

基于 ZigBee 和组态王软件的养猪场环境监控系统

王辉明^a, 项新建^b, 郑永平^b

(浙江科技学院 a. 机械与能源工程学院; b. 自动化与电气工程学院, 杭州 310023)

摘要: 环境是影响生猪生态健康养殖的重要因素之一,目前大多数养猪场对猪舍环境调控采用人工测控方式,存在着准确率低、实时性差、管理控制效率低等问题。为此,设计了一个集监测、控制和管理为一体的养猪场环境监控系统。该系统基于 ZigBee 技术设计无线传感网络,将各猪舍监控参数实时传送到养猪场监控终端;基于组态王软件开发了养猪场环境监控管理系统,运用模糊算法对被控参数进行优化控制。结果表明:无线传感网络响应时间少于 3 s,环境参数控制精度小于 4%。该系统还可为生猪生长大数据分析提供基础数据,从而促进生猪生态健康养殖的发展,提高养猪场的经济和社会效益。

关键词: 生态养猪; ZigBee 技术; 组态王软件; 环境监控

中图分类号: TP277.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2019)06-0457-07

Environmental monitoring system of pig farm based on ZigBee and Kingview software

WANG Huiming^a, XIANG Xinjian^b, ZHENG Yongping^b

(a. School of Mechanical and Energy Engineering; b. School of Automation and Electrical Engineering,
Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

Abstract: The environment is one of the important factors affecting the ecological and healthy farming of hogs. At present, most pig farms adopt the manual measurement and control methods for regulating environment of pig houses, which is afflicted by such problems as low accuracy, poor real-time performance and low management control efficiency. For this reason, an environmental monitoring system of pig farm integrating monitoring, control and management came into being. The system featuring the wireless sensor network designed by virtue of ZigBee technology, was capable of transmitting the monitoring parameters of each pig house to the monitoring terminal of the pig farm in real time; an environmental monitoring and management system was developed with Kingview software for the pig farm, by applying fuzzy algorithms to optimize the controlled parameters. The system test

收稿日期: 2019-04-02

基金项目: 浙江省重点研发计划项目(2018C01085)

通信作者: 项新建(1964—),男,浙江省永康人,教授,硕士,主要从事人工智能、机器人、物联网理论与技术研究。

E-mail: 188002@zust.edu.cn。

results show that the response time of the wireless sensor network is less than 3 s, and the environmental parameter control accuracy is less than 4%. The system can also provide basic data for big data analysis of hog growth, further promote the development of the ecological and healthy farming of hogs, and improve the economic and social benefits of pig farms.

Keywords: ecological pig raising; ZigBee technology; kingview software; environmental monitoring

随着社会经济的发展,人们的收入水平得到了提高,对肉类的消费需求也在增加,使得中国居民猪肉消费和产量不断增长,猪肉消费占肉类总消费量的 60% 以上,猪肉产量已经达到全球产量的 50%^[1-2]。生猪养殖业处于蓬勃发展的时期,规模化养猪场的数量逐年递增,管理方式也正向自动化方向发展,但饲养效益与发达国家相比还存在较大的差距。

近年来,养殖业监控系统的研究取得了很大的进展。吴武豪^[3]提出了一种基于物联网技术的畜禽养殖场环境监控系统,该系统采用 GPS 定位技术、RS-485 总线技术及 GPRS 技术,实现对畜禽养殖场环境的实时监测和自动调节。谢秋菊等^[4]针对猪舍环境参数传输效率不高的问题设计了一种高效的猪舍检测网路,该系统通过传感器节点采集现场环境数据,再对传感器数据进行融合,通过加权计算求得环境数值。但目前大多数养猪场仍采取传统的生猪养殖方式,对养猪场内部环境的测控采用人工管理的方法,且随着养猪规模的增大,测量数据的增多,传统管理方式准确性低、及时性差等弊端逐渐暴露。因此,笔者提出了一种基于 ZigBee 技术和组态王软件的养猪场环境监控系统,实时显示猪舍环境参数信息,控制设备开关状态和监控画面,记录被控参数历史数据并以表格和曲线显示,调整被控参数阈值;使用 ZigBee 技术搭建了猪舍无线传感网络进行数据传输,将养猪场内多个猪舍数据进行集中管理。

1 系统架构

基于 ZigBee 技术和组态王软件的养猪场环境监控系统由猪舍监控终端、摄像头、无线通信模块、猪场监控设备组成,系统架构如图 1 所示。猪舍监控终端以单片机为核心,读取传感器数据信息并对其进行处理整合,然后发送给无线传感网络节点进行数据上传,并且根据设置的环境参数阈值控制猪舍内负压风机、空调、加湿器、喂食器等设备的开关;摄像头用来拍摄猪舍内部画面,辅助操作人员了解猪舍内生

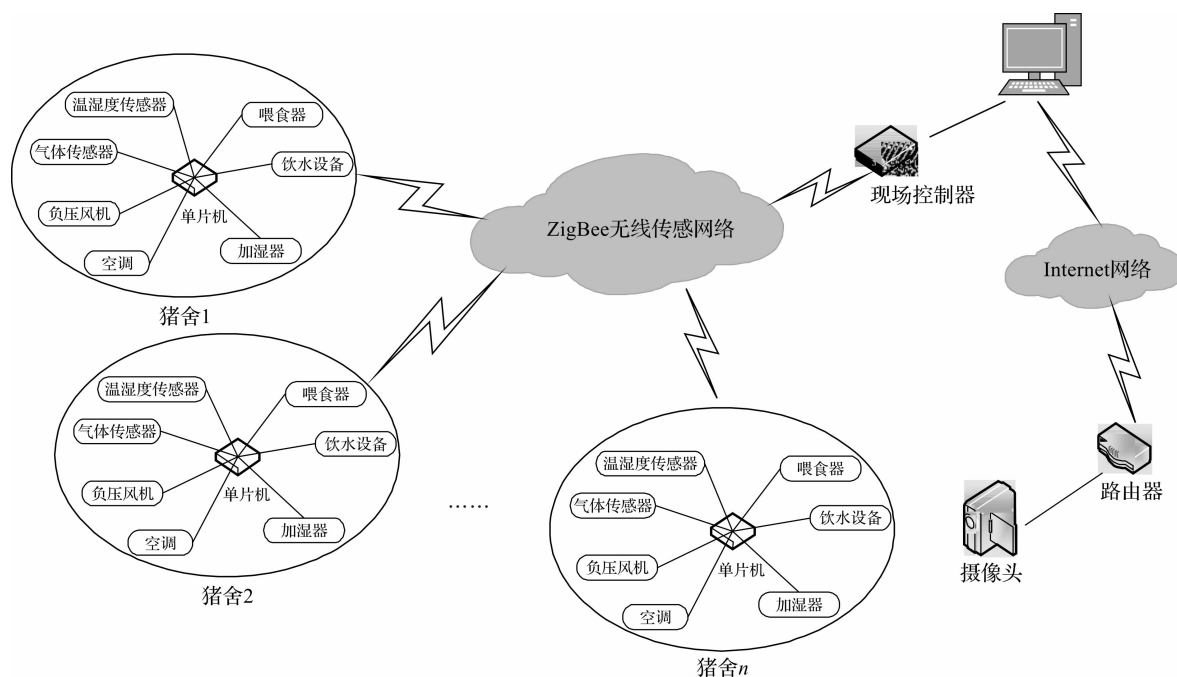


图 1 系统架构

Fig. 1 System architecture

猪的生长活动情况;无线通信模块使用 ZigBee 通信技术在猪场内搭建无线传感网络,每个猪舍当作网络中的一个节点,猪舍监控终端通过串口与当前猪舍终端节点进行数据传输,将终端处理好的猪舍环境参数和设备开关状态的数据信息上传;猪场监控设备使用组态王软件制作管理界面,与下位机的数据传输协议为 Modbus 协议,管理界面既可显示猪舍环境参数和设备开关状态,又可修改被控参数阈值和改变控制设备开关状态,使操作人员在室内即可了解猪舍信息和控制设备开关。

2 系统设计

2.1 硬件设计

2.1.1 微控制器模块

系统选用 STM32 作为主控制器,其微控制单元为 STM32f103ZET6,此芯片片内资源丰富,内部有 256~512 KB 的闪存程序存储器 and 高达 64 KB 的静态随机存储器,自带 4 个片选的静态存储器控制器,支持 IIC、SPI、USART 等通信方式,同时拥有 3 个 12 位模数转换器,21 个输入通道,可直接读取传感器信息并进行数据处理,多达 112 个快速 I/O 口,方便控制负压风机、空调等多个设备的开关,支持串行单线调试和 JTAG 接口调试,功耗低,数据处理能力强,因此满足本系统的性能需求。

2.1.2 传感器模块

2.1.2.1 温湿度传感器 猪是一种恒温动物,其正常体温为 $38.0\sim 39.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[5],因此猪舍内的温度不能超出这个范围,并且猪舍的适宜温度需要根据季节、体重等因素进行调整。猪舍内适宜的湿度为 75% 左右^[6],所以要求传感器能在潮湿的环境中也能正常工作。根据上述情况,本系统使用壁挂式温湿度传感器检测猪舍内温湿度高低,它采用高灵敏度探头,检测精度高,且具有信号稳定、测量范围宽、传输距离远等优点,潮湿环境也能正常工作。壁挂式温湿度传感器的温度测量范围为 $-40\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$,分辨率为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,线性偏差如图 2 所示,在 $5\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内偏差最小在 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内,小于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或大于 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 情况下偏差递增;湿度(相对湿度)测量范围为 $0\%\sim 100\%$,分辨率为 0.1% ,线性偏差如图 3 所示,在 $20\%\sim 80\%$ 范围内典型偏差为 $\pm 3\%$,小于 20% 或大于 80% 情况下湿度偏差递增。

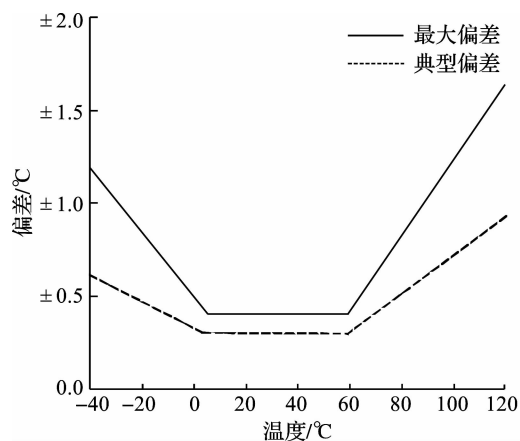


图 2 温度测量精度

Fig. 2 Precision of temperature measurement

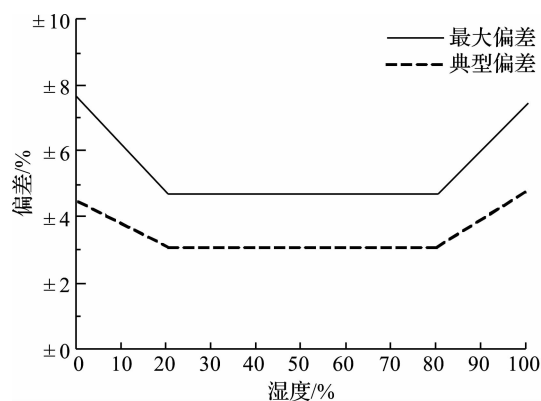


图 3 湿度测量精度

Fig. 3 Precision of humidity measurement

2.1.2.2 氨气传感器 氨气是猪舍内的有害气体之一,氨气质量浓度的高低将直接影响猪的生长发育和抗病毒能力,根据 NY/T 388—1999《畜禽场环境质量标准》^[7]规定,猪舍内的氨气质量浓度日平均值应小于等于 25 mg/m^3 。本系统采用 485 型氨气变送器检测猪舍氨气质量浓度,测量范围为 $0\sim 75\text{ mg/m}^3$,测量精度为小于等于读数的 $\pm 3\%$ ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$),工作温度范围为 $-30\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-20\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续),工作湿度范围为 $0\%\sim 100\%$ ($15\%\sim 95\%$),满足猪舍氨气检测对传感器工作环境的要求,其工作原理是采用电化学反应的方式,通过测量感应电流的大小而得到氨气的质量浓度值。

2.1.2.3 二氧化碳传感器 二氧化碳是猪舍有害气体之一,根据 NY/T 388—1999《畜禽场环境质量标

准》^[7]规定,猪舍二氧化碳质量浓度日平均值应小于等于 1500 mg/m^3 。根据检测原理不同,二氧化碳的传感器分为红外二氧化碳传感器、催化二氧化碳传感器、热传导二氧化碳传感器 3 种。本系统使用红外二氧化碳传感器,测量范围为 $0 \sim 9821 \text{ mg/m}^3$,测量精度为 $\pm 5\%$,其工作原理是基于不同气体分子的近红外光谱选择吸收特性,利用气体质量浓度与吸收强度关系(Lambert-Beer 定律)鉴别气体组分并确定其质量浓度。

2.1.2.4 甲醛传感器 规模猪场由于饲养密度大、周期长,所以要定期进行清洗消毒以防止猪舍病原体多而引发疫病。甲醛是猪舍常用消毒剂的成分之一,在消毒剂喷洒过后易残留在猪舍内,对生猪健康产生影响。本系统使用 ZE08-CH₂O 型电化学甲醛模组检测猪舍内的甲醛含量,测量范围为 $0 \sim 6 \text{ mg/m}^3$,分辨率小于等于 0.013 mg/m^3 ,工作温度范围为 $0 \sim 50^\circ\text{C}$,工作湿度范围为 $15\% \sim 90\%$,内置温度传感器,可进行温度补偿。

2.1.3 无线通信模块

养猪场内部监测点多,且结构复杂,如果使用传统 RS232/RS485 标准总线形式进行组网传输传感器数据,需要使用大量的线缆且不容易梳理和管理,因此本系统使用 ZigBee 无线通信技术在养猪场内进行组网,传输数据信息。ZigBee 是一种近距离、低复杂度的双向无线通信系统,主要用于距离短、功耗低、传输速率不高的电子设备之间的数据传输,且具有低功耗、低成本、大容量、短时延、高可靠性及灵活的网络拓扑结构等特点^[8-9]。在实际运用中,主要由 3 种组网构成,分别是星型网、树型网及网状型网结构^[10],如图 4 所示。星型拓扑网络组网简单,便于维护和管理,但其协调器处于网络的中央位置,一旦协调器出现故障,将导致整个网络瘫痪而不可用;树型结构网络是在星型网络结构基础上的叠加,可大大增加终端节点的数目,但它与星型结构网络具有同样的缺陷;网状型网络结构,其通信网络不仅存在于协调器与路由器之间,而且路由器之间也可进行信息通信^[11-12]。综上,本系统选用的组网方式是网状型网结构,通过在养猪场内搭建网状型网结构的无线传感网络,将传感器采集到的猪舍环境信息传输至上位机进行显示,以方便操作人员及时了解猪舍内部的环境状况。

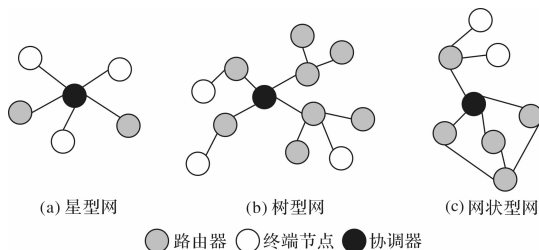


图 4 ZigBee 组网结构

Fig. 4 ZigBee network architecture

2.2 软件设计

2.2.1 猪舍监控终端程序设计

猪舍监控终端的主要功能是将猪舍环境参数信息和设备开关状态信息进行采集、处理和整合,然后通过无线传感网络进行上传,以及控制调控设备的开关。本系统采用模块化程序设计方法,将系统分为环境参数采集、数据处理、设备控制、信息上传等若干个子模块,通过设置事件标志位,选择触发相应的事件处理函数执行功能。监控终端软件流程如图 5 所示。

设备控制使用模糊控制算法对控制过程进行优化处理,其中温度和湿度模糊控制的输入为测量值与设定值的偏差 e_1 和偏差变化率 e_c ,输出为设备控制功率 u_1 ;氨气、甲醛、二氧化碳模糊控制的输入为测量值与设定值的偏差 e_2 ,输出为设备控制功率 u_2 。算法选用三角型隶属度函数,根据操作经验和相应控制策略对温度、湿度和氨气、甲醛、二氧化碳建立模糊控制规则表,见表 1~2。然后进行模糊推理,根据模糊控制规则表计算出模糊系统总的输出,最后使用重心法进行反模糊化,将输出结果转化为精确的控制量,并把运算结果填入模糊控

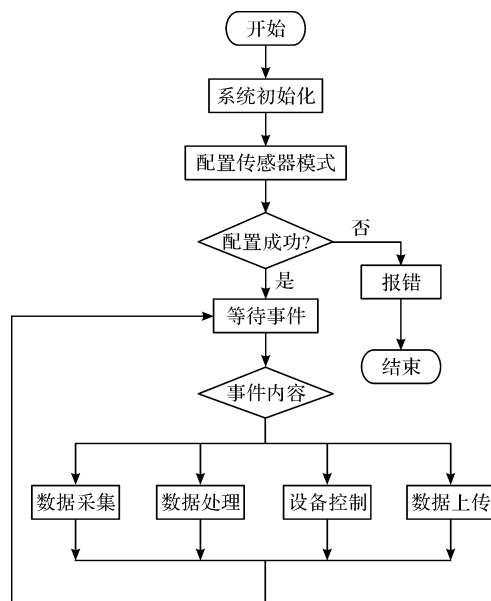


图 5 监控终端软件流程

Fig. 5 Software flow of monitoring terminal

制表中进行存储,以方便系统运行时从表中直接查询所需采取的控制功率 u 来控制设备。

表 1 温度湿度模糊控制规则表

Table 1 Fuzzy control rule table of temperature and humidity

| e_1 | e_c | | | | |
|-------|-------|----|----|----|----|
| | NB | NS | ZO | PS | PB |
| NB | PB | PB | PB | PB | PB |
| NS | PM | PS | PS | PS | ZO |
| ZO | ZO | ZO | ZO | ZO | ZO |
| PS | ZO | ZO | ZO | NS | NM |
| PB | NB | NB | NB | NB | NB |

表 2 气体质量浓度模糊控制规则表

Table 2 Fuzzy control rule table for gas concentration

| e_2 | u_2 |
|-------|-------|
| NB | ZO |
| NS | ZO |
| ZO | PS |
| PS | PM |
| PB | PB |

2.2.2 无线传感网络设计

CC2530 采用 ZStack 协议栈,其协议栈分为物理层、介质访问控制层、网络层和应用层。在协议栈中,每层都有各自特定的功能,上层可以调用下层提供的函数来实现某些功能,各层之间通过服务接入点进行数据传递。在 ZigBee 网络中进行数据通信主要有 3 种类型,分别是广播、单播和组播。广播是协调器向网络中所有节点发送数据包,每个节点都可接收;单播用于网络中两个节点之间进行数据包的收发;组播是将所有节点分组,只有同组节点才可进行数据包收发。本系统采用组播和单播的方式进行数据通信。ZigBee 协议栈采用基于事件驱动的轮询式操作系统,调用 `osal_start_system()` 函数不断查看事件表,如果有事件发生就跳出循环,读取该事件,然后调用相应的事件处理函数。软件流程如图 7 所示。

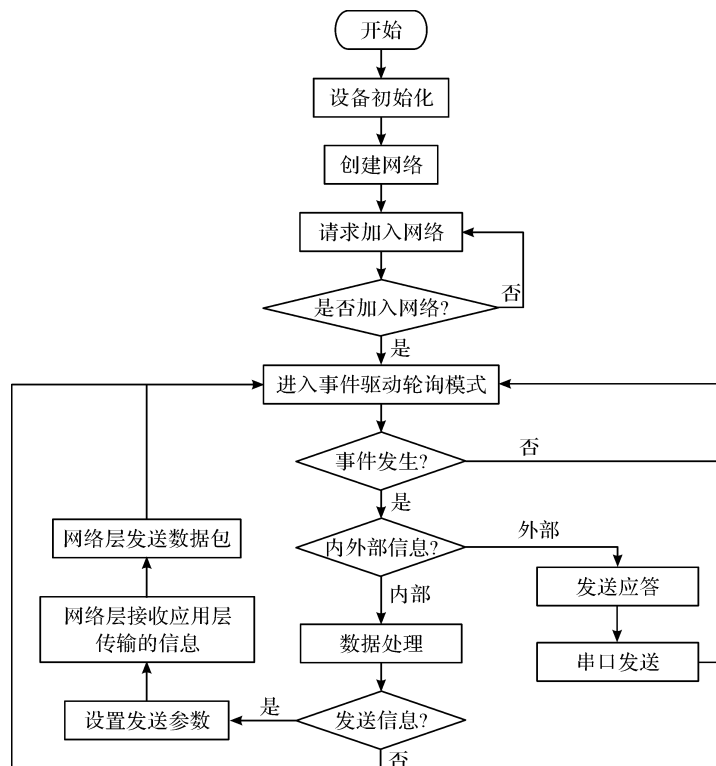


图 6 无线传感网络软件流程

Fig. 6 Software flow of wireless sensor networks

2.2.3 组态王软件设计

2.2.3.1 Modbus 通信协议 Modbus 协议是属于应用层的通信协议,它与物理层的设备和电器接口无关,既支持传统的 RS232/RS485 通信标准,也支持以太网通信标准^[13]。它描述了一控制器请求访问其他设备的过程,如何回应来自其他设备的请求,以及怎样侦测错误并记录^[14]。Modbus 采用异步串行通信方式,该协议有 2 种传输模式,分别是 RTU 模式和 ASCII 模式。其中 RTU 模式信息帧中的 8 bit 数

据包括 2 个 4 bit 16 进制字符。相对于 ASCII 模式,RTU 模式表达相同的信息需要较少的位数,且在相同通信速率下具有更大的数据流量^[15]。因此,本系统采用 Modbus/RTU 模式的通信协议,其查询命令格式如下:第 1 字节表示设备地址,第 2 字节表示功能码,第 3、4 字节表示寄存器地址,第 5、6 字节表示读取数据的长度,第 7、8 字节表示 CRC16 校验。

2.2.3.2 监控界面设计 本系统上位机使用组态王软件进行界面的设计制作,通过串口与下位机进行数据传输,将猪舍监控终端采集的环境参数信息以直观、简洁的方式进行显示,辅助操作人员对猪舍环境进行监控。系统主界面包含猪舍的环境参数信息、设备开关状态信息、报警阈值设定、界面切换等,其中环境参数信息和设备开关状态信息是自动实时获取,报警阈值初始值默认为系统最大值,可通过手动操作进行修改,界面切换可通过按钮进行不同界面的跳转。由于养猪场通常有多个猪舍,系统通过菜单按钮对猪舍进行选择监控,主界面信息显示可根据猪舍编号进行调整,初始默认显示编号为 1 的猪舍信息。

3 系统性能测试和运行测试

3.1 性能测试

利用罗卓尼克 HygroFlex8-HF8 双通道温湿度变送器、科尔若泵吸式氨气检测仪等测量仪器对猪舍环境参数进行测量,将所得结果与本系统测量结果进行对比,结果见表 3~4。

表 3 温度、湿度、氨气质量浓度测量数据对比

Table 3 Comparison of measurement data of temperature, humidity and ammonia concentration

| 序号 | 非系统测量值 | | | 系统测量值 | | | 相对误差/% | | |
|----|--------|-------|--|-------|------|--|--------|------|--------|
| | 温度/℃ | 湿度/% | 氨气质量浓度/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) | 温度/℃ | 湿度/% | 氨气质量浓度/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) | 温度 | 湿度 | 氨气质量浓度 |
| 1 | 23.43 | 70.72 | 13.00 | 23.4 | 70.7 | 12.98 | 0.13 | 0.03 | 0.18 |
| 2 | 21.15 | 76.51 | 7.07 | 21.1 | 76.5 | 7.06 | 0.24 | 0.01 | 0.11 |
| 3 | 22.42 | 72.13 | 10.74 | 22.4 | 72.1 | 10.70 | 0.09 | 0.04 | 0.35 |
| 3 | 21.73 | 73.87 | 5.72 | 21.7 | 73.8 | 5.69 | 0.14 | 0.09 | 0.53 |
| 4 | 20.94 | 71.34 | 4.31 | 20.9 | 71.3 | 4.25 | 0.19 | 0.05 | 1.43 |
| 5 | 24.37 | 72.56 | 19.90 | 24.3 | 72.5 | 19.88 | 0.29 | 0.08 | 0.08 |
| 6 | 21.95 | 75.12 | 14.02 | 21.9 | 75.1 | 13.96 | 0.22 | 0.03 | 0.38 |
| 7 | 24.56 | 77.44 | 6.78 | 24.5 | 77.4 | 6.75 | 0.24 | 0.05 | 0.34 |
| 8 | 20.31 | 79.28 | 20.94 | 20.3 | 79.2 | 20.87 | 0.05 | 0.10 | 0.33 |
| 9 | 23.64 | 78.93 | 12.70 | 23.6 | 78.9 | 12.67 | 0.17 | 0.04 | 0.24 |
| 10 | 22.76 | 76.27 | 15.45 | 22.7 | 76.2 | 15.41 | 0.26 | 0.09 | 0.30 |

表 4 二氧化碳质量浓度、甲醛质量浓度测量数据对比

Table 4 Comparison of measurement data of carbon dioxide and formaldehyde concentration

| 序号 | 非系统测量值/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) | | 系统测量值/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) | | 相对误差/% | |
|----|--|-------|---|------|--------|------|
| | 二氧化碳 | 甲醛 | 二氧化碳 | 甲醛 | 二氧化碳 | 甲醛 |
| 1 | 610.89 | 0.142 | 610.89 | 0.14 | 0.00 | 1.40 |
| 2 | 587.32 | 0.164 | 591.25 | 0.16 | 0.66 | 2.50 |
| 3 | 705.18 | 0.051 | 703.21 | 0.05 | 0.28 | 2.00 |
| 4 | 718.93 | 0.040 | 718.93 | 0.04 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | 760.18 | 0.083 | 758.21 | 0.08 | 0.26 | 3.75 |
| 6 | 789.64 | 0.112 | 795.54 | 0.11 | 0.74 | 1.82 |
| 7 | 838.75 | 0.070 | 838.75 | 0.07 | 0.00 | 0.00 |
| 8 | 887.86 | 0.121 | 891.79 | 0.12 | 0.44 | 0.83 |
| 9 | 927.14 | 0.152 | 927.14 | 0.15 | 0.00 | 1.33 |
| 10 | 913.39 | 0.090 | 913.39 | 0.09 | 0.00 | 0.00 |

由对比结果可知,本系统对猪舍环境参数的测量精度较高,其中温度和湿度相对误差小于 0.3%,氨

气质量浓度相对误差小于 1.5%,二氧化碳质量浓度相对误差在 1%以内,甲醛质量浓度相对误差小于 4%,整体测量结果接近猪舍环境实际值,为模糊控制系统输入量的准确性提供了数据保障,从而提高系统的控制效果,实现系统对猪舍环境的精确监控。

3.2 运行测试

为测试系统实际效果,将系统布于某养猪场内运行一段时间对其进行性能检测,以验证系统功能的稳定性和完备性。通过组态王软件记录一段时间温度和湿度的变化情况并绘制成曲线,观察系统控制效果,如图 7~8 所示。由图可知,系统控制效果良好,猪舍温度和湿度被有效地控制在一定范围内且波动较小。

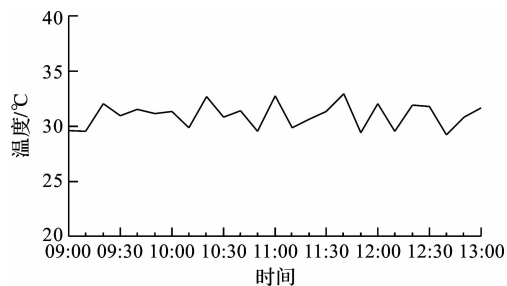


图 7 温度变化曲线

Fig. 7 Temperature change curve

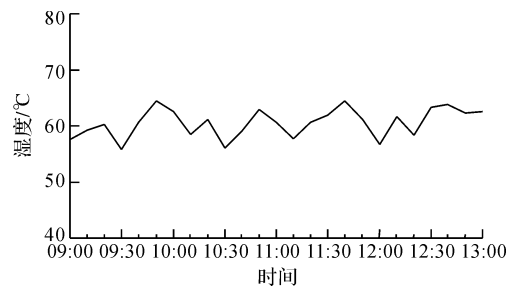


图 8 湿度变化曲线

Fig. 8 Humidity change curve

4 结 语

本研究针对现有养猪场环境监控系统存在的实时性差、控制效率低等问题,设计了一种集检测、控制、管理为一体的多猪舍环境监控系统。该系统使用 ZigBee 无线传感网络进行数据传输,克服了传统总线组网布线困难且难管理的缺点;采用模糊控制算法对设备功率进行控制,提高系统对猪舍环境的控制效率和效果。系统测试结果表明,系统测量精度高且控制效果良好,有效实现了对猪舍环境的精确监控,对提高养猪场生猪产量和品质具有重要作用;同时系统记录的猪舍环境参数变化数据可为生猪生长大数据分析提供数据来源,为养猪场监控管理系统的开发和改善提供参考,从而促进养猪业向生态健康养殖发展,提高养猪行业的经济和社会效益。

参考文献:

- [1] 洪雨. 养猪场自动饲喂与环境控制系统设计[D]. 杭州:杭州电子科技大学,2018.
- [2] 刘持标,陈泉成,李栋,等. 大型养猪场健康养殖智能化监控系统设计与实现[J]. 物联网技术,2015,5(8):57.
- [3] 吴武豪. 基于物联网的猪舍环境监控系统研究[D]. 杭州:浙江大学,2014.
- [4] 谢秋菊,苏中滨,王雪,等. 基于 WSN 的猪舍环境监测系统设计[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2015,27(2):114.
- [5] 唐冬梅. 浅谈规模化养猪场环境控制技术[J]. 农家参谋,2017(6):57.
- [6] 夏道伦. 浅谈生猪生态健康养殖技术[J]. 广东饲料,2017,26(10):45.
- [7] 中华人民共和国农业部质量标准办公室. 畜禽场环境质量标准:NY/T 388—1999[S]. 北京:中国标准出版社,1999:81.
- [8] 王鹤彬,乔兵,李长春. 基于 ZigBee 组网的星表探测装置设计及其定位方法[J]. 空间电子技术,2019,16(1):84.
- [9] 崔艳茹. 基于 ZigBee 技术的环境监测系统设计与研究[J]. 通讯世界,2018(10):269.
- [10] 杨波. Zigbee 技术下的无线传感网络分析[J]. 电脑迷,2018(4):6.
- [11] 王亮. 汽车企业中多 AGV 通讯组网技术研究[J]. 科技创新与应用,2019(5):137-138.
- [12] 王琦敏. 基于 ZigBee 无线传感器网络智能家居系统的设计与实现[D]. 淮南:安徽理工大学,2018.
- [13] 常成,武卉明,李红领. STM32F107 平台 Modbus 协议的嵌入式网关设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2018,18(12):48.
- [14] 杨日容. 基于 S7-226CN 和 ModBus 协议的供料监控系统设计及实现[J]. 自动化技术与应用,2017,36(12):69.
- [15] 邵先来,赵佳. 基于 Modbus 协议在智能家居中的应用[J]. 集成电路应用,2019,36(2):58.