

# 基于 LabVIEW 的生猪群体活动量监测系统

蔡一欣<sup>1</sup> 马丽<sup>1,2</sup> 刘刚<sup>1</sup>

(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. 河北农业大学信息科学与技术学院, 保定 071001)

**摘要:** 生猪日常活动量可作为生猪健康状况分析和遗传性能评估的重要数据基础。针对大圈养殖环境下利用人工观察的传统方法监测生猪群体活动量精度不高、主观性较强等问题,设计了一种基于 LabVIEW 的生猪群体活动量监测系统。利用被动式红外探测器采集生猪群体活动量信息,以 24 位 ADS1256 芯片为 A/D 转换和信号输入通道选择,设计了活动量数据采集系统电路,基于 LabVIEW 软件平台进行程序设计,实现了生猪群体活动量数据的实时采集、保存和图形化显示,提出了利用优化的双正弦模型描述生猪群体日活动量,完成了生猪群体活动量监测系统的设计。选取大圈养殖环境下刚进栏的小猪进行实验验证,实验结果表明:生猪群体日活动量模型与实测值平均相关系数为 0.83,构建的模型能够较好地反映生猪群体日活动量,监测系统能够实现快速、准确地监测生猪群体活动量。

**关键词:** 生猪; 活动量分析; 远程监控; LabVIEW

**中图分类号:** S237      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-1298(2017)S0-0359-06

## Monitoring System of Swinery Activity Based on LabVIEW

CAI Yixin<sup>1</sup> MA Li<sup>1,2</sup> LIU Gang<sup>1</sup>

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

2. College of Information Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China)

**Abstract:** The daily activity of pigs can be used as an important data base for analyzing and evaluating the health status of pigs. In order to solve the problems of high cost and complexity by using the traditional method of monitoring swinery activity under the farm environment, a monitoring system of swinery activity based on LabVIEW was proposed. By using SRN-2000 passive infrared detector, the information of pig group activities was collected. The circuit, which had high accuracy, multi-channel and real-time operational performance, and took 24 bit ADS1256 chip as its A/D conversion and signal input channel, was designed for a data acquisition system. Based on LabVIEW software platform, real-time acquisition, display and storage of the data were achieved, and a model to monitor daily activity amount was established. Swinery activity amount had been approached by two different activity models: the single sinusoidal model and the double sinusoidal model. A suitable curve was applied and the swinery activity amount was predicted with the improved parameters. The correlation coefficient of single sinusoidal model was lower than the double sinusoidal model so that the later one was adopted. Test results for pigs which just entered the circle showed that the correlation coefficient of the daily activity amount model was 0.83. Through calibrating by using the data of the experimental station and the validation in the real farm, it was proved that the swinery activity amount could be fairly explained by the model.

**Key words:** pig; activity analysis; remote monitoring and control; LabVIEW

收稿日期: 2017-07-10 修回日期: 2017-11-20

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0700200-2016YFD0700202、2016YFD0700200-2016YFD0700204)

作者简介: 蔡一欣(1993—),女,硕士生,主要从事信息感知在动物福利领域应用研究,E-mail: yxcai519@163.com

通信作者: 刘刚(1966—),男,教授,博士生导师,主要从事电子信息技术农业应用研究,E-mail: pac@cau.edu.cn

## 引言

随着人们生活水平的逐渐提高,我国对于肉类动物的需求量增长趋势日益明显<sup>[1]</sup>。为提高养殖业行业利润,保障动物福利与生物安全<sup>[2]</sup>,给生猪提供更舒适的生存环境,加强对生猪活动量监测等改善生猪动物福利的手段成为提高猪肉品质的方式<sup>[3-4]</sup>。

动物的活动量能反映出动物的生存状态、健康状况、环境舒适度等信息,在异常状况下,活动量也会有较为明显的变化<sup>[5-6]</sup>,因此,活动量可以作为监测动物行为的指标之一。国内采用佩戴颈环脚环等方法测量单个畜禽的活动量,沈维政等<sup>[7]</sup>通过给奶牛佩戴三轴加速度计来测量奶牛活动量;也有采用机器视觉技术进行跟踪并分析动物的活动量,冯爱晶等<sup>[8]</sup>利用视频监控与数字图像处理技术,提出了一套能够应用于自然条件下的猪只识别与跟踪方法,并立足猪只的活动量模型;对于鱼类等小群体的活动量多采用机器视觉的方法进行监测,如赵建等<sup>[9]</sup>利用图像处理技术对循环水养殖游泳型鱼类摄食活动进行强度评估,王文静等<sup>[10]</sup>提出了基于机器视觉的水下鲟鳃鱼类质量估计系统;对于畜禽群体活动量的采集,在国外已经取得了一些成果,1995年 PEDERSEN<sup>[11]</sup>利用被动式红外探测器监测群体动物行为,之后这项技术被应用到更多的研究中,监测生猪<sup>[12]</sup>、蛋鸡<sup>[13]</sup>、肉鸡<sup>[14]</sup>及野生动物<sup>[15]</sup>等畜禽群体的活动量。

近年来,对于生猪活动量的监测多通过养殖人员的人工经验观察,经验丰富的养殖人员能从生猪的异常活动与行为中获取信息,及时寻找原因,采取防治措施。然而,这样的人工观测主观性较强,对养殖人员的专业素养及敬业程度要求较高,当养殖规模较大时,人工观测便成为了一项需要体力与精力的高强度劳动,养殖人员往往难以给出及时、准确的判断。同时,养殖场的人员分配与劳动力支出也占用了养殖场有限的资源。因此,探索一种能够对生猪群体活动量信息实现准确、快速、低成本的监测方式就显得尤为重要。

本文利用 Visonic 公司的 SRN-2000 型被动式红外探测器采集生猪群体活动量信息,以 24 位自带模拟开关的 ADS1256 芯片为 A/D 转换和信号输入通道选择,设计开发具有高精度、多通道、实时操作性强的活动量数据采集系统电路;基于 LabVIEW 软件平台进行程序设计,实现生猪群体活动量数据的实时采集、显示和保存,并构建生猪群体日活动量模型。

## 1 系统设计

### 1.1 系统组成及工作原理

系统主要由计算机、被动式红外探测器、A/D 转换器、USB/SPI 适配器、无线网卡、支架等组成,如图 1 所示。

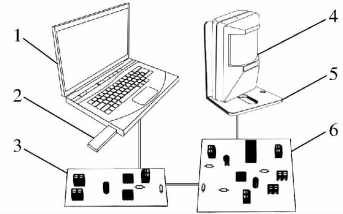


图 1 生猪群体活动量监测系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of swinery activity amount monitoring system

1. 计算机 2. 无线网卡 3. USB/SPI 适配器 4. 被动式红外探测器 5. 支架 6. A/D 转换器

2017 年 5—6 月在天鹏兴旺养殖场进行生猪日、周、月活动量采集试验。1 号猪圈中 5 月初进入 40 头约 1 月龄的仔猪,猪圈示意图如图 2 所示,猪圈区域分为分拣采食区、躺卧区、活动区与饮水区。如图 2 所示。

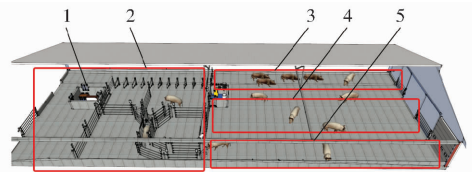


图 2 天鹏兴旺养殖场猪圈区域划分示意图

Fig. 2 Schematic of piggyery zoning in Tianpeng farm

1. 配电箱 2. 分拣采食区 3. 躺卧区 4. 活动区 5. 饮水区

被动式红外探测器安装在分拣采食区与另外 3 个区域交界的棚顶支架中间,距地面高度 2.4 m,被动式红外探测器与水平呈 0°角。计算机及其他设备安放在分拣采食区的配电箱处。当仔猪在躺卧区、活动区与饮水区进行活动时,发出的红外能量被探测器接收,转换为电信号传递给 A/D 转换器,经过处理后由上位机程序进行信号的可视化采集与存储。

### 1.2 系统设计

生猪群体活动量监测系统采用上、下位机模式搭建,上位机由基于 LabVIEW 平台的软件组成,下位机是以 ADS1256 型 A/D 转换器为核心的仪器硬件。上位机软件向仪器硬件发送操作指令和工作参数,并完成数据的采集、处理、显示与存储等功能;下位机由单片机、可编程数字滤波器、四阶调制器、I/V 转换电路等组成,上位机与硬件通过以 STM32F407 为主控芯片的 USB/SPI 适配器进行通信。

系统硬件部分采用 Visonic 公司的 SRN-2000 型被动式红外探测器 (Passive infrared detector, PID), PID 的组成一般包括热释电红外传感器、菲涅尔透镜、脉冲计数器、继电器、指示灯等元件<sup>[16]</sup>。PID 不主动散发红外辐射,而是接收环境中物体放出的红外能量,并将其转换为电信号输出。Visonic 公司的 SRN-2000 型 PID 具有先进的微处理器、极低的电流消耗、可编程脉冲计数器等特点。选用 No-100 标准菲涅尔镜头,可降低环境的干扰,接收信号范围为长 18 m、宽 8 m。猪圈 PID 信号采集示意图如图 3 所示。

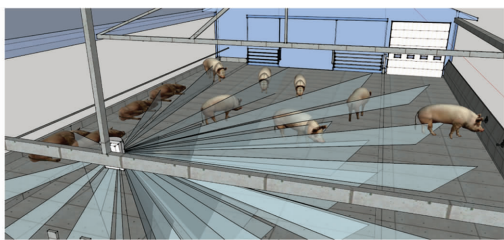


图 3 PID 信号采集示意图

Fig. 3 Schematic diagram of PID signal acquisition

硬件电路选用 TI 公司 Burr-Brown 产品线推出的 24 位超低功耗 ADS1256 型数模转换器作为控制核心<sup>[17-18]</sup>,具有高纹波噪声抑制比的 LT3461 型电源芯片供电, LP2985 电源芯片产生一个纯净的 +5 V 为 ADS1256 型 A/D 转换器供电,采用 ADR431BRZ 基准电压器提供高精度的 2.5 V 基准,利用 AMS1117-3.3V 正向低电压稳压器为 ADS1256 数模转换器提供数字电压。通信部分的 USB2SPI 总线接口芯片最大时钟频率可达 50 MHz,每个 SPI 通道数据收发缓冲区为 10 240 × 2 Kb,另外还可实现固件的升级更新<sup>[19-20]</sup>。

### 1.3 系统软件设计

系统软件部分利用美国国家仪器公司开发的 LabVIEW 进行设计<sup>[21-22]</sup>。软件由前面板图形用户界面和后台方框流程图组成<sup>[23]</sup>。前面板即监控界面,具有发送操作指令、参数输入、数据显示等功能<sup>[24]</sup>。后台方框流程图利用图形化的语言,实现监控界面的功能,并对数据进行处理、显示与存储<sup>[25-26]</sup>。

#### 1.3.1 监控界面设计

监控界面主要实现工作参数设置、存储路径的选择,以及监测结果的图形化显示等功能<sup>[27-28]</sup>,如图 4 所示。界面设置了 2 个波形图表,采集数据时,波形图表 1 可显示当前生猪群体活动量波形,波形图表 2 可显示近 2 h 内的生猪群体活动量波形,方便操作人员监控;通道选择部分可设置 PID 通道与设备索引;参数设置部分可选择数据存储路径、文件

头名,并设定采样间隔与新建文件间隔时间。

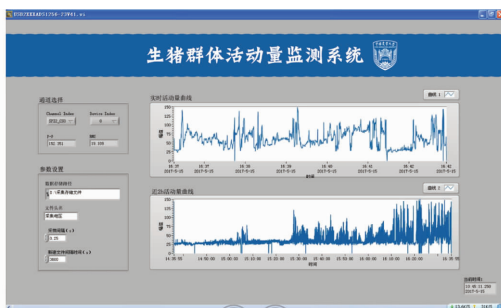


图 4 生猪群体活动量监测系统主界面

Fig. 4 Main interface of swinery activity amount monitoring system

#### 1.3.2 系统程序设计

根据系统的功能要求,利用 LabVIEW 开发平台提供的子模块来实现设备初始化、数据采集、数据管理等功能<sup>[29]</sup>,主程序流程图如图 5 所示。

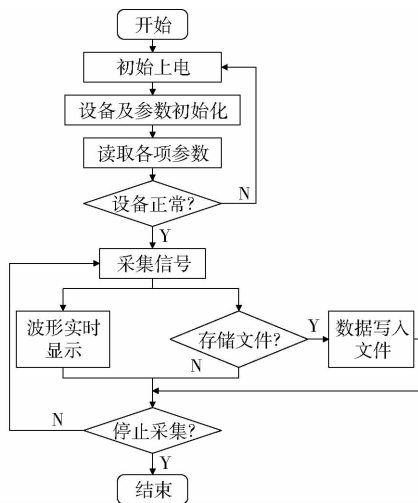


图 5 生猪群体活动量监控系统数据流程图

Fig. 5 Flow chart of swinery activity amount monitoring system

在设备上电之后进行设备的初始化,调用 Init ADS1256 模块,用 USB\_ScanDevice 函数搜索设备,打开设备后用 ADS1256\_Init 函数设置采样频率、采样方式与内部增益,启动设备后检测是否正常运行,如果有异常再一次调用 Init ADS1256 模块初始化设备。

正常运行时,循环读取设备输出信号并保存到数组中,同时通过 Amplitude Measurements 控件获取滤波后的信号峰值、平均值和均方根值。取滤波后的信号峰值作为输入信号传递给 Waveform 控件进行显示。

为了在后续数据处理中更加全面地分析数据,调用 Write Delimited Spreadsheet 函数,实现数据的保存。利用时间控件将当前时间转换为字符串<sup>[30]</sup>,并与新建文件时间间隔比较,满足条件后利用写电子表格 VI 在设定的数据保存路径下建立以当前时

间命名的 Excel 文件,并存储此时间段内的数据,文件第一行记录当前时间与设定的采样频率,之后以采样频率记录数据直至下一次新建文件。

## 2 系统性能测试

### 2.1 试验过程

2017年5月—6月在北京市天鹏兴旺生猪实验基地,1号大群养殖猪圈对生猪群体活动量进行监测。监测区域宽8m、长18m,包括躺卧区、活动区与饮水区。试验对象为刚进栏的40头17~20kg的小猪,每只小猪均带有耳标。连续采集电压1个月,获得生猪群体活动量数据。

为了验证基于 LabVIEW 的生猪群体活动量监测系统的准确性,以及利用 PID 获取活动量的可行性,本文进行了试验验证,建立了生猪群体日活动量模型,并针对生猪群体日活动量模型进行验证。

### 2.2 结果分析

小猪刚进入猪圈后会有适应的阶段,在此阶段内出现的打斗、奔跑、厌食、躺卧减少等情况会影响群体活动量的监测,因此选取小猪入圈5d后,5月21日—5月27日7d的生猪群体日活动量数据,绘制生猪群体活动量的日变化趋势图,如图6所示。生猪活动量较低的部分发生在每日的19:00到次日04:00,中午11:00左右也会有一个极小值产生,最低的生猪活动量在24h内比每日平均值低约25%。极大值总体上出现了2次,上午极大值出现在7:00—9:00期间,下午则集中在14:00左右。另一方面,生猪活动量在白天的极大值受到采食频率的影响。据人工观察,08:00与14:00是生猪采食高峰期,而这2个时间与活动量极大值对应的时间较为接近。

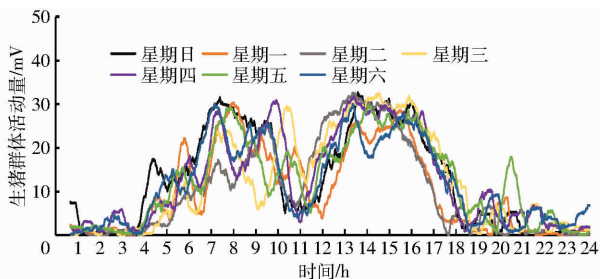


图6 猪群体活动量日变化

Fig. 6 Diurnal variation of swinery activity amount

动物的活动周期会根据不同动物的行为,如进食、移动、休息等有不同的变化。量化动物活动的方法有很多种,通过传感系统对其进行评估之后,动物的日活动量可以通过单正弦模型与双正弦模型进行描述<sup>[31]</sup>,即

$$A = 1 - a \sin \left( \frac{2\pi}{24} (h + 6 - h_{\min}) \right) \quad (1)$$

$$A = 1 - a \sin \left( \frac{2\pi}{24} (h + 6 - h_{\min}) \right) - b \sin \left( \frac{2\pi}{c} (h - d) \right) \quad (2)$$

式中  $h$ ——一天内活动量的小时数

$h_{\min}$ ——低活动量水平的小时数

$a, b, c, d$ ——系数

利用这2种方法对生猪日活动量进行描述,如图7所示。

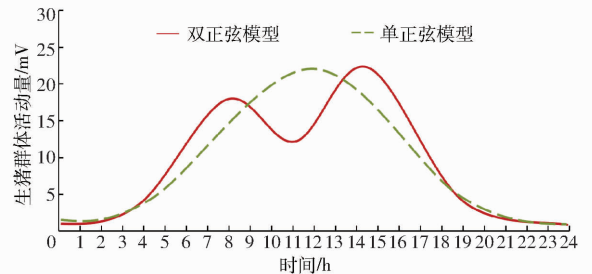


图7 生猪群体日活动量模型

Fig. 7 Models of daily swinery activity amount

由单正弦模型描述的生猪日活动量较为简单,调整系数之后可以提高测量与估计的决定系数  $R^2$ ,由0.4提高到了0.68,如表1所示。但其拟合效果还不够好,并且不能描述2个极大值的关系。

表1 单正弦模型及检验相关系数

Tab. 1 Single sinusoidal model and the coefficients of determination  $R^2$  for the correlation

单正弦模型	$a$	$h_{\min}$	$R^2$
标准型	0.30	5	0.40
优化型	0.45	3	0.68

双正弦模型进行系数优化之后, $R^2$ 从0.56提高到了0.83,如表2所示。系数  $c$  的变化决定了2个极大值之间的距离,低活动量小时数  $h_{\min}$  减少到了3h。

表2 双正弦模型及检验相关系数

Tab. 2 Double sinusoidal model and the coefficients of determination  $R^2$  for the correlation

双正弦模型	$a$	$b$	$c$	$d$	$h_{\min}$	$R^2$
标准型	0.30	0.20	15	15.2	5	0.56
优化型	0.45	0.25	8	15.8	3	0.83

当双正弦模型采用适当的系数时,拟合效果比单正弦模型更加贴切。

选取2017年5月29日—6月10日测量的106组小时平均活动量数据验证双正弦活动量模型,生猪日活动量模型估值与真值的相关系数为0.785,如图8所示,生猪群体活动量估测效果较好。

## 3 结论

(1)基于 LabVIEW 软件设计了实时监测生猪群体活动量的系统,通过在猪场的试验,验证了该监

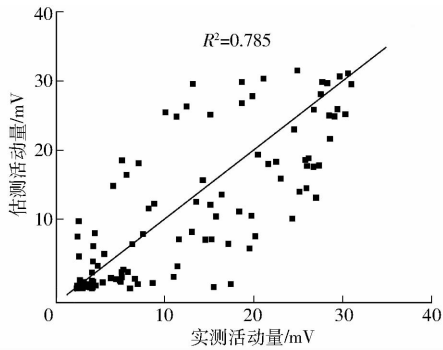


图8 106组生猪群体活动量模型估测结果

Fig. 8 Result of estimated activity amount from 106 data

测系统具有低成本、运行稳定、测量准确度高、易于操作等特点。实现了对于生猪群体活动量在线、实时地监测,为大圈环境下的生猪健康养殖提供了技术支持。

(2) 经过试验验证,本文提出的基于改进的双正弦模型可以较为准确地描述生猪群体日活动量,预测生猪日活动量信息,并给出预判。

(3) 目前本文的生猪群体活动量模型建立方法只能适用于大圈养殖环境下,猪只数目与猪圈尺寸会对模型有一定影响。

### 参 考 文 献

- 陈艳丽. 2016年中国生猪市场分析及2017年展望[J]. 农业展望, 2016(11): 7-11.  
CHEN Yanli. Domestic pig market in 2016 and its prospect for 2017 [J]. Agricultural Outlook, 2016(11): 7-11. (in Chinese)
- 李宁. 从远古到现代的中国畜牧业发展历程及启迪[J]. 中国家禽, 2013, 35(21): 38-39.  
LI Ning. Development and enlightenment of animal husbandry in China from ancient times to modern times [J]. China Poultry, 2013, 35(21): 38-39. (in Chinese)
- 蒲红州, 陈磊, 张利娟, 等. 湿热环境对自由采食生长育肥猪采食行为的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(5): 1370-1376.  
PU Hongzhou, CHEN Lei, ZHANG Lijuan, et al. Effects of hot and humid environment on feeding behavior in growing-finishing pigs with ad libitum feeding [J]. Acta Zoonutrientia Sinica, 2015, 27(5): 1370-1376. (in Chinese)
- 米特罗纳 弗兰克. 动物蛋白需求的持续上涨加速了气候变化[J]. 中国家禽, 2013, 35(21): 39.  
MITLOEHNER Frank. The continuing rise in demand for animal protein accelerated climate change [J]. China Poultry, 2013, 35(21): 39. (in Chinese)
- 刘军, 周建民. 浅析畜禽养殖业对于经济发展的贡献[J]. 现代畜牧科技, 2017(4): 16.  
LIU Jun, ZHOU Jianmin. Contribution of livestock and poultry breeding industry to economic development [J]. Technical Advisor for Animal Husbandry, 2017(4): 16. (in Chinese)
- 邹胜龙, 冯定远. 猪热应激的防控措施[J]. 广东饲料, 2000, 9(3): 35-36.  
ZOU Shenglong, FENG Dingyuan. Control measures of heat stress in pigs [J]. Guangdong Feed, 2000, 9(3): 35-36. (in Chinese)
- 沈维政, 郑爽, 初永良, 等. 基于 ADXL345 的奶牛活动量采集系统设计[J]. 东北农业大学学报, 2014, 45(10): 80-85.  
SHEN Weizheng, ZHENG Shuang, CHU Yongliang, et al. Design of cow activity data acquisition system based on ADXL345 [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2014, 45(10): 80-85. (in Chinese)
- 冯爱晶, 肖德琴. 自然条件下猪只运动参量提取算法[J]. 计算机应用, 2016, 36(10): 2900-2906.  
FENG Aijing, XIAO Deqin. Motion parameter extraction algorithm for pigs under natural conditions [J]. Journal of Computer Applications, 2016, 36(10): 2900-2906. (in Chinese)
- 赵建, 朱松明, 叶章颖, 等. 循环水养殖游泳型鱼类摄食活动强度评估方法研究[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(8): 288-293. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20160838&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160838&journal_id=jcsam). DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.08.038.  
ZHAO Jian, ZHU Songming, YE Zhangying, et al. Characteristic tracking position and attitude measurement method based on PMD camera [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(8): 288-293. (in Chinese)
- 王文静, 徐建瑜, 吕志敏, 等. 基于机器视觉的水下鲟鳊鱼类质量估计[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 153-157.  
WANG Wenjing, XU Jianyu, LU Zhimin, et al. Weight estimation of underwater Cynoglossus semilaevis based on machine vision [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(16): 153-157. (in Chinese)
- PEDERSEN S P C. Animal activity measured by infrared detectors [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1995, 61(4): 239-246.
- WENDLAND B P P S. Monitoring of piglets' open field activity and choice behaviour during the replay of maternal vocalization; a comparison between observer and PID technique [J]. Laboratory Animals, 1999, 33(3): 215-220.
- VON Wachenfelt E, PEDERSEN S, GUSTAFSSON G. Release of heat, moisture and carbon dioxide in an aviary system for laying hens [J]. Br Poult Sci, 2001, 42(2): 171-179.
- NIELSEN B. Use of passive infrared detectors (PIDs) to monitor bursts of activity in groups of broilers [J]. Archiv Fur Geflugelkunde, 2003, 67(1): 42-44.
- LANGBEIN J, SCHEIBE K M, EICHHORN K. An activity-data-logger for monitoring free-ranging animals [J]. Applied Animal Behaviour Science, 1996, 48(1-2): 115-124.
- 张晨. 被动式红外探测器三维探测模型研究[J]. 中国安防, 2014(5): 80-84.  
ZHANG Chen. Research on three dimensional detection model of passive infrared detector [J]. China Security & Protection,

- 2014(5): 80-84. (in Chinese)
- 17 苏阳,曹进,程磊,等. ADS1256 在高精度数据采集系统的应用分析[J]. 电子科学技术, 2016, 3(5): 546-548.  
SU Yang, CAO Jin, CHENG Lei, et al. Application of ADS1256 in high precision data acquisition system [J]. Electronic Science & Technology, 2016, 3(5): 546-548. (in Chinese)
- 18 张铭存,肖忠祥,杨岩. 基于 ADS1256 的地震数据采集电路设计[J]. 现代电子技术, 2013, 36(24): 134-135.  
ZHANG Mingcun, XIAO Zhongxiang, YANG Yan. Seismic data acquisition circuit design [J]. Modern Electronics Technique, 2013, 36(24): 134-135. (in Chinese)
- 19 王直,施晓敏,丁建军,等. 增量式光电编码器信号处理电路的设计与实现[J]. 电子设计工程, 2012, 20(2): 121-123.  
WANG Zhi, SHI Xiaoming, DING Jianjun, et al. Design and implementation of signal processing circuit for incremental optical encoder [J]. Electronic Design Engineering, 2012, 20(2): 121-123. (in Chinese)
- 20 孙沁梅,卢益民. 高精度模数转换器 ADS1256 的原理和应用[J]. 计算机与数字工程, 2005, 33(3): 94-97.  
SUN Qinmei, LU Yimin. Principle and application of high-accuracy A/D convertor ADS1256 [J]. Computer and Digital Engineering, 2005, 33(3): 94-97. (in Chinese)
- 21 廖开俊,刘志飞. 虚拟仪器技术综述[J]. 国外电子测量技术, 2006, 25(2): 6-8.  
LIAO Kaijun, LIU Zhifei. Survey on virtual instrument technology [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2006, 25(2): 6-8. (in Chinese)
- 22 王志强,王辉,张志豪,等. 基于电化学和虚拟仪器的土壤重金属检测系统研究[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(1): 119-126. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20150118&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150118&journal_id=jcsam). DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.01.018.  
WANG Zhiqiang, WANG Hui, ZHANG Zhihao, et al. Detection system of heavy metals in soil based on electrochemistry and virtual instrument [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(1): 119-126. (in Chinese)
- 23 郭会军,张建丰,王志林,等. 基于 LabVIEW 和 ARM 处理器的大型称重式蒸渗仪测控系统[J/OL]. 农业工程学报, 2013, 29(16): 134-141. [http://www.tcsae.org/nygxcb/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=20131617&flag=1](http://www.tcsae.org/nygxcb/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20131617&flag=1). DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.16.017.  
GUO Huijun, ZHANG Jianfeng, WANG Zhilin, et al. Automatic measuring and controlling system of weighing lysimeter based on LabVIEW and ARM processors [J/OL]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(16): 134-141. (in Chinese)
- 24 郑玲,朱大洲,王成,等. 基于 LabVIEW 的小麦生物量检测系统[J/OL]. 农业机械学报, 2013, 44(9): 214-218. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20130938&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20130938&journal_id=jcsam). DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2013.09.038.  
ZHENG Ling, ZHU Dazhou, WANG Cheng, et al. Detection system for wheat biomass based on LabVIEW [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(9): 214-218. (in Chinese)
- 25 庞昌乐,刘晓,陈理,等. 基于 LabVIEW 的实验室厌氧发酵产气在线监测系统[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(10): 215-220. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20161028&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20161028&journal_id=jcsam). DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.10.028.  
PANG Changle, LIU Xiao, CHEN Li, et al. Online gas metering system for laboratory scale anaerobic fermentation based on LabVIEW [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(10): 215-220. (in Chinese)
- 26 吴伟斌,洪添胜,朱余清,等. 基于虚拟仪器的果树重叠叶片 LAI 实时检测系统[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 169-174.  
WU Weibin, HONG Tiansheng, ZHU Yuqing, et al. Real-time detection system for LAI of fruiter overlapped leaves based on virtual instruments [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 28(4): 169-174. (in Chinese)
- 27 赵晓顺,刘淑霞,马跃进,等. 基于虚拟仪器的发动机断缸故障振动诊断[J]. 农业工程学报, 2012, 28(17): 25-31.  
ZHAO Xiaoshun, LIU Shuxia, MA Yuejin, et al. Faults diagnosis of engine cylinder broken down based on virtual instrument [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 28(17): 25-31. (in Chinese)
- 28 鲁军,李侠,王重马,等. 基于小波分析的 MSMA 振动传感器信号处理与故障检测[J]. 电工技术学报, 2015, 30(10): 354-360.  
LU Jun, LI Xia, WANG Chongma, et al. Signal process and fault detection of MSMA vibration sensor based on wavelet analysis [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(10): 354-360. (in Chinese)
- 29 杜云峰,黄琦,蔡明山. 小波分析在信号处理中的应用[J]. 机电产品开发与创新, 2010, 23(3): 144-146.  
DU Yunfeng, HUANG Qi, CAI Mingshan. Application of wavelet analysis in the signal processing [J]. Development & Innovation of Machinery & Electrical Products, 2010, 23(3): 144-146. (in Chinese)
- 30 许顺,佟金,李默. 基于 LabVIEW 的蔬菜切碎机性能测试及工作参数优化[J]. 农业工程学报, 2017, 33(3): 250-256.  
XU Shun, TONG Jin, LI Mo, et al. Performance testing of vegetable chopping machine based on LabVIEW and operation parameter optimization [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 33(3): 250-256. (in Chinese)
- 31 BLANES V, PEDERSEN S. Ventilation flow in pig houses measured and calculated by carbon dioxide, moisture and heat balance equations[J]. Biosystems Engineering, 2005, 92(4): 483-493.