

基于 Web - GIS 的多机协同作业远程监控平台设计

曹如月¹ 李世超¹ 魏爽² 季宇寒² 张漫¹ 李寒¹

(1. 中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 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)

摘要: 为了实现对多机协同导航作业的实时远程监控, 设计了基于 Web - GIS 的多机协同作业远程监控平台。该平台主要包括数据收发、数据存储、数据查询、数据显示和数据分析模块。其中, 数据收发模块采用 Socket 技术实时接收多机位置和航姿等作业信息, 并可以向车载终端发送远程控制命令。数据存储模块负责将接收到的作业信息存储到相应的 SQL Server 数据表中。数据查询模块用于多机作业历史信息的查询, 并以表格的形式将查询结果呈现在网页中。数据显示模块结合 Web - GIS 技术, 通过与百度地图服务器进行实时交互, 实现多机作业轨迹的可视化显示。数据分析模块实时分析处理多机位置和航姿信息, 对各农机进行决策分析和任务调度, 从而实现多机协同作业。试验结果表明: 平台具有良好的稳定性, 能够实时显示多机作业轨迹和作业信息, 并可以实现多机任务调度, 从而满足多机协同作业需求。

关键词: 多机协同; 远程监控; Web - GIS

中图分类号: S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)S0-0052-06

Remote Monitoring Platform for Multi-machine Cooperation Based on Web - GIS

CAO Ruyue¹ LI Shichao¹ WEI Shuang² JI Yuhan² ZHANG Man¹ LI Han¹

(1. Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Key Laboratory of Agricultural Information Acquisition Technology, Ministry of Agriculture, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to realize the real-time remote monitoring of multi-machine cooperative navigation operation, a Web - GIS based remote monitoring platform was designed and developed for cooperative operation of multi-machine. The platform mainly includes data transceiver, data storage, data query, data display and data analysis module. The data transceiver module adopts Socket technology, is used to receive real-time multi-machine position and attitude information and other operations, and also can send remote control commands to the vehicle terminal. The data storage module is responsible for storing the received job information into the corresponding SQL Server data table. The data query module is used to query the history information of multi-machine operation, and to present the query result in the web. The data display module combines Web - GIS technology, and can realize real-time visualization of multi-machine operation track through real-time interaction with Baidu map server. The data analysis module can analyze and process the location and attitude information of multi-machine in real time, and make decision analysis and task scheduling for each machine. The experimental results show that the platform has good stability, it can display multi-machine operation track and job information in real-time, and can realize multi machine task scheduling. Therefore, it can meet the demand of multi machine cooperative operation.

Key words: multi-machine cooperation; remote monitoring; Web - GIS

收稿日期: 2017-06-20 修回日期: 2017-11-19

基金项目: 北京市科技计划项目(D161100001416002)、国家重点研发计划项目(2017YFD0700400-2017YFD0700403)、国家国际科技合作专项(2015DFG12280)和国家自然科学基金项目(31571570)

作者简介: 曹如月(1992—),女,硕士生,主要从事计算机科学与技术农业中的应用研究,E-mail: 951132967@qq.com

通信作者: 张漫(1975—),女,教授,博士生导师,主要从事电子信息技术在农业中的应用研究,E-mail: cauzm@cau.edu.cn

引言

20 世纪 90 年代以来, 农机自动导航技术已日臻成熟^[1], 并取得了研究成果。NOGUCHI 等^[2-3]开发了基于机器视觉、RTK-GPS 和 GDS 传感器的自主导航系统。朱忠祥等^[4]开发了拖拉机队列自动控制系统, 田甜等^[5]设计了自动驾驶控制的软件系统。罗锡文等^[6]在东方红 X-804 型拖拉机上开发了基于 RTK-DGPS 的自动导航控制系统。

农业生产集约化、规模化、产业化是现代农业的发展趋势, 为提高田间作业效率、降低能源消耗, 多台同种或异种农机在田间联合作业的农机集群作业模式, 逐渐成为大规模农机应用的发展趋势^[7]。与独立自动导航系统相比, 多机协同导航系统更有利于实现农田规模化生产。目前, 多机协同导航技术的发展尚处于起步阶段。SHEARER 等^[8-9]针对机群定位技术和队形保持控制技术开展了研究, 为多机协同导航技术打下了基础。日本京都大学研发了自动跟随车辆系统, 跟随车辆可以自动以不变的相对位置跟随引导车辆行驶作业^[10]。日本北海道大学提出了协同导航的 2 种基本操作模式^[11], 一类被称为“GOTO”, 另一类被称为“FOLLOW”。国内学者白晓平等^[12]提出了一种采用视觉系统求解靶标投影矩形区域形心坐标, 并以此作为导引信息, 实现从机精确定位的方法。丁永前等^[13]设计了一套基于红外传感器的车辆自主跟随控制系统, 并提出相应的控制算法。

针对多机协同作业自动导航系统, 需要有一个远程的监控平台, 以便管理人员实时了解每台农机的作业位置和状态, 从而合理地进行远程管理和调度。目前, 国内外学者已经开发了一系列农机远程监控平台^[14-16], 但多是针对单一农机导航系统, 未考虑多机协同作业时不同车辆间的信息交互与协作。因此, 本研究拟开发基于 Web-GIS 的多机协同作业远程监控平台, 实现对多机协同作业信息的实时监测与作业远程任务调度。

1 系统设计

1.1 系统总体结构

本研究在福田雷沃 M904-D 型拖拉机上开展, 拖拉机上安装了基于方向盘控制的自动导航系统, 包括 GNSS 接收机、角度传感器、IMU (惯性测量单元), 车载终端、通讯模块等, 远程监控平台用于对农机实时作业信息的监测及调度, 系统总体结构示意图如图 1 所示。其中: 车载终端负责采集各个农机的位置和航姿等信息, 然后通过无线网络, 将采集

到的信息传送给远程监控平台。远程监控平台负责接收数据并存储到数据库中, 同时可以显示多机作业轨迹和状态信息、查询历史数据, 查看作业面积以及作业重叠遗漏等, 并且可以进行远程任务调度。

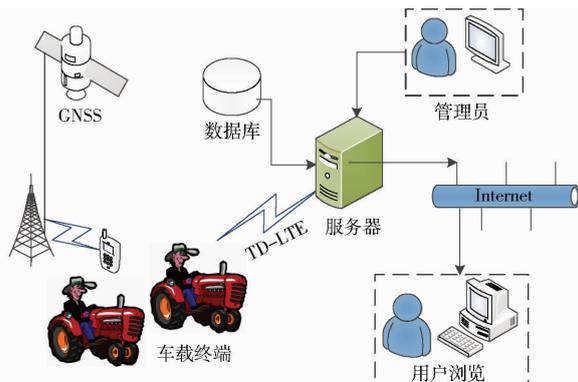


图 1 系统总体结构示意图

Fig. 1 System structure diagram

1.2 平台功能模块设计

多机协同作业远程监控平台主要包括用户信息管理、公告信息浏览、多机监控信息管理和平台管理维护, 平台功能模块如图 2 所示。其中, 多机监控信息管理模块是平台的核心, 负责对多机协同作业信息进行实时监控, 分为数据收发、数据存储、数据查询、数据显示和数据分析。

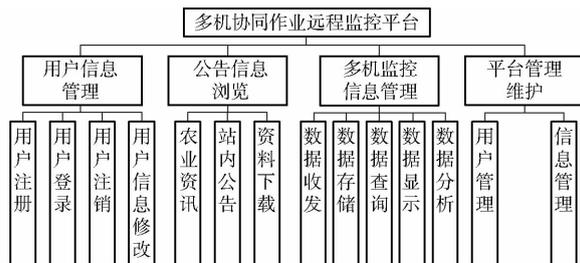


图 2 平台功能模块图

Fig. 2 Platform function block diagram

1.2.1 数据收发

车载终端按照设定时间间隔汇集各农机安装的传感器所采集的数据, 并主动向服务器发起连接请求, 服务器在确认车载终端的连接请求后, 开始接收数据; 远程服务器通过向车载终端发送控制命令, 以实现多机协同作业的任务调度。

1.2.2 数据存储

根据数据类型和数据采集时间建立数据库, 将数据接收模块接收的数据存储到数据库对应表格的对应属性字段中。在数据查询和显示时, 根据所选择的参数读取数据库表格中的数据。

1.2.3 数据查询

数据上传到服务器后存储到数据库中, 用户在浏览网页的时候可以根据时间、作业地点和农机编号等查询相应历史数据, 平台调用后台数据库中的

数据呈现在网页中。

1.2.4 数据显示

数据显示包括多机位置显示和作业状态显示,功能模块图如图3所示。系统平台调取数据库中的数据并显示到平台界面中,数据显示形式包括表格显示和地图显示。用户可以实时查看数据,并根据监测数据做出相应的管理决策。

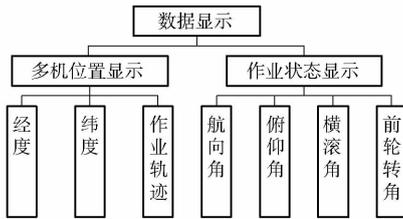


Fig.3 Data display function module diagram

1.2.5 数据分析

数据分析包括农田总面积、已完成面积、作业重叠遗漏率等信息的计算,以及多机任务调度,功能模块图如图4所示。农田总面积通过GNSS采集的农田边界点进行计算;实时作业面积通过农机行走的路程和作业幅宽计算;作业重叠遗漏面积通过最终生成的作业路径图形计算;采用MURDOCH方法^[17]进行任务分配以实现多机任务调度。

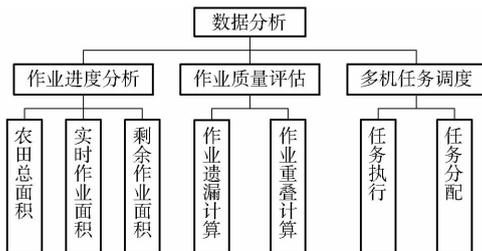


Fig.4 Data analysis function module diagram

(1) 作业面积计算

作业面积计算分两种:农田总面积和实时作业面积。农田总面积采用航迹法计算。该算法计算精度高,适用于不同形状的面积测量^[18]。假设有 n 个点 (X_1, Y_1) 、 (X_2, Y_2) 、 \dots 、 (X_{n+1}, Y_{n+1}) ,其中 $X_{n+1} = X_1, Y_{n+1} = Y_1$ 。组成多边形的点按逆时针排列,则该多边形的面积 S 为

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (X_{i+1} + X_i)(Y_{i+1} - Y_i) \quad (1)$$

在实时作业面积测量过程中,通过GNSS接收机测得农机每秒前进距离,剔除在农田边界外的区域以及其他不合理的GNSS数据,并根据农机的有效作业宽度,实时统计已完成的作业面积。

(2) 作业重叠遗漏率计算

该平台采用像素点面积计算方法^[19],采用不同

颜色实时绘制农田总区域、实时作业区域等;通过像素点的颜色返回值计算农田总面积、作业面积、遗漏区域面积以及重复区域面积,从而计算作业重叠率和作业遗漏率。

(3) 任务调度

任务分配^[20-21]采用MURDOCH方法,MURDOCH是一个基于拍卖的任务分配系统。该系统采用具有原则性、以资源为中心、发布/订阅(Publish/Subscribe)的通信模型来实现任务的动态分配。MURDOCH系统的拍卖协议分为任务发布、度量评估、投标提交、拍卖结束以及进度监测/合同续约5个步骤。

MURDOCH是分布式协商机制(Distributed negotiation mechanisms)在多机器人系统合作领域的成功应用。该系统能够很好地适应环境变化,不论是一个机器人突然失灵还是随机添加新的任务它都能处理;进度监测环节为合同设定了时间限制,增加了系统的容错能力。

多机协同作业包括命令型和跟随型两种工作模式,对于命令型工作模式,主机向从机发送命令信息,从机根据主机发送的目标位置信息和当前位置及航向进行路径规划;对于跟随型工作模式,主机与从机间保持一定的距离和速度,从机跟随主机进行作业。在多机协同作业过程中,根据不同作业需求选择工作模式,遵循相应的工作模式完成作业。

2 系统各模块的开发与功能实现

2.1 平台开发关键技术

该平台采用微软的C#语言和ASP.NET技术进行开发,开发环境为Microsoft Visual Studio 2010,操作系统为Microsoft Windows 7,数据库为SQL Server 2008。服务器操作系统采用Microsoft Windows Server 2003,网页发布采用IIS技术,并且选用B/S分布式网络体系结构。网页平台还用到以下几个关键技术:

(1) Socket

Socket也叫“套接字”,可以通过它发出网络请求和应答网络请求,从而实现服务程序与客户程序之间的稳健通信,它的连接过程可以分为3个步骤:服务器端监听,客户端请求和连接确认。

利用Socket网络通讯编程技术可以实现车载终端和远程监控平台之间的网络通信,从而进行多机作业信息的数据交互。

(2) Web-GIS

Web-GIS是利用Internet技术来扩展和完善

GIS 的一项技术。Web-GIS 可采用多主机、多数据库进行分布式部署,通过 Internet/Intranet 实现互联,是一种浏览器/服务器(B/S)结构,服务器端向客户端提供信息和服务,浏览器(客户端)具有获得各种空间信息和应用的功能。

该平台将百度地图 API 与 Web-GIS 结合,把百度地图嵌入到网页中,结合自己的需求,进行 Web-GIS 平台的开发,可以方便地进行地图发布,数据的分析和应用。

(3) AJAX

AJAX 是一种创建交互式网页应用的网页开发技术。传统的网页(不使用 AJAX)如果需要更新内容,必须重载整个网页页面。利用 AJAX 技术可以使网页实现异步更新,通过与后台数据库进行交互,在不重新加载整个网页的情况下,实现网页端局部区域刷新,从而增强远程监控平台的实时性。

2.2 平台模块开发与功能实现

2.2.1 数据收发与存储

数据收发部分采用 C#语言和 Socket 网络通信编程技术以及 ADO.NET 数据库操作技术,实现多机协同作业信息的接收和控制命令的发送。在多机协同作业过程中,存在多个农机同时上传数据以及同时向多个农机发送控制命令,即并发访问的情况,因此采用多线程技术,加快程序的执行速度。

服务器端需定时向车载终端发送接收数据命令,车载终端接到命令后向服务器端发送采集到的多机作业信息。服务器端接收到数据信息后,将其存入相应的数据库中。服务器端定时器处理程序的流程和数据接收存储模块的执行流程分别如图 5 和图 6 所示。

多机作业监测信息存储在数据库中的 GNSS 表中,数据库表中包括作业时间、农机编号、经度、纬度、高程、航向角、俯仰角、横滚角和前轮转角等信息。

2.2.2 数据显示与查询

(1) 数据显示

数据显示部分借助百度地图 API 实现,包括多机作业轨迹显示和多机作业状态显示。多机作业轨迹通过百度地图服务器读取数据库中的位置信息实时生成并显示在地图上;多机作业状态通过添加标注并弹出信息窗口实时显示,显示界面如图 7、8 所示。

(2) 数据查询

用户可以在浏览器上实时查看多机作业轨迹以及作业位置信息,还可以查看多机作业情况、查询历

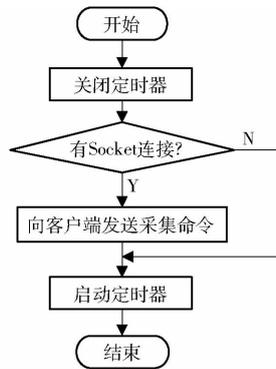


图 5 定时器处理流程图

Fig. 5 Timer flowchart

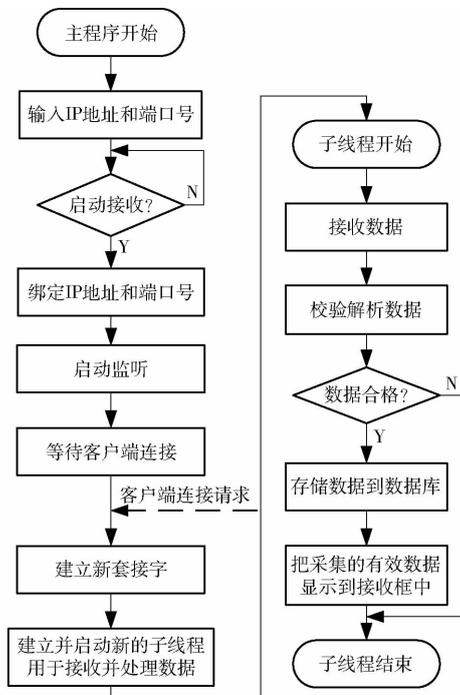


图 6 数据接收模块流程图

Fig. 6 Data receiving module flow chart



图 7 农机作业轨迹显示界面

Fig. 7 Operation track display interface of agricultural machinery

史数据等。为了实现多机作业历史信息的查询,采用 GridView 控件进行数据列表显示。用户可以在平台中的多机监测信息管理模块中查询历史数据,通过选择作业地点、农机编号、起始和结束时间,从



图8 农机协同作业状态显示界面

Fig. 8 Cooperative working state display interface of agricultural machinery

而查询到相应的农机作业信息。同时,根据信息获取情况,可以进行翻页、跳转,也可以把所需信息导出到 Excel 表格中,以供用户进一步分析处理。数据查询流程如图9所示。

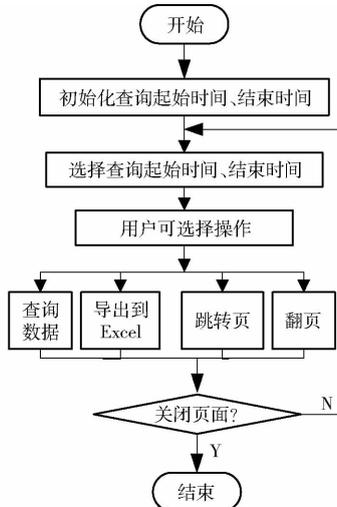


图9 数据查询流程图

Fig. 9 Data query flow chart

2.2.3 数据分析

(1) 作业完成情况计算

服务器根据车载终端上传的各农机状态信息,进行农田总面积、已完成面积、作业重叠遗漏率等信息的计算,并将计算结果显示在网页中,用户可以查看相关信息,从而实时了解作业完成情况。系统流程如图10所示。

(2) 任务调度

远程监控平台根据各农机作业信息以及作业需求进行决策分析,通过无线网络向车载终端发送控制命令,进行任务分配,服务器根据车载终端上传的各农机位置信息监控命令执行情况,从而实现多机协同作业的远程任务调度,任务调度流程图如图11所示。

根据1.2.5节介绍的MURDOCH分配方法,任务调度整体思路如下:①远程服务器作为任务的发

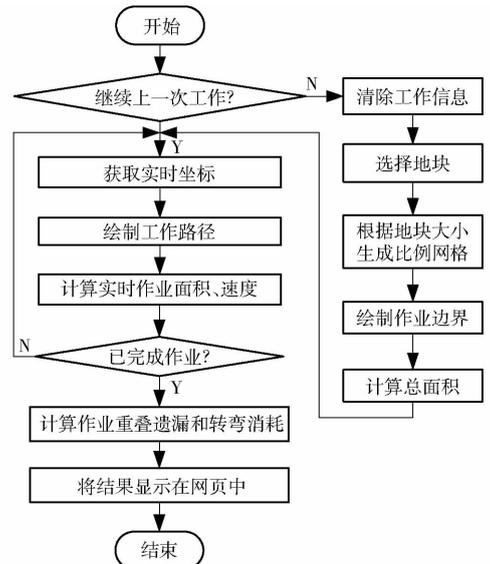


图10 实时工作流程图

Fig. 10 Flow chart of real-time operation

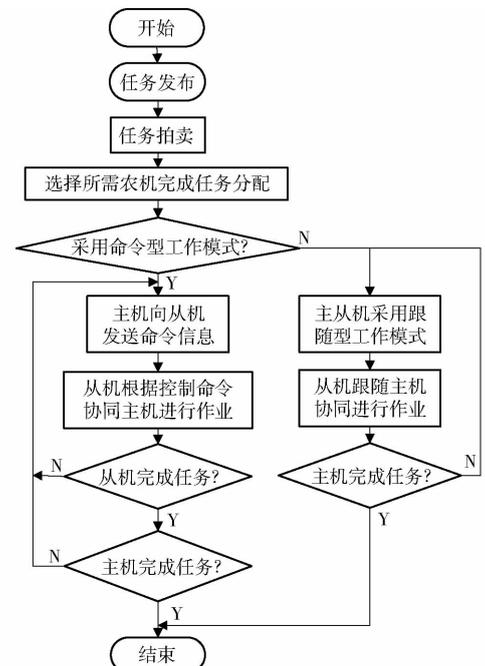


图11 任务调度流程图

Fig. 11 Task scheduling flow chart

布者,向所有的农机发布作业任务,公布作业位置和工作量等资源信息。②接受到任务消息的农机,将自身状态信息和所处位置反馈给服务器。③在规定时间内,服务器将搜集到的所有农机的信息进行汇合,按照选择的农机所处的位置,将作业任务进行拍卖分配。④确定好作业农机(该农机定义为主机)之后,根据作业需求选择工作模式,若选择命令型工作模式,则由主机向从机发送控制命令,主从机协同完成作业;若选择跟随型工作模式,主机与从机间保持一定的距离和速度,从机跟随主机进行作业。⑤进度监测:在农机执行任务同时,服务器将一直监测任务的进度。在跟随型工作模式中,只需判断主

机是否完成作业,便可确定整体作业完成情况;在命令型工作模式中,鉴于主机需要通过发送命令信息控制从机作业,因此应该优先判断从机是否完成作业,然后再判断主机是否完成作业,以确定整体作业完成情况。

3 结论

(1) 基于 Web-GIS 开发了多机协同作业远程

监控平台,该平台可以实时显示农机作业轨迹和作业状态等信息,用户可以查看农机作业完成情况,查询历史数据。

(2) 面积测量模块采用像素点计算方法,简化了作业重叠率、遗漏率计算的复杂程度,有利于提高多机协同作业的效率和质量。

(3) 任务调度模块可综合考虑协同作业农机的实时信息,合理进行任务分配。

参 考 文 献

- 1 姬长英,周俊. 农业机械导航技术发展分析[J/OL]. 农业机械学报,2014,45(9):44-54. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20140908. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.09.008.
- 2 JI Changying, ZHOU Jun. Current situation of navigation technologies for agricultural machinery [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(9):44-54. (in Chinese)
- 3 NOGUCHI N, REID J F, WILL J, et al. Vehicle automation system based on multi-sensor integration[C]//Annual International ASAE Meeting, MI, 1998.
- 4 贾全. 拖拉机自动导航系统关键技术研究[D]. 北京:中国农业机械化科学研究院,2013.
- 5 朱忠祥,宋正河,谢斌,等. 拖拉机队列自动控制系统的[J]. 农业机械学报,2009,40(8):149-154.
- 6 ZHU Zhongxiang, SONG Zhenghe, XIE Bin, et al. Control system of tractors platooning [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2009,40(8):149-154. (in Chinese)
- 7 田甜,吕安涛,毛恩荣. 拖拉机自动驾驶控制系统软件系统的研究[C]//中国农业工程学会学术年会,2005.
- 8 罗锡文,张智刚,赵祚喜,等. 东方红 X-804 拖拉机的 DGPS 自动导航控制系统[J]. 农业工程学报,2009,25(11):139-145.
- 9 LUO Xiwen, ZHANG Zhigang, ZHAO Zuoxi, et al. Design of DGPS navigation control system for Dongfanghong X-804 [J]. Transactions of the CSAE,2009,25(11):139-145. (in Chinese)
- 10 胡静涛,高雷,白晓平,等. 农业机械自动导航技术研究进展[J/OL]. 农业工程学报,2015,31(10):1-10. http://www.tcsae.org/nygxcb/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20151001&flag=1. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2015.10.001.
- 11 HU Jingtao, GAO Lei, BAI Xiaoping, et al. Review of research on automatic guidance of agricultural vehicles [J/OL]. Transactions of the CSAE, 2015,31(10):1-10. (in Chinese)
- 12 SHEARER S A, PITLA S K, LUCK J D. Trends in the automation of agricultural field machinery [C]//Proc. of the 21st Annual Meeting of the Club of Bologna. Italy,2010.
- 13 JOHNSON D A, NAFFIN D J, PUHALLA J S, et al. Development and implementation of a team of robotic tractors for autonomous peat moss harvesting [J]. Journal of Field Robotics,2009,26(6-7):549-571.
- 14 LIDA M, KUDOU M, UMEDA M. Automatic following control for agricultural vehicle [R]. Laboratory of Farm Machinery Graduate School of Agriculture, Kyoto University,2000:158-162.
- 15 NOBORU NOGUCHI, JEFF W, JOHN R. Development of a master-slave robot system for farm operations [J]. Computer and Electronics in Agriculture, 2004,44(3):1-19.
- 16 白晓平,胡静涛,王卓. 基于视觉伺服的联合收割机群协同导航从机定位方法[J]. 农业工程学报,2016,32(24):59-68. http://www.tcsae.org/nygxcb/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20162408&flag=1. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.24.008.
- 17 BAI Xiaoping, HU Jingtao, WANG Zhuo. Slave positioning method for cooperative navigation of combine harvester group based on visual servo [J]. Transactions of the CSAE, 2016,32(24):59-68. (in Chinese)
- 18 丁永前,王致情,林相泽,等. 自主跟随车辆航向控制系统[J/OL]. 农业机械学报,2015,46(1):7-13. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150102. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.01.002.
- 19 DING Yongqian, WANG Zhiqing, LIN Xiangze, et al. Heading control system of autonomous following vehicle [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2015,46(1):7-13. (in Chinese)
- 20 隋铭明,沈飞,徐爱国,等. 基于北斗卫星导航的秸秆机械化还田作业管理系统[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(1):23-28. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160104. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.01.004.
- 21 SUI Mingming, SHEN Fei, XU Aiguo, et al. Management system for mechanized straw returning based on BDS [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2016,47(1):23-28. (in Chinese)
- 22 刘阳春,苑严伟,张俊宁,等. 深松作业远程管理系统设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(增刊):43-48. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2016s007. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.S0.007.
- 23 LIU Yangchun, YUAN Yanwei, ZHANG Juning, et al. Design and experiment of remote management system for subsoiler [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2016,47(Supp.):43-48. (in Chinese)

- laboratory spray application[J]. *Journal of ASTM International*, 2011, 8(3): 1-9.
- 14 FOX R D, DERKSEN R C, COOPER J A, et al. Visual and image system measurement of spray deposits using water sensitive paper[J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 2003, 19(5): 549-552.
- 15 张瑞瑞,陈立平,兰玉彬,等.航空施药中雾滴沉积传感器系统设计与实验[J/OL].*农业机械学报*,2014,45(8):123-127. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20140820&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.08.020.
- ZHANG Ruirui, CHEN Liping, LAN Yubin, et al. Development of a deposit sensing system for aerial spraying application[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45(8): 123-127. (in Chinese)
- 16 HUANG Y, HOFFMANN W C, LAN Y, et al. Development of a spray system for an unmanned aerial vehicle platform[J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 2008, 25(6): 803-809.
- 17 徐德进,顾中言,徐广春,等.喷雾器及施液量对水稻冠层农药雾滴沉积特性的影响[J].*中国农业科学*,2013,46(20):4284-4292.
- XU Dejin, GU Zhongyan, XU Guangchun, et al. Influence of sprayer and application rate on pesticide deposit character on rice canopy[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(20): 4284-4292. (in Chinese)
- 18 王波,宋坚利,曾爱军,等.水稻叶片上露水对农药沉积量的影响[J].*中国农业大学学报*,2012,17(3):94-100.
- WANG Bo, SONG Jianli, ZENG Aijun, et al. Influence of dew on pesticide droplet deposition on rice leaves[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2012, 17(3): 94-100. (in Chinese)
- 19 LAN Y, HOFFMANN W C, FRITZ B K, et al. Spray drift mitigation with spray mix adjuvants[J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 2008, 24(1): 5-10.
- 20 张海星,茹煜.自走式旋翼气流静电喷杆喷雾机喷雾性能测试[J].*农机化研究*,2017,39(7):164-168.
- ZHANG Haixing, RU Yu. Performance test of a self-propelled with rotary wing air-flow assisted electrostatic spray boom sprayer[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2017, 39(7): 164-168. (in Chinese)
- 21 胡碧滢,罗嘉玲.一种基于旋翼无人机飞行的测量方法[J].*电子技术与软件工程*,2016(12):104-105.
- HU Biying, LUO Jialing. A method of flight measurement based on rotorcraft UAVs[J]. *Electronic Technology and Software Engineering*, 2016(12): 104-105. (in Chinese)
- 22 姬江涛,扈菲菲,贺智涛,等.四旋翼无人机在农田信息获取中的应用[J].*农机化研究*,2013,35(2):1-4.
- Ji Jiangtao, HU Feifei, HE Zhitao, et al. The application of quad-rotor UAV in farmland information acquisition[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2013, 35(2): 1-4. (in Chinese)
- 23 杜文,曹英丽,许童羽,等.无人机喷雾参数对水稻冠层沉积量的影响及评估[J].*农机化研究*,2017,39(4):182-186.
- DU Wen, CAO Yingli, XU Tongyu, et al. Effect and assessment of UAV spraying parameters at japonica rice canopies[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2017, 39(4): 182-186. (in Chinese)
- 24 ZHU H P, MASOUD S, ROBERT D, et al. Portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011, 76(1): 38-43.
- 25 薛新宇,兰玉彬.美国农业航空技术现状和发展趋势分析[J/OL].*农业机械学报*,2013,44(5):194-201. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20130534&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.05.034.
- XUE Xinyu, LAN Yubin. Agricultural aviation applications in USA[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(5): 194-201. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 57 页)

- 16 王慧平.基于 Web-GIS 的农机远程监管服务系统的设计与实现[D].北京:首都师范大学,2014.
- 17 THRUN S, BURGARD W, FOX D. A probabilistic approach to concurrent mapping and localization for mobile robots[J]. *Machine Learning and Autonomous Robots (Joint Issue)*, 1998, 31(3): 29-53.
- 18 王陈陈,马明建,马娜,等.基于 GPS 的土地面积测量算法[J].*山东理工大学学报:自然科学版*, 2013, 27(4): 64-68.
- WANG Chenchen, MA Mingjian, MA Na, et al. Research of area measurement algorithm based on GPS[J]. *Journal of Shandong University of Technology: Nature Science Edition*, 2013, 27(4): 64-68. (in Chinese)
- 19 XIANG M, WEI S, ZHANG M, et al. Real-time monitoring system of agricultural machinery operation information based on ARM11 and GNSS[J]. *IFAC PapersOnLine*, 2016, 49(16): 121-126.
- 20 张家飞.机器人群体协同任务规划与协调碰撞[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2010.
- 21 耿海霞,陈启军,王月娟.基于 web 的远程控制机器人研究[J].*机器人*,2002,24(4):375-379.
- GENG Haixia, CHEN Qijun, WANG Yuejuan. Research on web-based telerobot[J]. *ROBOT*, 2002, 24(4): 375-379. (in Chinese)