doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.S0.012

花生联合收获机作业在线监测与故障预警系统研究*

汪凤珠[1]　张俊宁[1]　李瑞川[2]　伟利国[1]　韩　湘[3]　刘阳春[1]

(1.中国农业机械化科学研究院,北京 100083;2.山东五征集团有限公司,日照 262300;
3.北京市科学技术委员会农村发展中心,北京 100054)

摘要:基于4HBLZ-2型单垄小型自走式花生联合收获机,设计摘果辊、清选筛、夹持轴、夹持链以及各转动部件工况的在线检测方法。利用LabView开发了基于CAN1939总线通信网络的花生收获机械作业在线监测系统,实现了整机控制状态、收获模式、发动机参数、行走轨迹、核心工作部件工况等的实时监测;采用多传感器信息融合算法,建立了作业状态的自诊断与故障预警模型,能够在拨果辊堵塞、跑粮及链条断裂等异常作业工况下为驾驶员提供田间实时报警信息。试验表明,本系统达到了花生收获机田间作业工况实时监测的功能和精度需求,且故障预警的自动诊断时间低于2 min,故障检测准确率大于90%。

关键词:花生　联合收获机　工况监测　故障诊断　预警

中图分类号:S24;S225.7+3　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-1298(2015)S0-0069-05

Design of On-line Monitoring and Fault Early Warning System for Peanut Combined Harvester

Wang Fengzhu[1]　Zhang Junning[1]　Li Ruichuan[2]　Wei Liguo[1]　Han Xiang[3]　Liu Yangchun[1]

(1. *Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences*, *Beijing* 100083, *China*
2. *Shandong Wuzheng Group Co.*, *Ltd.*, *Rizhao* 262300, *China*
3. *Rural Development Center of Beijing Municipal Commission of Science and Technology*, *Beijing* 100054, *China*)

Abstract: In order to improve the automatic operation degree in traditional peanut combined harvester, the online conditions measurement method for key working parts, such as picking roller, sorting screen, clamping shaft, clamping shaft and rotating components, was designed on the basis of 4HBLZ-2 one-row small self-propelled peanut combined harvester. Using LabView, an on-line operation monitoring system of peanut combined harvester was developed, with which the machine control state, harvesting operation mode, engine parameter, harvesting trajectory and working conditions of main parts could be real-timely monitored. The self-diagnosis and fault early warning model was established with the application of multi-sensor information fusion algorithm, which could offer alarm message for drivers under abnormal conditions, such as blocking of picking roller and chain break. Tests result showed that the time of automatic fault diagnosis was less than 2 min and the accuracy of fault detection was up to 90%. The designed system had met the functional requirements and precision needs of peanut combined harvester real-time monitoring in field operation.

Key words: Peanut　Combined harvester　Operation monitoring　Fault diagnosis　Early warning

引言

花生收获机拨果辊堵塞、清选筛面堵塞、“跑粮”以及皮带链条断裂是田间作业时的常见故障,一旦发生将对花生的收获作业造成很大影响。目前,传统的花生收获机械自动化程度不高,缺乏收

收稿日期:2015-10-28　修回日期:2015-11-20
*山东省自主创新专项资助项目(2013CXC90205)和北京市科技新星计划资助项目(2015A084)
作者简介:汪凤珠,工程师,主要从事自动控制与智能检测研究,E-mail:wangfengzhu1@126.com
通讯作者:张俊宁,研究员,主要从事精准农业智能化装备技术研究,E-mail:zjn990210@163.com

获机作业工况实时监测及故障诊断处理等功能[1-5],完全依赖收获机驾驶员的经验来判断[6],对驾驶员的操作技能要求较高。

本文研究花生收获机主要作业部件如摘果辊、夹持链、清选轴以及各转动部件工况[7-8]的在线监测技术,设计花生收获机田间作业参数在线监测系统。通过多传感信息融合技术,为驾驶员提供花生收获机作业参数实时监测,以及异常工况声光报警,便于驾驶员及时做出处理,避免作业故障的发生。

1 系统总体构成

花生收获机工况在线监测系统总体结构如图 1 所示,主要由车载监控终端、CAN 通讯模块、扭矩传感器、扭矩采集控制单元、马达转速传感器、夹持链位置传感器、夹持链状态采集控制器(力士乐 RC28-14型)、北斗定位模块和 DEUTZ 发动机电子调速器 EMR2 等构成。

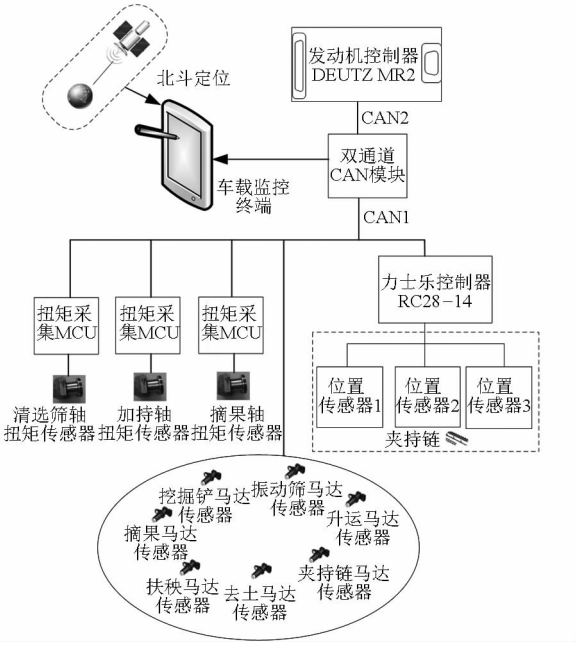

图 1 监控系统总体结构图

Fig. 1 General structure of monitoring system

系统由 2 个独立的 CAN 总线[9]通讯网络组成。各路传感器信号经过 CAN1 网络传输至车载计算机,车载监控软件对多路传感器信息进行分析、处理、信息融合后,实时显示各个工作部件的工况参数和故障信息。发动机电子调速器 EMR2 通过 CAN2 网络向车载显示终端提供发动机运行的各项重要参数,如发动机转速、机油压力、时速、冷却水温等。此外,车载终端还能够实时获取花生收获机的北斗定位信息,实现花生收获机运行轨迹图的绘制。

1.1 马达转速监测装置

根据花生收获机的田间作业工况监测需求,需要实时获取去土部件、扶秧部件、夹持链、升运部件、清选筛、挖掘铲、摘果棍等主要工作机构处的马达转速信息。本系统采用丹佛斯公司生产的非接触式传感器进行测量,其内部带有基于霍尔传感器的转速测量装置,转速测量范围为 -2 500 ~ 2 500 r/min,能够准确获取马达转动速度和转速方向,并提供遵循 SAE J1939 协议的标准 CAN 信号输出。

1.2 关键轴扭矩监测装置

为了准确获取清选筛、夹持轴和拨果辊的工作负荷,对异常情况进行预警,需要采用转矩传感器获得各旋转轴的实时转矩信息。传统的扭矩传感器需要采用断轴形式将传感器串联到动力源与负载之间,这种安装形式会给传感器安装带来很大不便。为此设计了一种新型结构的扭矩转速传感器[10-11],它可以直接安装在传动轮外侧,而无需将传动轴断开,其原理如图 2 所示。

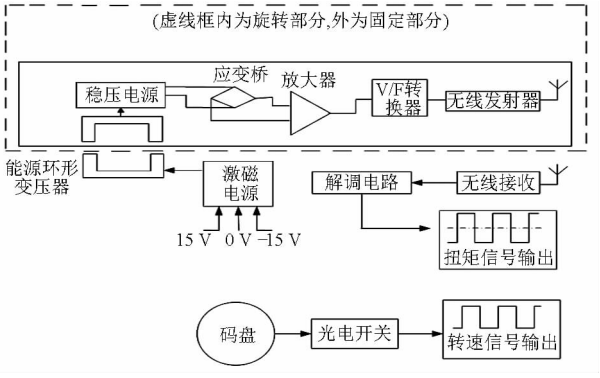

图 2 扭矩传感器原理

Fig. 2 Principle of torque sensor

扭矩转速传感器由设在传感器上的一组环型变压器非接触提供电源,采用应变桥电测技术,将应变桥检测到的微弱扭矩信号进行放大、V/F 转换后,通过微功耗信号耦合器非接触地输出与测量扭矩呈正比关系的频率信号。所设计的扭矩监测传感器输出的频率信号无负载时为 10 kHz。正向旋转满负荷时为 15 kHz。反向旋转满负荷时为 5 kHz,满量程测量精度为 0.5%。此外,扭矩测量装置上还集成了转速传感器,根据

$$P = \frac{TR}{9\,549} \tag{1}$$

式中 P——功率,kW T——扭矩,N·m

R——转速,r/min

可以推算出旋转部件的工作功率。系统中,根据花生收获机的驱动功率,估算各级旋转部件的工作扭矩,确定扭矩传感器量程为 0 ~ 100 N·m。

1.3 EMR2 调速系统

DEUTZ EMR2 电控调速系统已应用于 1021/1013/2012/2013/2015 等系列柴油发动机。EMR2

系统具有速度控制、喷油量控制、发动机工况监控、通讯与诊断等功能，能完全替代机械式调速器。其由传感器、电控单元和执行器组成，安装在发动机上的各种传感器向电控单元提供了发动机运行的各项相关参数。EMR2 通过 CAN 总线网络接收来自其他控制单元的发动机控制指令并实时传输发动机的诊断及测量数据至 CAN 总线上，从而使上位机能够获取发动机的实时工况信息。

1.4　定位装置

系统采用和芯星通 UM220－III N 双模高性能 GNSS 模块提供定位信息。UM220－III N 采用双系统、多频率、高性能 SoC 芯片，同时支持 BD2 B1、GPS L1 2 个频点，提供 2 路 UART 输出接口，定位精度达 2.5 m CEP，且集成度高、功耗低、非常适合用于定位性能、产品可靠性及质量要求高的场合。

1.5　扭矩采集控制器

采用 Microchip 公司的高性能 8 位单片机 PIC18F2580 作为核心微处理器。该处理器具有功耗低、运行速度快、功能强大、抗干扰能力强等优点，非常适合于低功耗、高可靠性、高效率要求的自动化应用场合。此外，PIC18F2580 具有丰富的外设，包括 2 个增强型可寻址 USART 模块、1 个 CAN 模块、1 个 MSSP 模块、8 路通道的 12 位 A/D 转换模块、5 个 8/16 位定时器/计数器模块、5 个 CCP/ECCP 模块等。

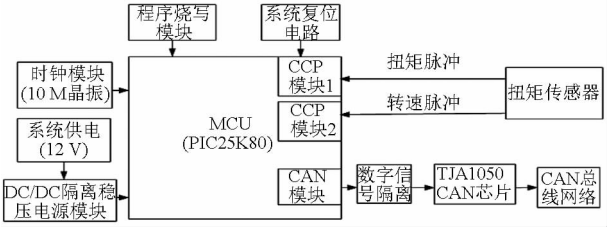

图 3　扭矩采集控制器原理图

Fig. 3　Principle of torque data acquisition controller

1.6　车载监控计算机

车载监控计算机采用专用工业控制级设计，如图 4 所示，搭载有 Windows XP 系统，可支持 RS232、RS485、USB 等接口，并配备有 8 寸高清可触控液晶屏和大容量固态硬盘等。高清可触控液晶屏在强光下亦能清晰显示操作界面等信息，触控灵敏，方便驾驶员与车载计算机之间的交互。

图 4　车载监控终端

Fig. 4　On-board monitoring terminal

2　系统监测方法及试验

2.1　信号采集电路设计

针对扭矩传感器输出的两路脉冲信号，在采集控制器中专门设计了一种高采样率、高精度的脉冲采集电路，通过 CCP 模块捕捉脉冲信号的上升沿测量脉冲信号的周期，进而得到脉冲频率，再根据扭矩传感器的输出特性计算获得旋转轴的扭矩和转速，传感器信号采集流程如图 5 所示。

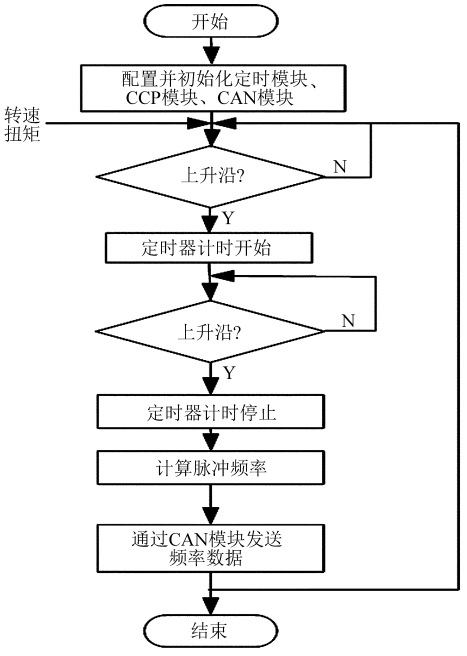

图 5　扭矩信号采集流程图

Fig. 5　Flow chart of data acquisition for torque sensor

2.2　通信协议设计

系统中，车载监控终端与北斗模块基于 RS232 串口协议进行数据交互。车载监控终端、扭矩信号采集控制单元、发动机控制器、马达转速检测单元、夹持链位置检测单元等都通过 CAN 总线网络进行数据通信，通信协议遵循 SAE J1939 标准。J1939 协议由美国汽车工程学会 SAE 于 2000 年提出，是一种支持闭环控制的在多个 ECU 之间高速通信的网络协议，已经成为货车和客车中控制器局域网的通用标准[12]。它以 CAN2.0 为网络核心，网络中的各个节点都具有全网唯一的 29 位 J1939 标识符，用于识别 CAN 总线网络上传输的参数类型。本系统中所分配的 CAN 标识符以及各个监控参数的更新周期如表 1 所示。

2.3　监控软件设计

LabView 是一种基于图形化编程语言的开发环境，其作为一个标准的数据采集和仪器控制软件，已

表 1 系统监控参数

Tab.1 Monitored parameters in system

序号	参数名称	J1939 标识	发送周期/ms
1	行走速度	18 FE F1 00H	100
2	发动机转速	0C F0 04 00H	20
3	机油压力	18 FE EF 00H	500
4	冷却水温	18 FE EE 00H	1000
5	马达转速	18 FF 20 60 H ~ 18 FF 20 66 H	50
6	振动筛扭矩	18 FF 01 80 H	100
7	夹持轴扭矩	18 FF 01 81 H	100
8	摘果轴扭矩	18 FF 01 82 H	100
9	夹持链位置	18 FF 01 50 H	100

经在测试与测量领域得到广泛应用[13-16]。系统利用 LabView 2012 软件,编程实现车载监控软件。软件通过持续监控 CAN 总线网络上传输的测量数据和读取 RS232 串口数据,再对原始数据进行分析、处理后,以图形化界面实时显示并保存花生收获机的位置信息、行走参数和运行工况,并且执行故障逻辑判定,指示各个关键工作部件当前的故障状态[17],当有故障状态发生时,给出声光报警警示。软件直接运行于车载计算机上,便于驾驶人员进行操作,其界面如图 6、7 所示。

图 6 主监控界面

Fig.6 Main monitoring interface

2.4 系统试验

2015 年 9 月,在位于山东省日照市五征集团的花生试验田[18]中开展了为期 2 d 的花生收获试验,对花生收获机作业状态在线监测与故障自动预警系统的综合性能进行了测试,试验机型为单垄小型自走式花生联合收获机。

图 7 故障显示界面

Fig.7 Fault display interface

试验结果表明:花生收获机工况在线监测与预警系统运行正常,所设计的马达转速传感器、扭矩传感器、夹持链位置传感器等检测装置工作性能良好,满足了田间作业工况监测的功能需求和精度要求。此外,系统还能够在故障工况下进行声光报警提示,故障预警的自动诊断时间低于 2 min,故障检测准确率大于 90%。操作人员通过车载显示终端可以实时地掌握整机作业工况、各关键机构的工作负荷和故障状态,并及时做出调整处理,减少了田间收获故障的发生率,提高了作业效率。

3 结论

(1)设计了花生收获机作业在线监测装置,实现对清选振动筛轴扭矩、夹持轴扭矩、摘果轴扭矩,各关键马达转速、夹持链夹持量的自动检测。

(2)搭建了 CAN 总线网络,实现车载计算机与行走控制器、各信号采集控制子单元之间的数据交互。

(3)设计了工况及故障预警软件系统平台,运用 LabView 编程,实时采集、显示及保存花生收获机械的定位状态和作业参数,并在故障工况下进行报警提示。

(4)基于小型自走式花生联合收获机进行了田间试验,验证了本系统的可靠性和实用性。

参 考 文 献

1 张智猛, 胡文广, 许婷婷, 等. 中国花生生产的发展与优势分析[J]. 花生学报, 2005,34(3):6-10
Zhang Zhimeng, Hu Wenguang, Xu Tingting, et al. The advantage analysis and development of the peanut production of China [J]. Journal of Peanut Science, 2005, 34(3):6-10. (in Chinese)

2 尚书旗,王方艳,刘曙光,等.花生收获机械的研究现状与发展趋势[J].农业工程学报,2004,20(1):20-25.
Shang Shuqi, Wang Fangyan, Liu Shuguang, et al. Research situation and development trend on peanut harvesting machinery [J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(1):20-25. (in Chinese)

3 Busono S, Ishihara A, Iwasaki M. Studies on the mechanical harvesting of peanuts, 4: peanut harvester improvement and simulation experiment [J]. Sand Dune Research, 1990, 37(2): 63-73.

4 王东伟. 花生联合收获机关键装置的研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2013.

5 冀永祥. 花生收获机械化现状及发展建议[J]. 中国农机化,2012(4):31-33.
Ji Yongxiang. Status and proposal of peanut harvesting mechanization [J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2012(4):31-

33.（in Chinese）
6 DB34/T534—2005　花生收获机械化作业技术规范[S]. 2005.
7 Boyette M D, Sanders D C, Estes E A. Peanut harvesting equipment [M]. North Carolina: North Carolina Cooperative Extension Service, 1974.
8 胡志超,王海鸥,王建楠,等.4HLB－2 型半喂入花生联合收获机试验[J].农业机械学报,2010,41(4):79－84.
Hu Zhichao, Wang Haiou, Wang Jiannan, et al. Experiment on 4HLB－2 type half feed peanut combine harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4):78－84.（in Chinese）
9 苗中华, 褚剑钢, 刘成良, 等. 采棉机智能监控系统 CAN 应用层协议设计[J].农业机械学报,2012, 43(1):180－184.
Miao Zhonghua, Chu Jian'gang, Liu Chengliang, et al. CAN application-layer protocol design of intelligent monitoring system for cotton-picking machine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(1):180－184.（in Chinese）
10 卢文涛,张莉杰,张东兴,等. 联合收获机监控系统研究现状[J]. 农机化研究,2014, 36(9):256－259.
Lu Wentao, Zhang Lijie, Zhang Dongxing, et al. The research situation of monitoring and controlling system of combine harvester [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(9):256－259.（in Chinese）
11 梁学修,陈志,张小超,等.联合收获机喂入量在线监测系统设计与试验[J].农业机械学报,2013,44(增刊 2):1－6.
Liang Xuexiu, Chen Zhi, Zhang Xiaochao, et al. Design and experiment of on-line monitoring system for feed quantity of combine harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp. 2):1－6.（in Chinese）
12 赵宏伟. 基于 SAE J1939 协议的发动机参数显示系统研究[D]. 长春:吉林大学,2011.
13 介战, 罗四倍, 周学建. 基于 LabVIEW 的联合收割机水稻喂入量遥测试验[J]. 农业工程学报, 2009,25(13): 87－91.
Jie Zhan, Luo Sibei, Zhou Xuejian. LabVIEW-based telemetering experiments of rice feed quantity for combined harvester[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(13): 87－91.（in Chinese）
14 张兰英, 邓铭辉, 李占成. 基于虚拟仪器技术的农田气象信息远程监测系统开发[J]. 农机化研究, 2014,36(9):81－84.
Zhang Lanying, Deng Minghui, Li Zhancheng. The research of the farmland meteorological information remote monitoring system based on the technology of virtual instrument[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2014, 36(9):81－84.（in Chinese）
15 娄天祥. 基于 LabVIEW 的农机田间在线遥测系统的研究[D]. 青岛:青岛农业大学,2007.
16 苗中华, 陆鸣超, 胡晓东, 等. 基于虚拟仪器技术的采棉机智能监控系统开发与应用[J]. 农业工程学报, 2014, 30(23):35－42.
Miao Zhonghua, Lu Mingchao, Hu Xiaodong, et al. Development and application of intelligent monitoring and controlling system of cotton-picking machine based on virtual instrument technology [J]. Transactions of the CSAE,2014, 30(23):35－42.（in Chinese）
17 刘应吉,张天侠,闻邦椿,等.基于 CAN 总线和 PSA 模型的 AMT 在线故障诊断系统[J].农业机械学报,2008,39(6):132－136,122.
Liu Yingji, Zhang Tianxia, Wen Bangchun, et al. Online fault diagnosis system of AMT based on CAN bus and PSA model [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(6):132－136,122.（in Chinese）
18 赵丽清, 李瑞川, 龚丽农,等. 花生联合收获机智能测产系统研究[J].农业机械学报,2015, 46(11): 1－6.
Zhao Liqing, Li Ruichuan, Gong Linong, et al. Study of intelligent yield monitor system on peanut combine harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(11): 1－6.（in Chinese）