

基于 PLC 的联合收获机作业流程故障诊断方法研究*

陈进¹ 吕世杰¹ 李耀明² 郑世宇¹

(1. 江苏大学机械工程学院, 镇江 212013; 2. 江苏大学现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室, 镇江 212013)

【摘要】 以切纵流联合收获机为研究对象, 针对联合收获机故障率较高、作业故障不易察觉等问题, 设计了作业流程故障诊断报警系统。系统以 PLC 和显示屏为控制终端, 通过 PLC 采集联合收获机作业流程中的割台螺旋输送机、输送槽、切流滚筒、纵流滚筒、输粮螺旋输送机、损失量等信号进行作业流程故障诊断处理, 提出了基于目标信号瞬时变化趋势的故障诊断方法, 试验表明, 设计的作业流程故障诊断报警系统可以实现对联合收获机作业流程中的故障诊断和报警, 提高了收获机的作业质量和工作效率。

关键词: 联合收获机 作业流程 故障诊断 报警 PLC

中图分类号: S225.31 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)S0-0112-05

Fault Diagnosis of Combine Harvester Based on PLC

Chen Jin¹ Lü Shijie¹ Li Yaoming² Zheng Shiyu¹

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China 2. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education & Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract

Aiming at the problem of high fault rate and unperceivable working fault, a fault diagnosis alarm system for the combine harvester was introduced. PLC and display were the control terminals in the system. The PLC collected the signals in the operation process such as feed-in screw conveyor, conveying channel, threshing cylinder, transporting auger, cleaning loss and attachment loss, then calculated and treated in the manner of fault diagnosis subroutine based on the trend of the signals. The test showed that the fault diagnosis method could realize the early warning for the combine and improve the working quality and efficiency of combine harvester.

Key words Combine harvester, Operation process, Fault diagnosis, Alarm, PLC

引言

联合收获机工作环境复杂、多变, 负荷大且作业时间连续性强, 作业故障率较高^[1]。目前, 联合收获机在使用中主要靠操作者观察机器工作的情况, 为了解决这方面的问题, 国内外相关单位开展了一系列研究^[2~4]。上述研究检测对象少, 而联合收获机结构复杂, 作业过程中故障点比较多。从作业流程上看, 有割台、输送槽、脱粒滚筒、输粮螺旋输送器等故障, 因此系统需要对作业流程中易出故障的这

些点进行监测, 作为故障诊断的依据。另外, 收获机的工作环境恶劣, 机体振动较大, 作业时间连续性强, 控制器的工作可靠性必须得到保证。PLC 具有安装方便、可适应恶劣复杂的工作环境、抗干扰能力强等特点, 已广泛应用于各种工程机械^[5]。本文以 PLC 为信号采集处理单元, 对割台螺旋输送机转速、输送槽转速、切流滚筒转速、纵流滚筒转速、损失率、行驶速度等信号进行采集^[6~9], 提出基于目标信号瞬时变化趋势的故障诊断方法, 实现对联合收获机的作业流程故障诊断与报警, 以降低故障率, 提高收

收稿日期: 2011-07-30 修回日期: 2011-08-26

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2010AA101402)、江苏高校优势学科建设工程资助项目(苏财教(2011)8 号)和江苏省农业装备与智能化高技术研究重点实验室资助项目(BM2009702)

作者简介: 陈进, 教授, 博士生导师, 主要从事现代农业装备监测与控制技术研究, E-mail: chenjinjd126@126.com

通讯作者: 李耀明, 教授, 博士生导师, 主要从事农业装备关键技术的基础理论及产品开发研究, E-mail: ymli@ujs.edu.cn

获机的作业质量和工作效率。

1 作业流程故障诊断系统的组成

1.1 系统的组成及工作原理

以雷沃谷神切纵流联合收获机为研究对象,以 2023 PLC 和嵌入 ARM 系统的高清显示器为控制终端,组成联合收获机的故障诊断系统,系统的硬件结构如图 1 所示,系统主要由 PLC、显示器、传感器模块、电源和复位模块等组成。

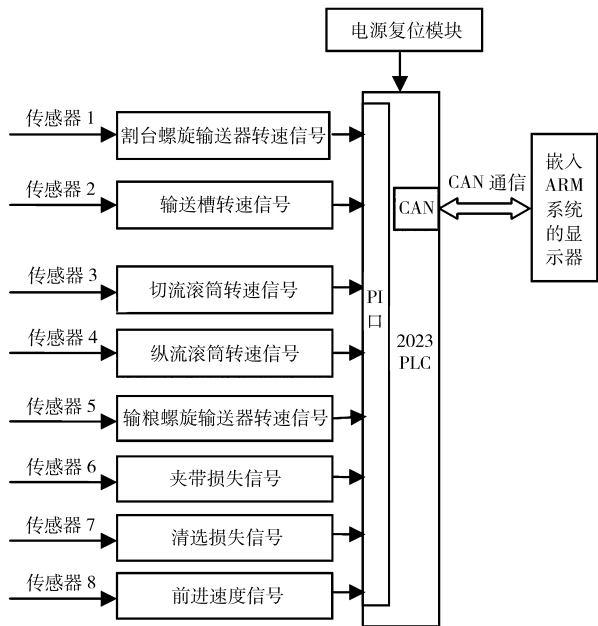


图 1 系统的硬件组成
Fig.1 Hardware components of system

系统上电经过初始化后,PLC 采集传感器模块的信号,并接收显示器设定的额定工作信号值,经过作业流程故障诊断软件的处理,判断当前收获机的工作状态是否正常,决定是否启动报警,并将数据传到显示器。系统的故障诊断状态分为正常、预警和报警 3 种状态。当其中一种状态为点亮时,其余两种状态显示为灰色。当前状态为非正常状态时,显示器将伴有蜂鸣音,以提示驾驶员适当减速作业。报警状态可以通过显示界面的取消报警按钮消除报警状态。

1.2 传感器模块

联合收获机结构复杂,割台部分和脱粒部分最容易出现故障。当喂入量过大,作物潮湿等,容易引起作物或谷粒流动性差,致使割台螺旋输送机、输送槽、脱粒滚筒、输粮螺旋输送器等堵塞,还可能引起谷物损失率过高。本系统对上述信号进行实时采集,作为作业流程中故障诊断的依据,用故障诊断方法对其进行信号处理,根据处理结果进行故障报警。同时也对前进速度进行采集显示,为操作者提供参

考。割台螺旋输送机、输送槽、滚筒等转速信号的采集通过霍尔传感器实现^[10-12],损失量信号的采集是由敏感元件和压电晶体矢量传感器阵列组成传感器来获取^[13]。

1.3 PLC 和显示器

本系统的控制器采用 EPEC2023 PLC,其具有 52 个 I/O 多功能端子 (DI、DO、PWM、AI、PI、FI、FB),可由软件设定各自功能。设备坚固、小巧、防水、抗震、抗强电磁干扰。并且支持 CANopen 和 CAN2.0 总线协议,有两路 CAN 通信端子,可以实现与显示器的通信。显示器采用 10.4 英寸高亮度 TFT 显示屏,带有蜂鸣器,在强光下仍然具有很好的视觉效果,可以清晰显示工作时各参数的具体数据,为操作者提供实时参考。显示器自带 ARM 操作系统,可以通过 CAN 总线实现与 PLC 控制器的数据传输。

2 作业流程故障诊断方法

目前联合收获机故障报警方法主要有转速诊断法和扭矩诊断法。转速诊断法是当联合收获机的滚筒或螺旋输送机转速超出额定范围时,发出报警信号,这种方法有一定的局限性,无法考虑到收获机在达到报警值前的工作状态,易产生虚警。采用扭矩诊断法时,扭矩传感器布置难度大,一般需要在联合收获机转动轴上专门预留空间,安装困难,且成本较高。文献[4]针对滚筒与螺旋输送机堵塞问题综合考虑了相对速比、滑差率和差分累积和作为报警依据。由于滚筒堵塞时可能出现打滑情况,所以引入滑差率这一特征量,可是出现胶带打滑时,有时已经产生堵塞了,而且滚筒转速在工作过程中会产生波动,这给相对速比稳定值的选取造成一定困难,此方法没有突出趋势变化法在诊断系统里的作用。转速信号处于下降趋势中才会产生预报警情况,下降趋势有快速与慢速之分,本文从降低虚警率和简化算法提高响应速度出发,结合差分公式理论,提出由超出额定范围报警法和目标信号趋势变化法相结合的基于目标信号瞬时变化趋势的故障诊断方法。

根据差分公式理论中的一阶差分可以得到各种数据的变化情况,二阶差分可以反应出数据信号的瞬时变化趋势。将差分理论运用到本系统中,为故障诊断提供依据。

$$\Delta D_{R_{ij}} = R_{i(j+1)} - R_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, 7; j = 1, 2, \dots, n - 1) \quad (1)$$

式中 R_{ij} ——各传感器信号瞬时采样值
 ΔD ——各信号瞬时值的一价差分

i 值为 1 到 7, 分别代表割台螺旋输送机、输送槽、切流滚筒、纵流滚筒、输粮螺旋输送机、夹带损失和清选损失。 j 为各传感器信号采样序列。

$$\Delta^2 D_{R_{ij}} = \Delta D_{R_{i(j+1)}} - \Delta D_{R_{ij}} \quad (i=1, 2, \dots, 7; j=1, 2, \dots, n-1) \quad (2)$$

式中 $\Delta^2 D$ ——各信号瞬时值的二价差分

本系统中, 当系统检测到的实时转速信号值低于额定值 10%, 或损失率超过 0.5% 时系统判定为预警状态; 当转速信号低于额定值 20%, 或损失率超过 1% 时系统判定报警状态。此方法结合趋势变化法, 可以更为有效地为作业流程做出正确的诊断。

通过式(1), 可以反映出工作信号是处于上升、不变或下降的某种状态, 而不论是上升还是下降都有快速变化和慢速变化的情况, 式(2)可以有效反映出当前信号是快速变化还是慢速变化。系统依次记录各差分值, 当连续 4 次记录转速信号的 ΔD 出现负值且其绝对值相加超过其额定转速 5% 时, 系统则判定该信号出现预警状态, 当其绝对值相加超过其额定转速 10% 时, 系统则判定该信号出现报警状态; 若 ΔD 为负且连续 3 次记录的 $\Delta^2 D$ 值逐渐变小, 说明该部件转速处于下降趋势中, 但下降有所减缓, 系统则判定该信号出现预警状态; 若 ΔD 为负且连续 3 次记录的 $\Delta^2 D$ 值逐渐变大, 说明该部件堵塞有加速趋势, 系统判定为该信号出现报警状态。同理当损失信号连续 4 次记录的 ΔD 出现正值时, 系统则判定该信号出现预警状态; 若 ΔD 为正且连续 3 次记录的 $\Delta^2 D$ 值逐渐变小, 说明虽然损失处于增加状态, 但增加有所减缓, 系统则判定该信号出现预警状态; 若 ΔD 为正且连续 3 次记录的 $\Delta^2 D$ 值逐渐变大, 说明损失快速增加, 系统判定为该信号是报警状态。各信号的判定可同时进行, 相互之间没有干扰, 且各信号的测量值可同时显示在显示器上。

3 故障诊断系统的软件设计

3.1 控制器部分的软件设计

显示器与控制器通过 CAN 总线连接, 以保证数据能够准确及时地互相传递。控制系统工作流程如图 2 所示。控制器上电并经过初始化后, PLC 开始采集传感器信号, 经过 PLC 内部的滤波模块处理去除现场的高频干扰噪声信号, 然后 PLC 对采集到的信号进行计算处理, 得出各路转速与损失量的大小。控制器在采集信号的同时接收显示器传入的各工作参数的额定值作为系统报警的参考值。最后再经过 PLC 的作业流程故障诊断子程序(图 3)判断是否进行预警与报警, 同样将判断结果通过 CAN 总线传递

给显示器, 以决定是否启动蜂鸣器报警。

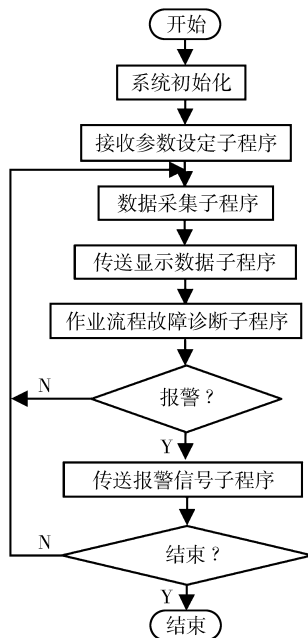


图 2 控制系统主程序流程图

Fig. 2 Main program flow diagram of control system

3.2 显示器部分的软件设计

显示器上电后, 经过数据初始化后, 点击实时工况显示界面(图 4)的参数设置按钮出现参数输入界面, 如图 5 所示。输入正常工作时的额定参数后, 点击确定按钮返回实时工况显示界面, 并且显示器将输入的额定工作参数通过 CAN 总线传递给控制器 PLC。同时显示器接收 PLC 采集的各种信号并通过显示界面显示出来, 为操作者提供操作依据。显示器可循环接收控制器报警判断结果, 决定是否启动显示器自带的蜂鸣器进行报警, 其工作流程如图 6 所示。

4 作业流程故障诊断系统的试验

系统搭建完成后, 在实验室进行了初步试验。用信号发生器模拟转速信号, 通过改变信号发生器的频率来验证系统是否可以正确预警与报警, 并通过反复试验对本系统进行逐步完善。

在系统功能得到实现后, 将作业流程故障诊断系统用于雷沃谷神牌切纵流联合收获机上, 于 2011 年 6 月 3~4 日, 在江苏省镇江丹阳市练湖农场, 以镇麦 168 为收获对象, 进行了小麦田间收获试验。如图 7 所示, 操作者控制联合收获机以 0.9 m/s 的前进速度行驶收获小麦, 由于收获的小麦种植密度突然变大, 切流滚筒与纵流滚筒转速有所下降, 还没下降到预警极限值, 但由于其下降中连续 4 次的 ΔD 为负, 且纵流滚筒转速连续 4 次 ΔD 绝对值和达到额定转速 5%, 满足预警要求, 切流滚筒转速连续

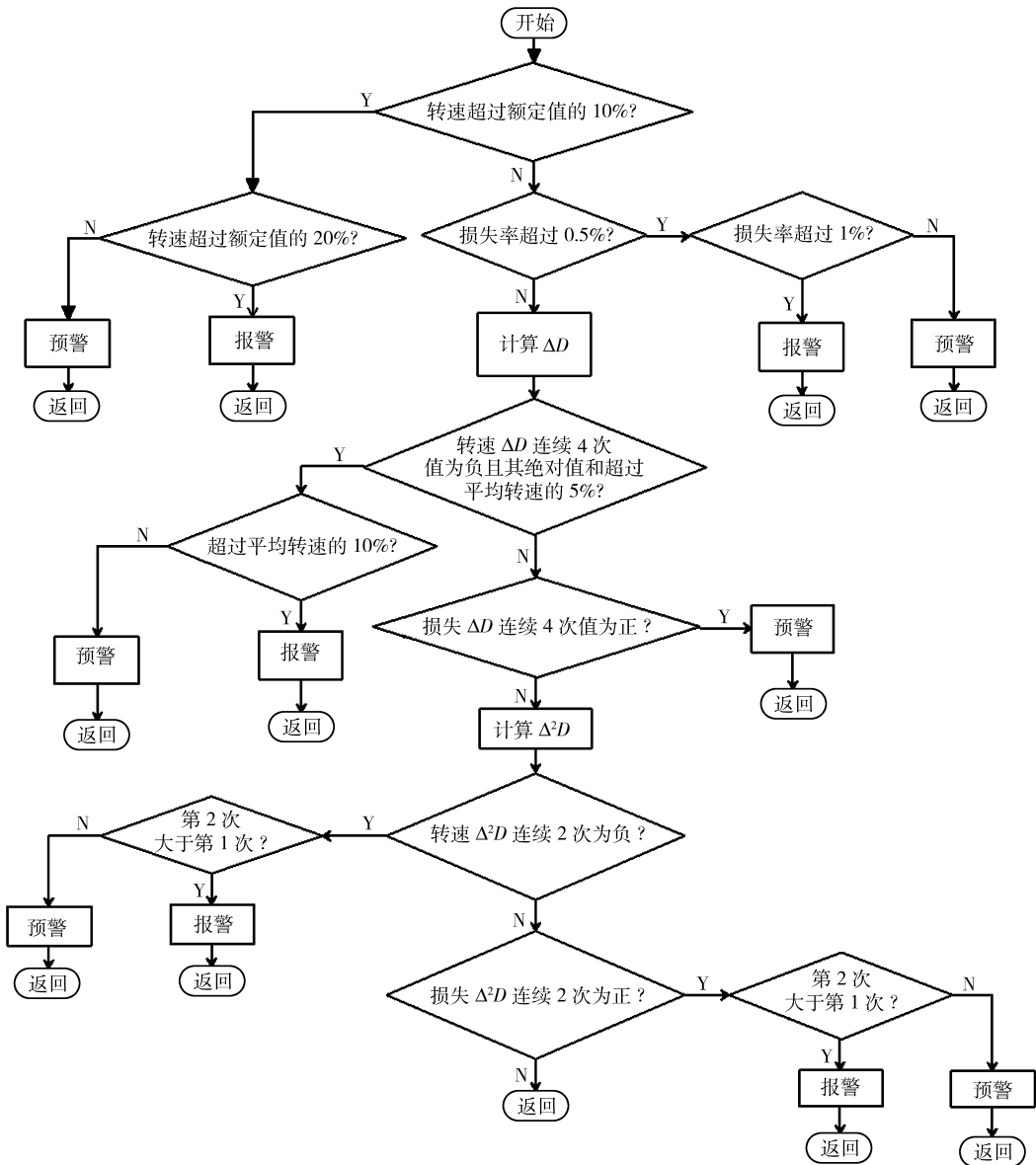


图 3 作业流程故障诊断子程序流程图
Fig. 3 Flow diagram of fault diagnosis



图 4 实时工况显示界面

Fig. 4 Real-time condition OSD interface

4 次 ΔD 绝对值和未达到额定转速的 5% ,不满足预警要求,所以系统在第 5 秒只显示纵流滚筒转速预警,如图 8 所示,显示器并伴有蜂鸣音,提示操作者减速收获小麦,第 7 秒后,纵流滚筒转速开始回升,

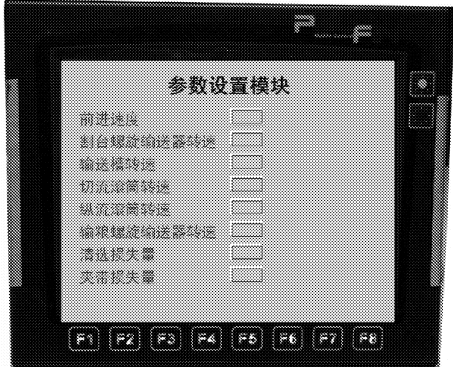


图 5 参数设置界面

Fig. 5 Interface for parameters setup

系统取消预警状态。经过测试表明,系统的各种状态参数测试准确;故障诊断报警系统工作正常,实现了预期的预报警功能,满足使用要求。

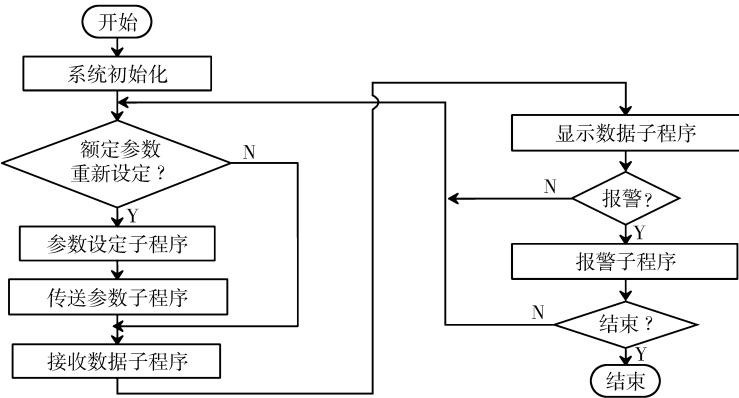


图 6 显示系统主程序流程图

Fig.6 Main program flow diagram of display system

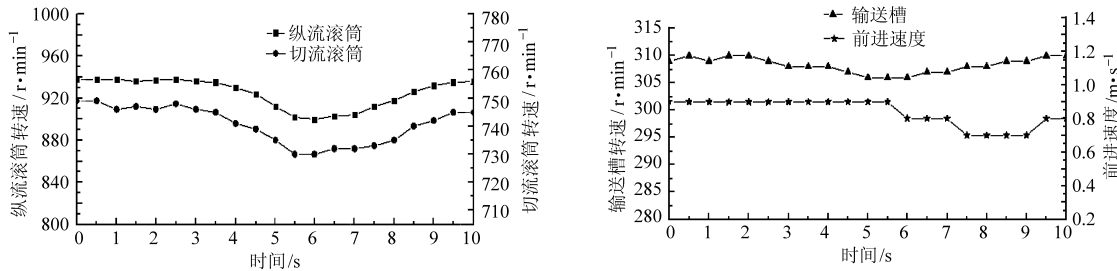


图 7 实时信号变化情况图

Fig.7 Change of acquired signals



图 8 预警界面

Fig.8 Early warning interface

5 结束语

提出了基于目标信号瞬时变化趋势的作业流程故障诊断方法。并以 PLC 和显示器为控制终端,通过编程结合作业流程故障诊断方法,设计了故障诊断报警系统。田间试验表明,系统可靠性高,显示器能够准确实时地显示各种转速信号和损失信号,当某路信号出现故障时,系统可以及时地预报警,提示操作者减速行驶,提高收获机作业质量和工作效率。

参 考 文 献

1 介战,刘红俊,侯风云. 中国精准农业联合收割机研究现状与前景展望[J]. 农业工程学报,2005,21(2):179~182.
Jie Zhan, Liu Hongjun, Hou Fengyun. Research advances and prospects of combine on precision agriculture in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2005,21(2):179~182. (in Chinese)

2 闫兰娟. 联合收割机脱粒滚筒转速监控系统的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2007.
Yan Lanjuan. Monitor and control system for rotational speed of the threshing cylinder of combine[D]. Yangling:Northwest A & F University, 2007. (in Chinese)

3 张淑红,陈进. 联合收割机自动报警系统的设计[J]. 农机化研究,2002,24(3):72~74.
Zhang Shuhong, Chen Jin. A study on the auto-alarm system of combine harvester [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2002,24(3):72~74. (in Chinese)

4 易立单. 联合收割机堵塞故障监测系统研究[D]. 镇江:江苏大学,2010.
Yi Lidan. Research on jam fault monitoring system for combine harvester [D]. Zhenjiang:Jiangsu University, 2010. (in Chinese)

- Zhou Jun, Ji Changying. Multi-sensor fusion in navigation of autonomous vehicle [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002, 33(5):113 ~ 116. (in Chinese)
- 3 张智刚, 罗锡文. 农业机械导航中的航向角度估计算法[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5):110 ~ 114.
Zhang Zhigang, Luo Xiwen. Adaptive weighted fusion algorithm for orientation evaluation of agricultural machinery [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(5):110 ~ 114. (in Chinese)
- 4 张漫, 周建军, 籍颖, 等. 农用车辆自动导航定位方法[J]. 农业工程学报, 2009, 25(增刊 2):74 ~ 77.
Zhang Man, Zhou Jianjun, Ji Ying, et al. Positioning method for automatic navigation of agricultural vehicle [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(Supp. 2):74 ~ 77. (in Chinese)
- 5 安秋, 姬长英, 周俊, 等. 基于 CAN 总线的农业移动机器人分布式控制网络[J]. 农业机械学报, 2008, 39(6):123 ~ 126.
An Qiu, Ji Changying, Zhou Jun, et al. Distributed control network for CAN-based autonomous agricultural robot [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(6):123 ~ 126. (in Chinese)
- 6 胡炼, 罗锡文, 张智刚, 等. 基于 CAN 总线的分布式插秧机导航控制系统设计[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12):88 ~ 92.
Hu Lian, Luo Xiwen, Zhang Zhigang, et al. Design of distributed navigation control system for rice transplanters based on controller area network [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12):88 ~ 92. (in Chinese)
- 7 纪朝凤, 刘刚, 周建军, 等. 基于 CAN 总线的农业车辆自动导航控制系统[J]. 农业机械学报, 2009, 40(增刊):28 ~ 32.
Ji Chaofeng, Liu Gang, Zhou Jianjun, et al. Automatic guidance system of agricultural vehicles based on CAN bus [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(Supp.):28 ~ 32. (in Chinese)
- 8 魏新华, 李耀明, 陈进, 等. 联合收割机工作过程智能监控装置的系统集成[J]. 农业工程学报, 2009, 25(增刊 2):56 ~ 60.
Wei Xinhua, Li Yaoming, Chen Jin, et al. System integration of working process intelligent monitoring and controlling devices for combine harvester [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(Supp. 2):56 ~ 60. (in Chinese)
- 9 赵先雷. 基于 CAN 总线轮式农业移动平台通讯子系统的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2007.
Zhao Xianlei. A study on communication subsystem of the agricultural wheeled mobile platform based on CAN-bus [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- 10 王友权, 周俊, 姬长英, 等. 基于自主导航和全方位转向的农用机器人设计[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7):110 ~ 113.
Wang Youquan, Zhou Jun, Ji Changying, et al. Design of agricultural wheeled mobile robot based on autonomous navigation and omnidirectional steering [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(7):110 ~ 113. (in Chinese)
-

(上接第 116 页)

- 5 束长宝, 蒋步军, 范立旻, 等. PLC 应用实践[M]. 南京: 东南大学出版社, 2008.
- 6 陈进, 李耀明, 季彬彬. 联合收获机喂入量测量方法[J]. 农业机械学报, 2006, 37(12):76 ~ 78.
Chen Jin, Li Yaoming, Ji Binbin. Study on measurement method of combine feed quantity [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(12):76 ~ 78. (in Chinese)
- 7 Wilson J N, Klassen N D. Sensor requirements for combine harvester control [J]. SAE Transactions, 1991, 100(2):239 ~ 247.
- 8 van Quekelberghe, Eric P J. Grain sensor arrangement for an agricultural harvester: US, 6524183 [P]. 2003-02-25.
- 9 李耀明, 丁为民, 陈进. 梳脱式联合收获机脱粒输送装置自动控制系统[J]. 农业机械学报, 2004, 35(5):86 ~ 89.
Li Yaoming, Ding Weimin, Chen Jin. Automatic controller for threshing and transporting devices of stripping combine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(5):86 ~ 89. (in Chinese)
- 10 丁玉美. 数字信号处理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001.
- 11 周秀君, 邓榆林. 基于 PLC 的高可靠性电机测速系统设计[J]. 微电机, 2008, 41(6):62 ~ 63.
Zhou Xiujun, Deng Yulin. High reliability of rotation speed measuring system based on PLC [J]. Micromotors, 2008, 41(6):62 ~ 63. (in Chinese)
- 12 呼秀山, 钱利民, 李迎春. 一种基于 PLC 开关量输入单元的转速信号测量方法[J]. 微计算机信息, 2006, 22(13):4 ~ 6.
Hu Xiushan, Qian Limin, Li Yingchun. The approach measuring rotate speed with digital I/O input unit of PLC [J]. Microcomputer Information, 2006, 22(13):4 ~ 6. (in Chinese)
- 13 毛罕平, 倪军. 阵列式压电晶体谷物损失传感器有限元分析与试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(12):123 ~ 126.
Mao Hanping, Ni Jun. Finite element analysis and measurement for array piezocrystals grain losses sensor [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(12):123 ~ 126. (in Chinese)