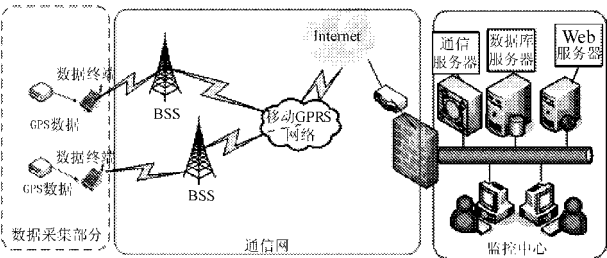


图 1 监测系统结构图
Fig. 1 Structure of monitoring system

监测系统包括 3 个子系统:硬件子系统、网络通信子系统、Web GIS 子系统,各部分功能如图 2 所示。

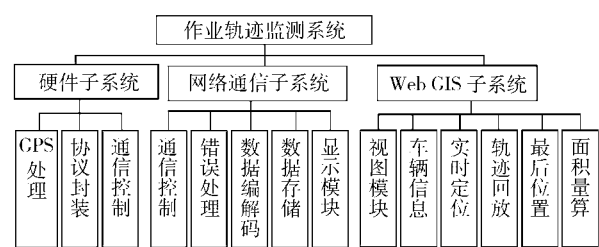


图 2 监测系统各部分功能框图
Fig. 2 System function of each parts

1.1 硬件构成

车载终端硬件如图 3 所示,终端核心处理器采用 C8051F022 单片机,其片内集成了数据采集和控制系统中常用的模拟、数字外设及其他功能部件;内置 FLASH 程序存储器、内部 RAM,器件内部有 XRAM。GPRS 模块采用 SIMCOM 公司的 GPRS 模块 SIM300 进行 GPRS 数据传送。GPS 模块采用 COMPASS 模块,定位精度 10 m 左右。其优点是价格便宜、设计简单、稳定性好、灵敏度高、耗电量低等。通过作业机车电池输出的 12 V 工作电压,为低功耗、宽电压的远程监控终端提供动力,当机车启动后终端完成启动并将工作点 GPS 信息及机车信息传回数据中心。该硬件终端定位精度达到 10 m 以

内,定位速度小于 1 m/s,工作电压宽在 10 ~ 36 V,工作温度 -20 ~ 60℃。峰值电流小于 730 mA,冷启动时间约为 34 s。本车载终端外部提供 RS232 串行接口,可外接摄像头等传感器,提供功能扩展。

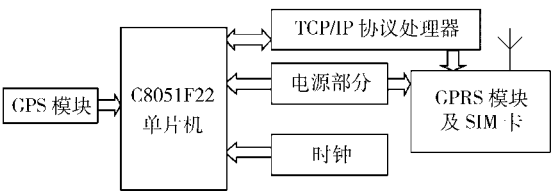


图 3 硬件组成框图
Fig. 3 Hardware composition

1.2 数据封装及软件流程

单片机将接收的 GPS 数据处理提取出经纬度、速度、方向、里程数、接收时间信息后,将组合的定长 GPS 数据封装成上行至远控中心的协议数据单元 PDU,为保证传输数据的可靠性,PDU 采用专有封装格式^[5],由前导码、标识码、序号码、指令码、数据长度、数据、结束符组成。

以特定字符为前导码利于控制中心正确接收和识别 PDU 起始,标识码用于区分终端设备号,序号、指令、数据长度用于指示传输上行数据序号、命令类型及长度信息。指令区域设定为 GPS 的控制字,并可设定其他类型设备的控制字以实现功能扩展,如加载农业用传感器、摄像头等。GPS 数据存储于数据区,在 PDU 尾部加结束符作为结束标志。如图 4 所示,终端中 PDU 通过 TCP/IP 协议处理器封装成 TCP 包进行快速数据传输,并以 SOCKET 通信方式与监控中心通信。由终端每秒接收一组 GPS 数据并存储于设备存储区,设定设备每隔 10 s 将多组数据组合封装一并发送给控制中心并存储在 SQL Server 数据库中,以此降低与控制中心通信频度,降低中心端负荷。由于终端处理器存储空间有限,最

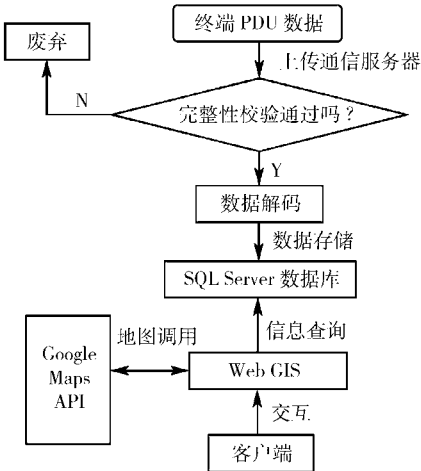


图 4 软件流程图
Fig. 4 Flow chart of software

大 PDU 长度受到限制,故对较大的数据进行分割封装。

1.3 Web GIS 的构建

如自行开发 Web GIS 方式,需要解决如下软件问题:输入和处理地理信息的工具;数据库管理系统(DBMS);支持地理查询、分析和视觉化的工具;空间数据的存储问题;易于使用的工具图形化界面(GUI)等^[6]。需要完成的工作非常复杂,不仅开发周期长,且需大量的人力、物力投入,对于开发像农机作业轨迹监测这样的轻量级系统此方法并不合适。

本系统借助 Google Maps 提供的开放地图服务来实现地图应用。

Google Maps 有覆盖全球的航天和卫星图片,其卫星影像并非单一数据来源,而是卫星影像与航拍的数据整合,具有解析度高、更新快、免费等特点。Google Maps 提供了 22 个缩放等级的卫星遥感图像,提供标尺从 5000km 到 20m 的不同比例缩放。Google 地图上的全球地貌影像的有效分辨率至少为 100 m,通常为 30 m^[7],此分辨率可有效识别地理特征。Google 推出的 API 程序接口使用户能够自行开发 Google Maps 应用,Google 不仅提供免费的高质量地图定位,而且可以配合其 API 提供的一系列功能(包括地图显示功能和扩展功能)实现用户自定义标注、地点标注、轨迹回放等,还可实现长度、面积测量,为实现 Web GIS 相关应用提供了可能。

国内外采用 Google Maps 技术进行简单信息展示的应用比较多,而用于车辆动态跟踪交互的应用相对较少。国内孙燎原等人研究了基于 Google Maps 的车辆跟踪态势显示系统,实现了车辆的位置展示^[8]。该方案采用 VANET 网络平台,数据包成功传输率比较低,一般不超过 50%,传输数据延迟大且延迟抖动剧烈。张加龙等人实现了基于 Google Maps 与 PDA 的在线跟踪系统^[9],该方案终端采用 PDA,其接收 GPS 信号的强度及 GPRS 模块连续工作的稳定性没有专用模块可靠性高。将 Google Maps 技术引入到农业领域进行机车轨迹跟踪、农机作业管理这一领域并不多见。

本系统利用 Google Maps API v2.0 提供的 Glatlng 类、GMarker 类、GMap2 类等实现 Web GIS 相关功能。

机车行驶过程中由车载终端获取的 GPS 数据通过 GPRS 网络回传给通信中心,指定机车经停位置和在作业区中行驶的经度、纬度、时间等信息由通信服务器接收并存储于数据库服务器。通过 Web GIS 端调取存储在数据库中的机车、坐标数据显示

在地图中,管理人员通过显示在 Google 地图中的机车作业信息,随时跟踪驾驶人员,掌握机车作业位置,掌握一定区域内进行生产作业的机车数量及相关信息,根据生产作业需要,合理调度农机在生产区的作业、合理调配资源,达到监督工作进度,提高管理效率的目的;利用 Google Maps API 调取 Google 地图方式,管理人员无需具备专业地图编辑、处理知识,由谷歌地图服务器提供覆盖全球任意位置的地图信息,系统运行后期维护成本大幅降低;利用 Google 卫星视图模式提供的具有地物特征的高清晰影像资料,可方便管理人员识别机车作业地理位置,给管理者提供良好的使用体验。

2 Web GIS 平台优化

2.1 开发平台的性能优化

Google Maps 采用栅格化图像,栅格化图像有利于地图的平滑显示,缩放时不会出现白屏问题,提高了可视化效果^[10]。

本系统 Web GIS 开发平台采用 ASP.NET Ajax 框架实现,以 SQL Server 数据库进行存储。ASP.NET 通过服务器控件,创建简单高效的 ASP.NET Web 页面和应用程序;通过代码隐藏技术实现表示界面和处理逻辑有效分离;在 Web GIS 平台中采用 Ajax 整站设计,控制菜单、地图及数据显示区,实现页面无刷新;通过服务器缓存技术缓存车载列表,减少访问数据库的次数,并以 Web Service 方式实现大数据量交换。相对于普通的 Web GIS,基于 Ajax 的 Web GIS 本质上是在客户端增加了一个 Ajax,其实质是将客户端请求交给 Ajax 引擎处理,得益于 Ajax 的异步请求功能,从服务器返回的是发生改变的模块,如果没有请求和响应之间的时间差,用户会感觉就像真的桌面系统一样,而不是发送一个 POST 请求,整个页面都重新下载。这种“无刷新、按需请求数据”的通信方式给用户良好的体验,消除了网络交互过程中用户在得到响应之前只能等待的缺点^[11]。利用 SQL Server 适合大容量数据的应用,在处理海量数据的效率,后台开发的灵活性,可扩展性方面具有极大的优势,将两者结合起来开发相关应用,可实现 Web 应用程序的优化。

Web Service 实现了在异构系统间构建真正的分布式应用,实现信息的开放共享。其接口服务可用于提供大量轨迹数据,通过客户端数组存储可降低服务器端资源的占用。以 Visual Studio.NET 集成化开发工具开发基于 .NET 平台的 ASP.NET Web Service 应用程序,Visual Studio.NET 自动完成了 Web Service 须做的大部分工作,因此两者是一种最

佳组合。

Google Maps API 以 Javascript 脚本方式开发。在地图显示上,采用 Ajax 的 Web GIS 模型实现了非实时生成图像、地图切块、服务器端图片缓存、图像拼接、浏览器端缓存、异步请求、动态业务数据叠加等先进算法,从服务器端到浏览器端各层采取不同的技术和优化措施,极大提高了 Web GIS 的性能与用户交互性。同时,将复杂的 GIS 操作封装为简洁的 Ajax 开发 API,提供了灵活的调用方式,极大降低了 GIS 的应用门槛,便于实现功能的扩充和与其他信息服务的集成^[12]。

采用 Asp. net 结合 Google Maps 开发 GIS 系统,借助 Google Maps 提供的开放 API 地图服务利用其优异特性开发动态交互程序,以 Asp. NET Ajax 技术及 Web Service 技术结合 Google Maps Ajax 的 Web GIS 模型接口的优势实现 Web GIS 是一种优异的组合^[13]。

为实现快速开发 Google Maps 程序,采用了图 5 中所示的 Google Maps Control for ASP. NET 开源控件,此方式与其他系统比较,能有效减少编写与 Google Maps API 交互的 Javascript 的代码量,使更多的功能编写集中在服务器端上。Google Maps Control for ASP. NET 读取不同的 Google 地图对象、会话、变量初始化 ASPX 页面,通过封装 ASCX 用户控件来绘制 Google 地图,包含的图层、事件、信息、接口控制采用 Ajax 方式返回服务器端数据,动态改变图标及坐标点无需整张地图刷新,仅从服务器返回变化的数据等特点,为开发平台提供了最优化的性能。

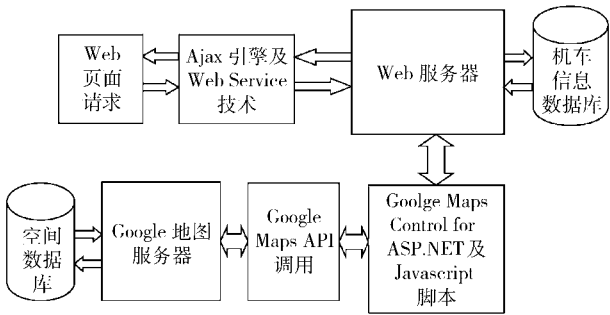


图 5 ASP. NET 与 Google Maps 交互框图

Fig. 5 Interaction of ASP. NET and Google Maps

通过 Google Maps Control for ASP. NET 控件在地图中显示机车当前位置的实现方法如下:

```
GooglePoint GP1 = new GooglePoint();
GP1. ID = " YellowCar" ;
GP1. Latitude = Lati_value;
GP1. Longitude = Longi_value;
GP1. InfoHTML = " 当前坐标点:" + " < br > "
```

```
+ " < font color = 'red'> 经度: < /font > " + Convert.
ToString ( GP1. Latitude ) + " , " + " < br > " + " 纬
度: " + Convert. ToString ( GP1. Longitude );
GP1. IconImage = " icons / YellowCar. png" ;
GoogleMapForASpNet1. GoogleMapObject. Recenter-
Map = false;
GoogleMapForASpNet1. GoogleMapObject. Show-
ZoomControl = true;
GoogleMapForASpNet1. GoogleMapObject. Points.
Add ( GP1 );
```

通过调取数据库机车坐标数据,改变 GP1. Latitude 和 GP1. Longitude 值可实现机车作业轨迹的动态监控,通过 writopolyline (Longi _ value, Lati _ value) 方法实现作业轨迹的回放显示。

2. 2 轨迹回放、实时定位实现及优化

采用 ASP. NET 开发平台、SQL Server 数据库存储机车信息,通过将终端设备号与农业机械牌号建立对应,实现系统对农机有关信息的管理,构建农机管理信息系统。以 Google Maps API 方式获取地图信息,在地图上实现轨迹回放有 3 种方案:

- (1) 采用定时器定时调用服务器端程序按序获取历史轨迹信息,通过 session 维护临时状态信息。定时触发程序每次查询服务器端程序,往复回发服务器端会导致服务器资源占有率过高,特别是多个客户端并发连接时会大量消耗服务器资源。当用户长时间不操作时,session 会失效而变量值丢失,导致回放无法进行。在回放时间中客户端与服务器高频率交互响应传输数据,往返传输时间占据较大比重。
- (2) 采用定时器定时调用服务器端历史轨迹信息,通过 ASP. NET hidden field 控件维护临时信息,防止 session 失效而导致变量值丢失,但其仍然属于服务器控件,仍会消耗服务器的大量资源。
- (3) 采用 ASP. NET Ajax 及 Web Service 方式一次获取指定时间范围内所有轨迹数据,服务器将响应数据记录集通过 jsonBuilder. Append () 封装成 JSON 数据^[14],JSON 是 Javascript 原生格式,通过 eval () 方法直接存储于客户端 Javascript 数组中,通过在客户端脚本中建立定时器定时读取数组特定序列后回放,在 Google Maps 绘图层绘制坐标点。此方案客户端与服务器端仅交互一次即可返回客户端所有历史轨迹点,服务器资源占用率低。本系统采用的是第 3 种方案。

实时定位采用与轨迹回放相类似的方式,客户端按设定时间间隔自动查询,由 Web GIS 服务器查询数据库以 Web Service 方式返回选定机车的实时坐标 JSON 数据,通过客户端 Javascript 数组存储并

在地图中重绘。此方案中任意固网客户端连接到 Web 服务器在获得合法身份授权后均可在地图中查看到机车上终端返回的最新位置。

2.3 长度、面积量算

由于地图中进行测量线段为直的,但实际上可能没有正确考虑到地球的弧度。在地图中小范围内进行测量长度和面积可通过 Javascript 函数调用 Google Maps API 的 GPolyline 和 GPolygon 构造函数实现^[15],通过定义鼠标左击事件在地图上画连续的线段或区域,将选定点绘制在地图上。在 GPolylineOptions 参数中传递 geodesic:true,引入弧度参考量,通过投影变换,用 getLength() 和 getArea() 方法取得线段长度及所围的面积返回值。通过 map.clearOverlays() 可清除绘制图形^[16]。图 6 和图 7 分别是轨迹回放功能界面和面积量算界面。

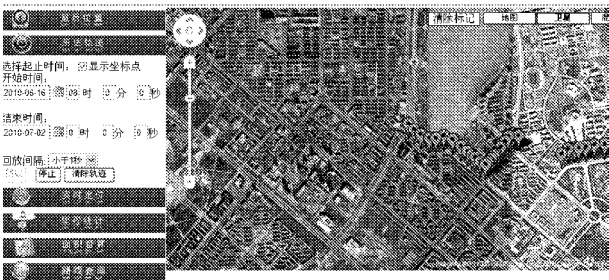


图 6 轨迹回放功能界面

Fig. 6 Function interface of track playback

3 系统运行试验

将车载终端安装在机车内,将 GPS 及 GPRS 天线固定在机车外部进行连续运行测试,机车启动后车载终端可正常冷启动,行驶中可正常接收 GPS 信号,监控中心可连续接收到远程车载终端回传的 GPS 数据,机车运行轨迹可动态显示在地图中。系统经长时间运行测试,试验结果表明:车载终端硬件

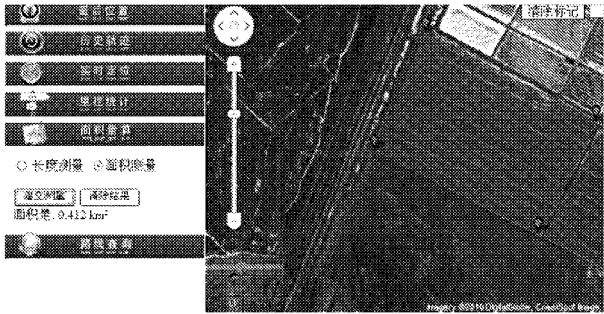


图 7 面积量算界面

Fig. 7 Calculation of land area

可靠、GPS 和 GPRS 模块工作正常、通信服务器端程序无跑飞现象、Web GIS 功能正常,机车轨迹跟踪正常、交互界面响应良好,系统具有一定的健壮性。

由于地图数据来自于 Google 服务器,所以系统需与互联网保持连接来获取空间数据信息。为保证地图操作时平滑的显示效果,要采用专线以上的连接方式来保证带宽需要。

4 结论

(1) 通过硬件封装 GPS 数据、GPRS 无线网络传输、采用 Google Maps API 接口,运用 ASP. NET Ajax 及 Web Service 技术实现了农机的远程精确定位、轨迹回放、数据库管理、长度与面积量算及性能优化等功能。农机管理人员通过访问系统,可以随时了解到下辖区农机相关统计及作业信息,合理管理、调度及调配资源,提高了农机现代化的管理手段。

(2) 硬件平台的数据编码技术方案实现了系统的扩展性,通过远程终端扩展接口,可实现其他方面的农业生产数据的获取、传输与存储。

(3) 将 ASP. NET Ajax 技术、Web Service 技术、Google Maps 技术有机结合,形成了一套完整的、高效的应用于农机轨迹监测的 Web GIS 平台。

参 考 文 献

- 杨青,张征,庞树杰,等.一种基于 GPS 和 GIS 农业装备田间位置的监控系统[J]. 农业工程学报,2004,20(4):84~87.
Yang Qing, Zhang Zheng, Pang Shujie, et al. Field vehicle position monitoring system based on GPS and GIS[J]. Transactions of the CSAE,2004,20(4):84~87. (in Chinese)
- 李志伟,潘剑君,张佳宝.基于 GPS 和 SMS 技术的土壤养分水分速测系统的研究[J]. 农业工程学报,2008,24(2):165~169.
Li Zhiwei, Pan Jianjun, Zhang Jiabao. Rapid measurement system of soil nutrient and moisture based on GPS and SMS technology[J]. Transactions of the CSAE,2008,24(2):165~169. (in Chinese)
- 李洪,姚光强,陈立平.基于 GPS、GPRS 和 GIS 的农机监控调度系统[J]. 农业工程学报,2008,24(2):119~122.
Li Hong, Yao Guangqiang, Chen Liping. Farm machinery monitoring and scheduling system based on GPS, GPRS and GIS [J]. Transactions of the CSAE,2008,24(2):119~122. (in Chinese)
- 刘峰,林浒,韩春燕.基于嵌入式 TCP/IP 的远程 GPRS 控制终端的设计与实现[J]. 小型微型计算机系统,2006,27(6):1 069~1 070.
Liu Feng, Lin Hu, Han Chunyan. Design and implementation of embedded TCP/IP-based long-range GPRS controls terminal station[J]. Journal of Chinese Computer Systems,2006,27(6):1 069~1 070. (in Chinese)

- 5 王晓亮,谭峰,曹洪军. 基于 GSM 的信息服务系统的通信模块设计与实现[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2009,21(6):74~75.
Wang Xiaoliang, Tan Feng, Cao Hongjun. Design and implementation of information service system's communication module based on GSM[J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2009, 21(6):74~75. (in Chinese)
- 6 李连营,李清泉. 基于 MapX 的 GIS 应用开发[M]. 武汉:武汉大学出版社,2003:4~7.
- 7 巫细波,胡伟平. Google Maps 运行机制以及应用研究[J]. 华南师范大学学报:自然科学版,2009(2):106~110.
Wu Xibo, Hu Weiping. Research of Google Maps' operation mechanism and application[J]. Journal of South China Normal University: Natural Science Edition, 2009(2):106~110. (in Chinese)
- 8 孙燎原,石川,张杨. 基于 GoogleMaps 的车辆跟踪态势显示系统研究与实现[C]//第十六届全国青年通信学术会议论文集(上). 北京:国防工业出版社,2011:50~52.
Sun Liaoyuan, Shi Chuan, Zhang Yang. Design and implementation of vehicle tracking system based on googleMaps[C]//Proceedings of the 16th NCYC. Beijing:National Defense Industry Press, 2011:50~52. (in Chinese)
- 9 张加龙,岳彩荣,马俊华. 基于 Google Maps 与 PDA 的在线跟踪系统的实现与应用[C]//Proceedings of 2010 International Conference on Broadcast Technology and Multimedia Communication,重庆,2010,2:311~314.
Zhang Jialong, Yue Cairong, Ma Junhua. Realization and application of online tracking system based on Google Maps and PDA [C]//Proceedings of 2010 International Conference on Broadcast Technology and Multimedia Communication, Chongqing, 2010, 2:311~314. (in Chinese)
- 10 何成万,万明. AJAX 在 Google Maps 中的应用[J]. 电脑知识与技术,2008,4(4):974~975.
He Chengwan, Wan Ming. The application and research on google maps based on AJAX[J]. Computer Knowledge and Technology, 2008, 4(4):974~975. (in Chinese)
- 11 李涛,张波,张晓鹏,等. 基于 Ajax 技术的 WebGIS 研究及实现[J]. 计算机工程与设计,2008,29(8):2 099~2 104.
Li Tao, Zhang Bo, Zhang Xiaopeng, et al. Study on WebGIS and its implementation based on Ajax technology[J]. Computer Engineering and Design, 2008, 29(8):2 099~2 104. (in Chinese)
- 12 赵娜. 基于 AJAX 技术的 WebGIS 系统应用研究与实现[D]. 上海:华东师范大学,2009.
Zhao Na. Research and implementation of WebGIS system application based on AJAX[D]. Shanghai: East China Normal University, 2009. (in Chinese)
- 13 栾绍鹏,朱长青. AJAX 在 WebGIS 中的应用研究[J]. 测绘科学,2007,32(5):158~160.
Luan Shaopeng, Zhu Changqing. Research on AJAX applications in WebGIS[J]. Science of Surveying and Mapping, 2007, 32(5):158~160. (in Chinese)
- 14 汪延彬,张献州. 基于 Google 地图服务的京沪高铁沉降信息管理系统[J]. 地理信息世界,2010(3):69~73.
Wang Yanbin, Zhang Xianzhou. Subsidence information management system of Beijing-Shanghai high-speed railway based on google Map Service[J]. Geomatics World, 2010(3):69~73. (in Chinese)
- 15 孙晓茹,赵军. Google Map API 在 WebGIS 中的应用[J]. 微计算机信息,2006,22(7):224~226.
Sun Xiaoru, Zhao Jun. Applying Google Maps API in Web GIS[J]. Microcomputer Information, 2006, 22(7):224~226. (in Chinese)
- 16 江宽,龚小鹏. Google API 开发详解:Google Maps 与 Google Earth 双剑合璧[M]. 北京:电子工业出版社,2008:77~87.

(上接第 230 页)

- 8 高雪. 奶牛精确饲喂控制系统的设计研究[D]. 北京:中国农业大学,2008.
Gao Xue. Study on an auto-control system of dairy cows precision-feeding[D]. Beijing: China Agricultural University, 2008. (in Chinese)
- 9 谭春林. 奶牛饲喂装置的设计研究[D]. 石河子:石河子大学,2007.
Tan Chunlin. Design and study of cow-feeding equipment[D]. Shihezi: Shihezi University, 2007. (in Chinese)
- 10 蒙贺伟,高振江,坎杂,等. 等径变螺距奶牛精确饲喂给料装置设计与试验[J]. 农业工程学报,2011,27(3):103~107.
Meng Hewei, Gao Zhenjiang, Kan Za. Design and experiment on dairy cow precision-feeding device based on equal-diameter and variable-pitch[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(3):103~107. (in Chinese)