

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.02.036

猪舍环境无线多点多源远程监测系统设计与试验

曾志雄 董冰 吕恩利 夏晶晶 吴鹏 沈昊

(华南农业大学工程学院, 广州 510642)

摘要: 为及时掌握猪舍内主要环境参数的时空分布特性,设计了猪舍环境无线多点多源远程监测系统。采用 ZigBee 网状拓扑结构进行无线分布式组网,节点设备以“一主多从”的形式实现多点监测。从节点以 STM32 嵌入式控制芯片为核心,搭载温度、相对湿度、氨气浓度、二氧化碳浓度等多种传感器。各从节点将实时采集的数据通过主节点上传至服务器,最终在 Web 端实现系统远程监测的功能。在广东省某规模化种猪场进行系统测试,并分析了分娩舍内各环境参数的时空分布特性。试验结果表明:分娩舍各区域温湿度变化呈负相关性,相对湿度较高;舍内氨气浓度及二氧化碳浓度变化差异性极显著($P < 0.01$);系统运行稳定,锂电池可持续工作 170 h,平均丢包率 2.39%,各环境参数监测量准确可靠,区域性差别显著。该系统有利于快速感知猪舍环境参数分布特性,可为猪舍环境控制优化提供参考。

关键词: 猪舍; 环境分布; 多点多源; 远程监测; ZigBee

中图分类号: S24; TU264+.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2020)02-0332-09 OSID: 

Design and Experiment of Wireless Multi-point and Multi-source Remote Monitoring System for Pig House Environment

ZENG Zhixiong DONG Bing LÜ Enli XIA Jingjing WU Peng SHEN Hao
(College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: In order to quickly grasp the time and space distribution characteristics of the main environmental parameters in the pig house, a wireless multi-point and multi-source remote monitoring system for the pig house environment was designed. The ZigBee mesh topology was used for wireless distributed networking, and the node devices achieved multi-point monitoring in the form of “one master, multiple slaves”. The slave node was designed with STM32 embedded control chip as the core, and equipped with various sensors such as temperature, relative humidity, ammonia concentration and carbon dioxide concentration, etc. Each slave node uploaded the data collected in real time to the server through the master node, and finally implement the function of remote monitoring of the system on the webpage. The system was tested on a large-scale breeding farm in Guangdong Province. The spatial and temporal distribution characteristics of various environmental parameters in the farrowing pig house were summarized and analyzed. The results showed that temperature and humidity changes in each area of the farrowing pig house showed a negative correlation, and the relative humidity was high. The difference between changes in ammonia concentration and carbon dioxide concentration in the house was extremely significant ($P < 0.01$). The system was stable in operation, the lithium battery can work continuously for 170 h, and the average packet loss rate was 2.39%. The monitoring of each environment parameter was accurate and reliable, and the regional difference was significant. The system was beneficial to quickly perceive the distribution characteristics of pig house environment and provide reference for the optimization of pig house environment control.

Key words: pig house; environment distribution; multi-point and multi-source; remote monitoring; ZigBee

收稿日期: 2019-11-28 修回日期: 2019-12-22
基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0701002)、国家自然科学基金项目(31971806)、广东省普通高校青年创新人才项目(自然科学基金)(2017GkQNCX010)和广东省畜禽疫病防治重点实验室开放基金项目(YDWS1904)
作者简介: 曾志雄(1989—),男,实验师,博士生,主要从事畜禽环境调控及智能化设施研究,E-mail: zhixzeng@scau.edu.cn
通信作者: 吕恩利(1979—),男,副教授,博士生导师,主要从事冷链物流技术和畜禽环境智能化设备研究,E-mail: enlily@scau.edu.cn

0 引言

近年来,我国生猪养殖业呈现集约化、规模化发展态势。随着猪只饲养密度的不断提高,舍内各种环境问题也逐渐显露出来。猪只疫病的暴发及传播与养殖环境密切相关^[1]。适宜的养殖环境可以增强猪只抵抗力,发挥种猪生产潜能,继而提高生产效益^[2]。良好的饲养环境也符合动物福利的基本要求^[3]。畜禽养殖环境的监测和有效控制越来越受到相关专家的重视^[4]。设施环境监测也是我国实现农业生产自动化、智能化和高效化的重要环节之一^[5]。

我国农业设施环境监测领域研究起步较晚,但发展迅速,应用广泛。文献[6]研究了基于 RS-485 总线的温室环境监测系统,实现了对温室内各类环境参数的实时查询。文献[7]研究了基于 CAN 总线和 WSNs 的温室环境监测系统,实现了高速率、远距离的温室环境监测。应用有线通信技术普遍存在布线难、维护复杂、成本高等问题,因此将具有低成本、低功耗和强大组网能力的 ZigBee 技术应用于农业环境监测是国内的研究热点^[8]。基于 ZigBee 的监测系统被广泛应用于水产养殖^[9]、温室^[10-13]、荔枝果园^[14-15]、矿山安防^[16]、畜禽舍^[17-20]等场景。目前,基于 ZigBee 的环境监测方案已较为成熟^[21-24],后续研究将主要集中在更低功耗、更高精度、更可靠、更智能等方面。

本文利用 ZigBee 技术开发更适用于猪舍环境的无线多点多源远程监测系统。将多台节点设备布置在舍内指定高度和位置,对温度、相对湿度、氨气浓度、二氧化碳浓度等环境参数进行实时监测。分析舍内主要环境信息的时空分布特性,并对系统丢包情况进行统计。

1 系统组成与工作原理

猪舍环境无线多点多源远程监测系统是一套可独立应用于猪舍内的软硬件信息平台^[25]。针对现有规模化猪舍的集群式饲养特征,系统前端利用 ZigBee 无线通信技术在舍内实现多监测点的分布式组网。凭借该技术优势,所有节点设备可灵活布置在舍内任意高度和位置,上电后的 ZigBee 网络拓扑结构会随之调整至最优状态。系统中的每一台节点设备均可搭载多种传感器用于采集各类数据源信息,全面客观反映猪舍内复杂的温湿度及气体环境分布规律。系统末端借助远程数据传输单元(DTU)将实时环境信息打包上传至服务器,跨平台的 Web 端应用最终将各类数据分条展示出来。

Web 端应用界面具备数据查询、设备定位、环境参数阈值设定及短信报警等功能。该监测系统同时是一套完备的物联网应用系统,其 3 层架构组成包括:猪舍环境感知层、无线传输服务层、多客户端应用层,如图 1 所示。

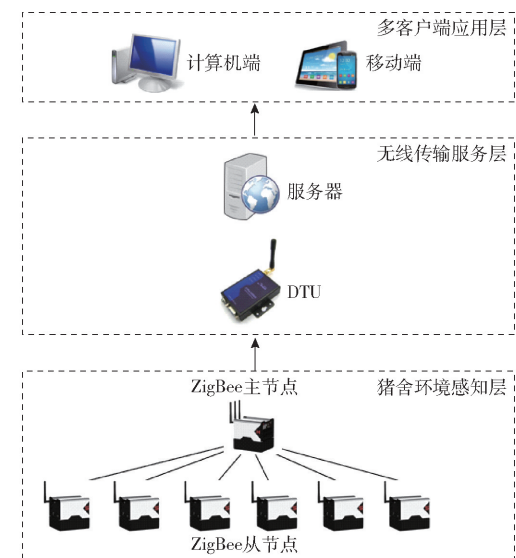


图 1 系统组成框图

Fig. 1 Architecture of system composition

猪舍环境感知层是监测系统的最底层,借助“一主多从”的 ZigBee 网状拓扑结构^[26]将底层硬件分为 ZigBee 从节点及 ZigBee 主节点两种设备类型。从节点数量多,可离散分布于猪舍内任意高度和位置进行数据采集。主节点仅有一台,用于收集汇总全部从节点数据信息并打包上传至服务层。主从节点密切配合共同完成感知层采集及上传数据的任务。

无线传输服务层接收来自主节点的数据包,依托无线分组交换技术(GPRS),按照约定的 IP 地址及端口号与服务器建立连接,利用 DTU 实现数据点对点的透明传输。服务器将接收到的报文数据进行逐一解析,同时将历史数据存储于软件数据库中。多客户端应用层采用浏览器/服务器(B/S)模式,将数据库连接至浏览器,借助网页实现系统远程监测的功能。基于浏览器的应用可满足计算机端或移动网络设备端的跨平台需求。

2 系统硬件设计

2.1 无线传感器从节点

作为监测系统感知层硬件之一,无线传感器从节点内部结构的合理搭配和功能划分对猪舍环境监测起到至关重要的作用。无线传感器从节点一般包括传感器模块、数据处理模块、无线通信模块及供电模块 4 部分。

本系统无线传感器从节点包括多传感器模块、

数据处理单元、通信调试接口、ZigBee 发送终端、电池及供电模块 5 部分,见图 2。其中,多传感器模块可同时检测 7 种类型环境参数,包含温度、相对湿度、氨气(NH_3)浓度、二氧化碳(CO_2)浓度、硫化氢(H_2S)浓度、甲醛(HCHO)浓度、可吸入颗粒物($\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$)浓度。温度与相对湿度采用数字温湿一体型传感器,二氧化碳浓度则选用内置温度补偿的红外传感器,可吸入颗粒物浓度利用激光检测原理的激光传感器,其余类型传感器均为电化学气体传感器。多数传感器本身已将探头与信号处理电路集成一体,使其具备串口输出功能,可直接连接数据处理单元。数据处理单元是传感器节点的核心组成部分,选用 32 位 Cortex 内核 100 引脚 STM32F103VET6 作为主芯片,将传感器信息分类汇总后传输至 ZigBee 发送终端。

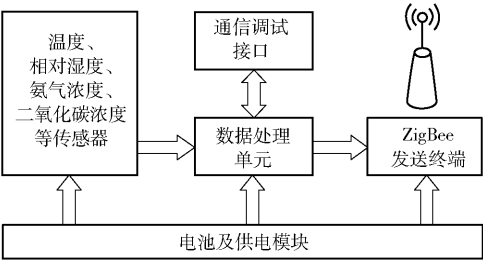


图 2 从节点结构组成框图

Fig. 2 Composition of slave node structure

无线通信模块选用 ZigBee^[27],在“一主多从”的无线网络拓扑结构中,1 台主节点最多可搭配 254 台从节点,单点覆盖面积达 100 m²。通信调试接口为数据处理单元的外围拓展电路,添加 USB 转 TTL 芯片便于上位机对节点设备进行调试及配置操作。电池及供电模块选用容量为 10 000 mA·h 的 12 V 可充电式锂电池,一次充电可供节点设备持续工作 170 h,主板变压芯片满足各类 5 V 传感器、处理单元及 ZigBee 发送终端的正常供电。无线传感器从节点各单元分工明确,共同实现系统底层的数据采集功能。无线传感器从节点在实地猪场试验中所选配传感器类型包括温湿度、氨气浓度及二氧化碳浓度传感器。其中,温湿度传感器型号为 DHT21,温度量程为 -40.0 ~ 80.0℃,分辨率为 0.1℃,精度为 ±0.5℃;相对湿度量程为 0 ~ 100%,分辨率为 0.1%,精度为 ±3%。氨气浓度传感器型号为 ZE03,量程为 0 ~ 0.005%,分辨率为 1 × 10⁻⁸,精度为 ±5%。二氧化碳浓度传感器型号为 MH-Z19B,量程为 0 ~ 0.01,分辨率为 0.000 1%,精度为 ±5%。

2.2 无线网关主节点

作为监测系统感知层的另一种硬件设备,主节点充当了 ZigBee 中继及网关的作用。ZigBee 负责

接收所有传感器从节点的实时数据,将数据信息以报文格式打包后传至 DTU,无线网关主节点组成结构如图 3 所示。

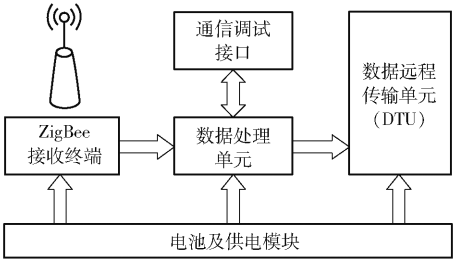


图 3 主节点结构组成框图

Fig. 3 Composition of master node structure

区别于无线传感器从节点,该无线网关主节点包括 ZigBee 接收终端、数据处理单元、通信调试接口、数据远程传输单元(DTU)、电池及供电模块 5 部分。其中,ZigBee 接收终端作为协调器的数据收集单元,汇总来自全部从节点上传的数据信息。主节点与所有从节点共同组成无线传感器网络(WSN),依托 ZigBee 协议栈内多跳及自组网的优势,从节点间可自主探索最优路径并实现数据“接力式”传递^[28]。主节点不搭载任何传感器模块,所以数据处理单元选用 32 位 Cortex - m 内核 48 引脚的 STM32F103C8T6 作为主芯片,只负责汇总数据并以 HTTP 报文数据格式进行打包上传。通信调试接口的设置与从节点一致,在外围拓展电路上添加 USB 转 TTL 芯片便于上位机对主节点进行调试及配置操作。按指定格式打包完成的报文数据通过串口传至 DTU,DTU 最后按照指定 IP 地址及端口号将报文透明传输至服务器。供电与无线传感器从节点一致,采用容量为 10 000 mA·h 的 12 V 锂电池及配套变压芯片实现。

2.3 主从节点样机

根据无线主、从节点的结构设计及装配方法,进行主、从节点的样机制作。以“M”标志表示主节点(Master),“S”标志代表从节点(Slave),主节点外置天线共包含 ZigBee、DTU 及 GPS 3 种,从节点只包含 ZigBee 天线。主、从节点实物图及从节点电路主板如图 4 所示。

3 系统软件设计

3.1 自组网通信过程

系统的组网通信过程依托 ZigBee 协议栈及主从节点间的程序设计^[29]。在“一主多从”的工作模式下,为便于试验,系统应按照提前设定的自组网通信过程执行各项操作命令,以确保所有节点通信正常,各从节点数据上传的时间点一致。以从节点单

次数据上传过程为例,本系统的自组网通信过程如图 5 所示。

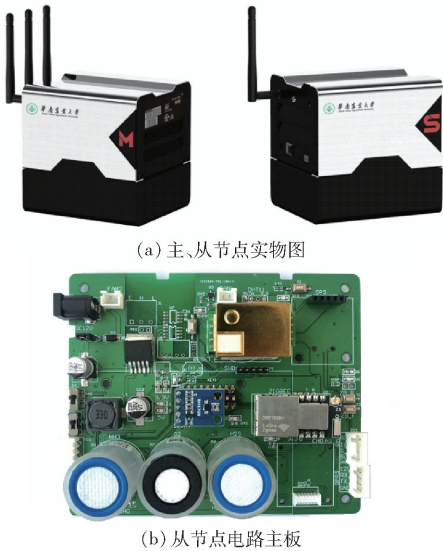


图 4 主、从节点及从节点电路主板

Fig. 4 Master and slave nodes and circuit board of slave node

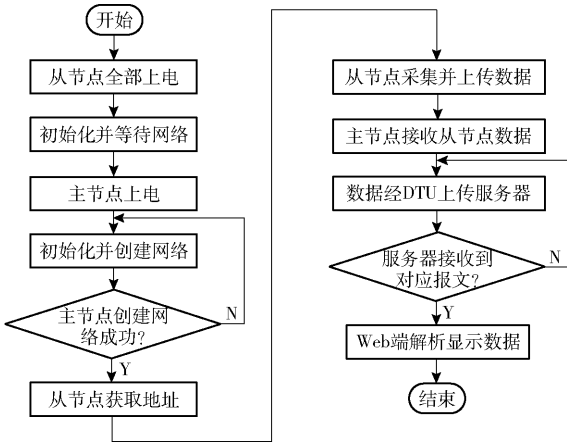


图 5 自组网通信过程

Fig. 5 Self-organizing network communication process

系统开始将所有从节点逐一上电,从节点相继开启之后先进行传感器预热的初始化过程,并等待主节点网络建立。此时从节点均处于待机状态,节点间无连接,数据不采集。直到主节点上电并初始化后,开始按照约定信道、天线方式、传输模式及波特率等设置内容建立 ZigBee 网络。如果网络建立成功,主节点将向整个网络广播接入命令,从节点在规定时间内获取该命令,并以提前设定的静态 ID 号作为唯一通信地址加入该网络。如果网络创建不成功,主节点将重新初始化并创建网络连接。若存在部分从节点未收到接入网络命令,则等待下一轮数据上传过程再次加入。

主从节点间基于 ZigBee 的分布式网络建立成功后,从节点随即开始按照设定的时间间隔进行数据采集与上传。主节点在规定的窗口内汇总接

收每一条来自不同从节点的数据信息,并及时以 HTTP 报文格式打包传至 DTU。DTU 在主节点上电初始化过程中已完成与服务器的连接,当主从节点间的传输链路建立之后即可对数据进行远程透明传输。服务器接收到相应报文后,其内容一经解析即可实时显示在 Web 端。若本轮数据在主从节点间或 DTU 传输服务器过程中出现遗失,则视为丢包。

3.2 Web 端远程监测管理系统

Web 端远程监测管理系统采用 Tomcat 作为 Web 应用服务器,以 Mysql 作为基础数据库,以 Java 作为编程语言,在 J2EE 系统架构的解决方案下实现远程监测管理平台搭建。其中, Tomcat 和 Mysql 均为开源且较为成熟的 Web 系统解决方案, Java 语言同时具有功能完善、可移植性强等优点,以上相关工具和解决方案为 Web 系统的搭建提供技术支持。

用户利用注册手机号及设定密码登录进入 Web 端远程监测管理系统页面,主界面包含“查看环境参数”、“查看设备位置”、“设置报警阈值”、“手机短信报警”等功能选项。点击“查看环境参数”选项后即可进入实时监测界面,如图 6 所示。在界面左上角输入节点 ID 号可查询该从节点监测到的实时数据,点击右上角“数据下载”可获取对应从节点的历史数据记录。界面下侧输入页数可在线查询全部历史数据记录。Web 端的应用实现系统跨平台功能,用户只需借助上网设备即可实时查看当前及历史环境信息。



图 6 系统 Web 端数据监测界面

Fig. 6 Data monitoring interface of system Web page

4 试验方法与参考指标

试验选取广东省云浮市某规模化种猪场进行系统测试,该场区猪舍均属于美式通风结构建筑,配备降温湿帘、屋顶小窗及侧墙负压风机等环控设施。试验时间为 2018 年 7 月 15—25 日,除去设备布置、更换猪舍、清理节点、电池充电等耗时,总有效测试时长约 212 h。试验测试猪舍类型包括配怀舍(46 h)、分娩舍(72 h)、保育舍(49 h)及生长舍(45 h)。每

次试验开始前,提前进入对应猪舍内进行勘察踩点,详细记录每种猪舍的猪只类型和数量、建筑尺寸、通风方式、环控原理等。绘制猪舍平面布局图并进行监测区域划分,为节点设备的合理布置提供参考。试验完成后,下载试验数据并分类编排整理,对原数据进行预处理,剔除异常数据包,进行统计学分析并绘制图像。

种猪场分娩舍的设计是确保其经济和生产成功的最重要因素^[30]。为此,本文以分娩舍为例,介绍试验设备的选点布置、区域划分、评价依据及数据分析等内容。最终利用获取的试验数据对各环境参数的时空分布特性进行探究,统计各类型猪舍测试周期内的丢包率。

4.1 节点布置方法

为避免产后母猪的应激反应对哺乳仔猪造成影响,在猪场管理人员许可下进行了产前分娩舍的试验测试。试验分娩舍内存有妊娠期 107 d(产前 7 d)的待产母猪共 30 头。建筑外墙一侧设置有降温湿帘,舍内通风采用屋顶小窗进风,侧墙负压风机排风方式。屋顶小窗为横向排列,每列 5 个共 2 排。侧墙负压风机为纵向排列,风机包括 1 台变频风机(80 cm),3 台恒速风机(100 cm)。试验舍长 1 990 cm,舍宽 1 100 cm,高度 260 cm,过道宽度 104 cm,每个哺乳母猪栏单格长 240 cm,宽 182 cm,总计 30 格。单格内限位栏宽度 70 cm,仅容纳一头哺乳母猪。猪舍地面下方为水泡粪地沟,沟内设有地沟风机进行排风。

试验分娩舍内部空间适中,待产母猪的限位栏间隔较宽,3 排栏体单格均为纵向排列。猪只头对头,尾对尾分布,待产母猪腹部一侧留有仔猪活动空间。根据实地勘察结果,结合猪只分布及舍内通风特点,选取部分限位栏单格内的母猪及仔猪猪头区域作为节点设备的主要监测点,并选取舍内出风口区域及舍外区域作为试验对照组。

对节点设备进行合理布置划分,以研究试验分娩舍内各环境因素的分布特性。为此,将舍内监测区域详细划分为母猪呼吸区域高度平面(0.7 m)、仔猪呼吸区域高度平面(0.35 m)、出风口区域高度平面(0.7 m)及舍外区域,分别挂设 15、9、3、2 台从节点设备,设置每 10 min 采集一次数据。主节点放置于入口信号较好区域,确认主从节点位置编号并开启电源进行 72 h 不间断监测。试验过程中通过后台定时查看各节点设备数据上传记录。试验分娩舍平面结构的侧、俯视图及监测区域主从节点分布如图 7 所示。

4.2 环境参考指标

为探究试验分娩舍在现有环控基础上各类环境

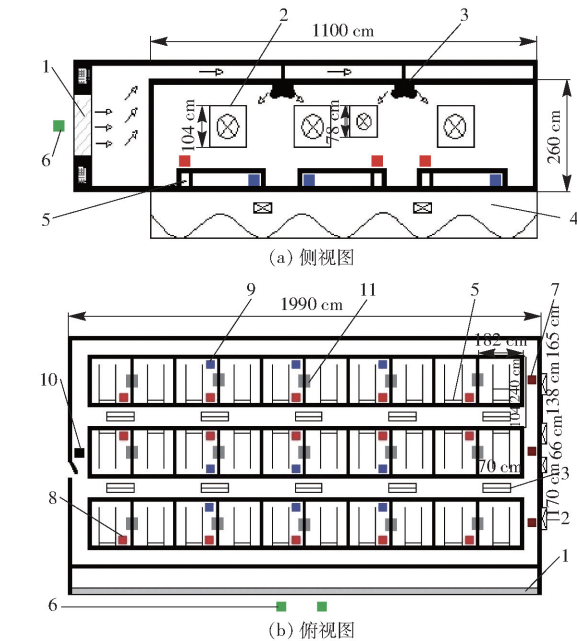


图 7 试验分娩舍侧、俯视图及各区域节点分布
Fig.7 Lateral and top views of test farrowing pig house and distribution of nodes in each region

- 1. 湿帘 2. 负压风机 3. 屋顶小窗 4. 地沟 5. 限位栏 6. 传感器从节点(舍外) 7. 传感器从节点(出风口区域) 8. 传感器从节点(母猪呼吸区域) 9. 传感器从节点(仔猪呼吸区域) 10. 网关主节点 11. 保温灯

信息的分布情况,数据分析前明确猪舍内各环境参数的评价标准具有重要意义。本文参考《规模猪场环境参数及环境管理》(GB/T 17 824. 3—2008)的各项指标要求,明确不同猪舍空气内温度和相对湿度的舒适范围,高、低临界值。除舍内温度和相对湿度的指标要求外,标准还涉及各类型猪舍空气中的 3 项有关卫生指标,包括氨(NH₃)、硫化氢(H₂S)、二氧化碳(CO₂)在内的空气污染物浓度应小于指标要求,如表 1 所示。

5 试验结果分析

5.1 时间变化特性

取试验分娩舍完整 24 h 时间周期内 4 个区域的采样数据进行时间变化特性分析。利用 Excel 绘制曲线,分别对应舍外、出风口、仔猪区域及母猪区域监测到的温度、相对湿度、氨气浓度及二氧化碳浓度平均值变化。根据 24 h 内这 4 种环境参数变化趋势初步得到其时间分布特性,如图 8 所示。

将采集到数据利用 SPSS 软件进行统计学分析。采用单因素 ANOVA 两两比较方式中的 S - N - K(S)分析方法,计算得出舍外、出风口、仔猪区域及母猪区域内各环境因素组间差异极显著($P < 0.01$),各环境因素 $\alpha = 0.05$ 的子集间显著性差异情况如表 2 所示。

表 1 猪舍内温度、相对湿度及其他卫生指标

猪舍类别	温度/℃			相对湿度/%			氨气质量浓度/ (mg·m ⁻³)	硫化氢质量浓 度/(mg·m ⁻³)	二氧化碳质量 浓度/(mg·m ⁻³)
	舒适范围	高临界值	低临界值	舒适范围	高临界值	低临界值			
配怀舍	15~20	27	13	60~70	85	50	25	10	1 500
分娩舍	18~22	27	16	60~70	80	50	20	8	1 300
保育舍	20~25	28	16	60~70	80	50	20	8	1 300
生长舍	15~23	27	13	60~75	85	50	25	10	1 500

注:表中数值均指猪床上 0.7 m 处的温度和相对湿度。表中高、低临界值指生产临界范围,过高或过低都会影响猪只的生产性能和健康状况。

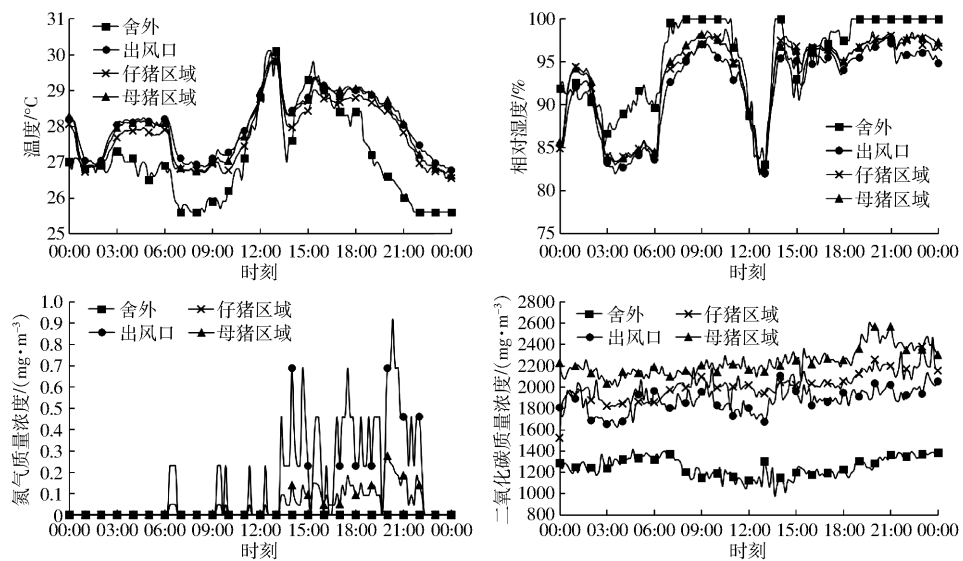


图 8 分娩舍 4 种环境参数 24 h 内各区域变化曲线

Fig.8 Four environmental parameter curves of each area within 24 h in farrowing pig house

表 2 分娩舍不同区域内各环境参数子集间显著性差异

猪舍区域	温度/℃		相对湿度/%		氨气质量浓度/(mg·m ⁻³)			二氧化碳质量浓度/(mg·m ⁻³)			
	1	2	1	2	1	2	3	1	2	3	4
舍外	27.11		92.03		0			1 245.54			
出风口		27.78	93.28		0			1 875.53			
仔猪区域		27.99	93.29			0.05				2 012.37	
母猪区域		28.04		95.34			0.15				2 231.65
显著性	1	0.05	0.08	1	1	1	1	1	1	1	1

注:表中调和平均值的样本数为 145,显示在齐性子集中各组的平均值省略到小数点后两位。

参考表 1 中的相关环境指标,结合曲线及统计学分析结果对试验分娩舍 4 种环境参数随时间的变化特性进行分析。

舍外与舍内各区域温差明显,舍内外温度差异极显著($P<0.01$)。猪只活体散热导致舍内温度普遍高于舍外 1~2℃,舍内不同位置区域的温度变化趋向一致($P=0.05$)。在中午至夜间的较长时间内空气温度均超过高临界值(27℃),并于 13:00 左右达到当日峰值(30℃)。综合温度变化曲线分析得出,舍内存在一定时间段的持续性高温问题。

舍外传感器节点因早、晚的凝露现象使其在 09:00 及夜间相对湿度监测值接近 99.9%。舍内外相对湿度差异极显著($P<0.01$),在第一子集中,舍

外、出风口及仔猪呼吸区域相对湿度平均值间的差异性并不显著($P=0.08$)。舍内空气相对湿度均超过高临界值(80%),从变化曲线看,相对湿度与温度变化呈现明显负相关性。

因试验分娩舍采用美式机械强制通风方案,舍内 4 台侧墙风机的横向通风能力较强,大通风量的设置下使有害气体得以快速排除。测试结果显示,舍内各区域氨气质量浓度均远低于指标值(20 mg/m³),舍内外氨气质量浓度差异极显著($P<0.01$)。从 24 h 内监测数据的变化曲线上看,在出风口区域存在氨气积聚现象,并于 20:00 左右到达当日峰值(0.9 mg/m³)。分娩舍测试期间均为产前母猪无仔猪,所以只在母猪区域有微量氨气检出。

作为对照组的舍外传感器节点布置在湿帘前端,承接临近猪舍的排气口下游区域,二氧化碳质量浓度监测值略高于一般室外环境(26℃,101.325 kPa)的范围(628 ~ 807 mg/m³)。舍内外二氧化碳质量浓度差异极显著($P < 0.01$),舍内不同区域的质量浓度变化幅度较大,平均值差异明显。在待产母猪较强的呼吸作用下,母猪区域的平均二氧化碳质量浓度监测值最高,并于 21:00 左右达到当日峰值(2 600 mg/m³)。其他舍内区域的二氧化碳质量浓度变化幅度相对较小,夜间普遍高于白天。

5.2 空间分布特性

基于上文介绍的不同区域内 4 种环境参数的时间变化特性,以试验分娩舍 0.7 m 高度(国标数据采集高度)的母猪呼吸区域作为研究对象。取各环境参数在 24 h 内峰值时间点的采样数据进行空间分布特性分析,重点表现试验分娩舍同一高度平面的环境分布差异性。根据各环境参数监测值的实际分布情况,最终为环境控制优化提供参考。

在时间变化曲线图中,母猪区域 0.7 m 高度平面内的温度、相对湿度、氨气质量浓度及二氧化碳质量浓度峰值时间点依次出现在 13:00、09:00、20:00 及 21:00 前后。选取这 4 个时间点对所有母猪区域采集的环境数据进行绘图分析,利用 Matlab 绘制各环境参数的三维(舍长、舍宽、指标)曲面及二维(舍长、舍宽)平面分布云图,从多角度图像信息中获取试验分娩舍在国标检测平面内各环境参数的空间分布特性,如图 9 所示。

参考表 1 相关环境指标,对试验分娩舍 4 种环境参数在母猪呼吸区域的 0.7 m 高度平面上,进行峰值时间点的空间分布特性分析。

试验分娩舍在 13:00 左右出现持续性高温现象($\geq 30^{\circ}\text{C}$),高温区域重点集中于分娩舍中部,并向四周呈现放射性温度递减。舍内温度整体分布规律表现为中间高,四周低。

分娩舍内在 09:00 左右首次出现高湿度峰值情况($\geq 95\%$),在该时间点前后,舍内整体湿度水平

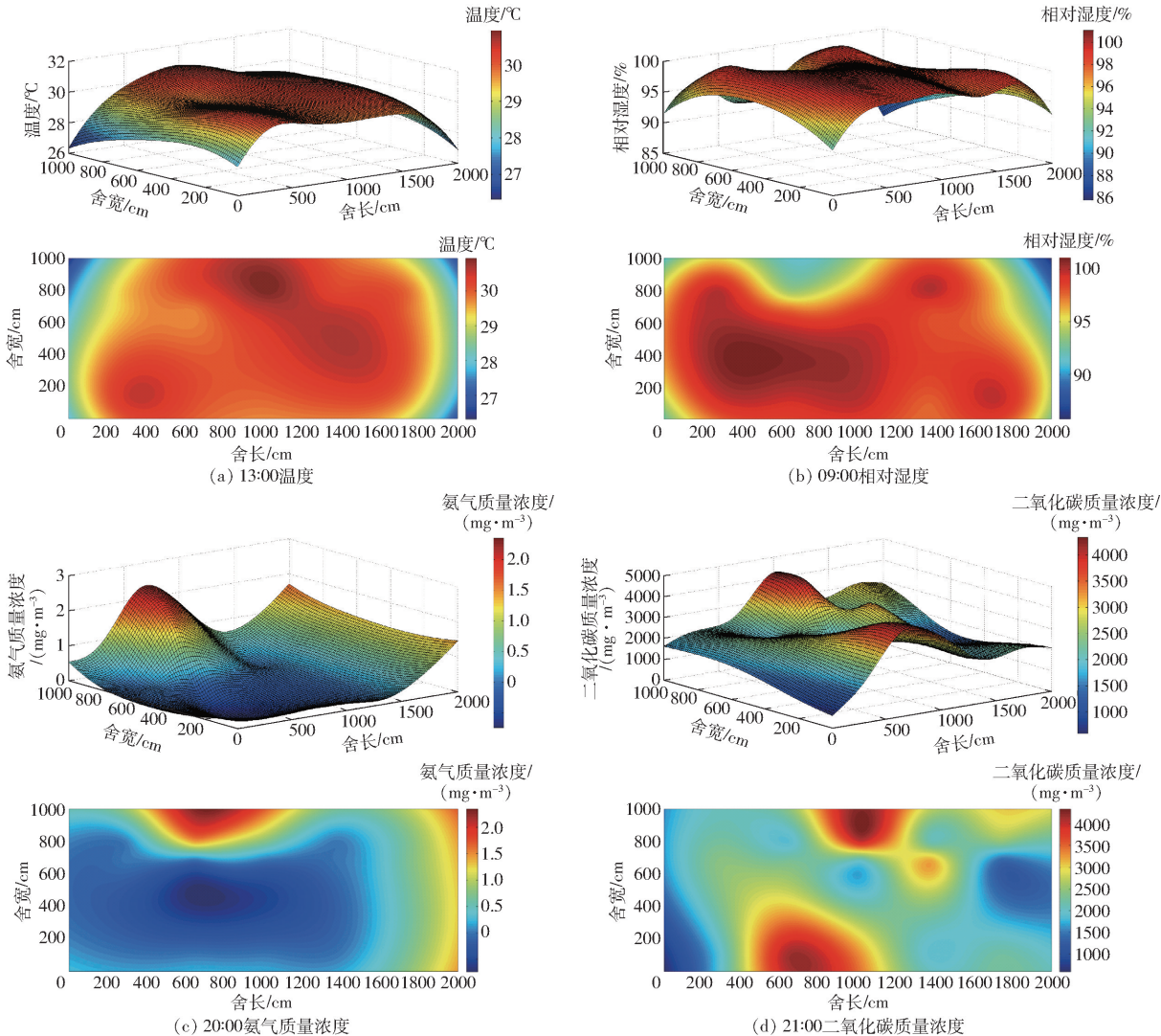


图 9 不同时间点分娩舍 0.7 m 高度平面各环境参数云图

Fig. 9 Different environmental parameters cloud maps of 0.7 m height plane at different time points in farrowing pig house

均远超表 1 中的高临界值(80%)。分布云图中,相对湿度在靠近湿帘侧的屋顶小窗下方最高,靠近出风口区域最低。

分娩舍内以氨气为主的有害气体会导致猪只发病率升高,而机械强制横向通风方式则有利于有害气体排除。从氨气的时空分布情况来看,分娩舍 0.7 m 高度平面区域内整体氨气质量浓度偏低,并在 20:00 左右到达较小的峰值浓度。空间分布规律呈现出边角高、中间低。在远离湿帘一侧的墙边及出风口角落附近,氨气积聚现象显著。

分娩舍母猪区域的二氧化碳质量浓度于 21:00 左右到达峰值(2 600 mg/m³)。在峰值时间点的空间平面内,高浓度二氧化碳呈离散式分布于两侧舍长的墙边附近。中间屋顶小窗下至出风口的排风通道附近二氧化碳浓度较低,可以推断是由于新鲜空气补充产生的结果。根据氨气及二氧化碳这两类有害气体的空间分布情况,可得该猪舍内有害气体多积聚于建筑墙体及边角区域,进一步说明试验猪舍现有环控水平有待提高。

基于监测系统对试验分娩舍内时间变化特性及空间分布特性的探究,分析得出该试验分娩舍存在一定时间周期内的高温、高湿问题,温湿度变化呈现明显负相关性。对氨气、二氧化碳这类有害气体的监测中发现舍内存在“高浓度死角”问题,间接反映出试验猪舍建筑通风方式及环境控制逻辑缺乏一定科学性。本文猪舍环境无线多点多源远程监测系统较为全面地反映出 4 种环境参数的时空分布特性,通过对试验数据的可视化分析,直观诊断出猪舍环境控制系统的潜在问题。

5.3 丢包统计

在试验全部完成后,针对后台记录的数据包接收情况进行丢包统计。参与统计对比的猪舍种类包括配怀舍、分娩舍、保育舍及生长舍,每种猪舍的有效测试时长、应收数据包数量、实际收包数量及丢失数据包数量等试验数据如表 3 所示,由表可知,平均丢包率为 2.39%。

根据统计结果得出不同类型猪舍丢包情况略有差异。分析测试过程发生丢包的主要环节包括:①主

表 3 丢包情况统计
Tab.3 Packet loss statistics

评价指标	配怀舍	分娩舍	保育舍	生长舍
有效时长/h	46	72	49	45
应收包数/个	10 488	17 589	10 952	7 317
实收包数/个	10 311	16 981	10 787	7 103
丢失包数/个	177	608	165	214
丢包率/%	1.688	3.457	1.507	2.925

从节点通信间距过近或过远,距离过近(≤1 m)会导致 ZigBee 信号呈现饱和状态使通信受阻发生丢包。距离稍远(≥50 m)则会导致信号衰弱,数据传输链路断开后主从节点无法通信。②主从节点之间有隔墙或有金属阻挡物产生的电离屏蔽现象对信号的削弱作用。③测试猪场附近的移动网络信号较差,使基于 GPRS 网络的 DTU 设备偶尔出现无服务的情况也会形成丢包。真实测试过程中丢包原因为后两种的可能性较大,从监测系统的一般要求及用于试验数据完整性分析的角度考虑,本系统的丢包试验结果满足要求。

6 结论

(1)分娩舍时间变化特性表明,猪舍内外各环境参数变化差异性显著,各区域温湿度变化呈负相关性。猪舍内午时前后有持续性高温现象,全天内相对湿度远超国标高临界值,反映出猪舍内环控设施未能起到良好的降温除湿作用。氨气与二氧化碳有害气体从下午开始呈现增多趋势,均于夜间达到峰值。

(2)分娩舍空间分布特性表明,在指定高度平面内,温度分布表现为中间高、四周低。相对湿度分布表现为靠近湿帘侧高、接近出风口附近低。氨气及二氧化碳有害气体多积聚于猪舍建筑墙体的边角区域,进一步说明试验猪舍内存在“环控死角”。

(3)系统整体测试结果表明,该系统运行稳定,试验设备布点方便、快捷,平均丢包率 2.39%,一次充电后设备持续工作时间可达 170 h。各环境参数测量准确可靠,区域性差别显著,诊断效果好。所得时空分布特性对猪舍环境控制优化具有一定参考意义。

参 考 文 献

[1] 闫振宇,陶建平. 动物疫情信息与养殖户风险感知及风险应对研究[J]. 中国农业大学学报,2015,20(1):221-230.
YAN Zhenyu,TAO Jianping. Research on the epidemic information and pig farmer's risk perception and risk coping behavior[J]. Journal of China Agricultural University,2015,20(1):221-230. (in Chinese)

[2] 王冉,徐本崇,魏瑞成,等. 基于无线传感网络的畜禽舍环境监控系统的设计与实现[J]. 江苏农业学报,2010,26(3):562-566.
WANG Ran,XU Benchong,WEI Ruicheng,et al. Design and implementation of an intelligent environmental monitoring system for animal house based on wireless sensor net(WSN)[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences,2010,26(3):562-566. (in Chinese)

[3] PETER A,TORBEN G,HENRIK K. Development of a real-time computer vision system for tracking loose-housed pigs[J].

- Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 76(2):169–174.
- [4] 王雷雨, 孙瑞志, 曹振丽. 畜禽健康养殖中环境监测及预警系统研究[J]. 农机化研究, 2012, 34(10):199–203.
WANG Leiyu, SUN Ruizhi, CAO Zhenli. Study of monitor and early warning system of livestock health culture[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012, 34(10):199–203. (in Chinese)
- [5] 刁智华, 陈立平, 吴刚, 等. 设施环境无线监控系统的设计与实现[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7):146–150.
DIAO Zhihua, CHEN Liping, WU Gang, et al. Design and implementation of wireless monitoring and control system for protected environment[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(7):146–150. (in Chinese)
- [6] 韩慧. 基于 RS-485 总线的温室环境监测系统[J]. 仪表技术与传感器, 2012, 48(3):60–61.
- [7] 杨靖, 林益, 李捍东. 基于 CAN 总线和 WSNs 的温室环境监测系统设计[J]. 农机化研究, 2012, 34(6):157–160.
YANG Jing, LIN Yi, LI Handong. Design of greenhouse environment supervisory system based on CAN bus and WSNs[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012, 34(6):157–160. (in Chinese)
- [8] 王玲, 邹小昱, 刘思瑶, 等. 基于 RFID 与 ZigBee 的羊场养殖信息管理系统[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(9):247–253.
WANG Ling, ZOU Xiaoyu, LIU Siyao, et al. Development of handheld terminal for sheep breeding information management based on RFID and ZigBee[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(9):247–253. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20140940&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.09.040. (in Chinese)
- [9] 杨旭辉, 周庆国, 韩根亮, 等. 基于 ZigBee 的节能型水产养殖环境监测系统[J]. 农业工程学报, 2015, 31(17):183–190.
YANG Xuhui, ZHOU Qingguo, HAN Genliang, et al. Energy-efficient aquaculture environmental monitoring system based on ZigBee[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(17):183–190. (in Chinese)
- [10] 韩华峰, 杜克明, 孙忠富, 等. 基于 ZigBee 网络的温室环境远程监控系统设计与应用[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7):158–163.
HAN Huafeng, DU Keming, SUN Zhongfu, et al. Design and application of ZigBee based telemonitoring system for greenhouse environment data acquisition[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(7):158–163. (in Chinese)
- [11] 张猛, 房俊龙, 韩雨. 基于 ZigBee 和 Internet 的温室群环境远程监控系统设计[J]. 农业工程学报, 2013, 29(增刊1):171–176.
ZHANG Meng, FANG Junlong, HAN Yu. Design on remote monitoring and control system for greenhouse group based on ZigBee and Internet[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(Suppl. 1):171–176. (in Chinese)
- [12] VLISSIDIS A, CHARAKOPOULOS S, MAKRYGIANNAKIS E. The development of a platform based on wireless sensors network and ZigBee protocol for the easy detection of the forest fire[M]. Image Processing and Communication Challenges 2. Springer Berlin/Heidelberg, 2010:391.
- [13] TETSUO M, YASUSHI H. An intelligent control for greenhouse automation oriented by the concepts of SPA and SFA—an application to a post-harvest process[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 29(1):3–20.
- [14] 谢家兴, 余国雄, 王卫星, 等. 基于无线传感网的荔枝园智能节水灌溉双向通信和控制系统[J]. 农业工程学报, 2015, 31(增刊2):124–130.
XIE Jiaying, YU Guoxiong, WANG Weixing, et al. Bidirectional communication and control system of intelligent water-saving irrigation in litchi orchard based on wireless sensor network[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(Suppl. 2):124–130. (in Chinese)
- [15] 余国雄, 王卫星, 谢家兴, 等. 基于物联网的荔枝园信息获取与智能灌溉专家决策系统[J]. 农业工程学报, 2016, 32(20):144–152.
YU Guoxiong, WANG Weixing, XIE Jiaying, et al. Information acquisition and expert decision system in litchi orchard based on internet of things[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(20):144–152. (in Chinese)
- [16] ARICI T, ALTUNBASAK Y. Adaptive sensing for environment monitoring using wireless sensor networks[C]// Wireless Communications and Networking Conference. Atlanta, 2004:2347–2352.
- [17] 朱伟兴, 戴陈云, 黄鹏. 基于物联网的保育猪舍环境监控系统[J]. 农业工程学报, 2012, 28(11):177–182.
ZHU Weixing, DAI Chenyun, HUANG Peng. Environmental control system based on IOT for nursery pig house[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(11):177–182. (in Chinese)
- [18] STEVEN J H. The environment in swine housing[J]. Factsheet, 2009(1):1–7.
- [19] 周景文, 李临生, 李慧霞. 基于 ZigBee 无线传感网络的猪舍监控系统[J]. 太原科技大学学报, 2018, 39(1):18–25.
ZHOU Jingwen, LI Linsheng, LI Huixia. Design of piggery monitoring system based on ZigBee network[J]. Journal of Taiyuan University of Science and Technology, 2018, 39(1):18–25. (in Chinese)
- [20] 高云, 刁亚萍, 林长光, 等. 机械通风楼房猪舍热环境及有害气体监测与分析[J]. 农业工程学报, 2018, 34(4):239–247.
GAO Yun, DIAO Yaping, LIN Changguang, et al. Monitoring and analysis of thermal environment and harmful gases in mechanically ventilated multistory pig buildings[J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(4):239–247. (in Chinese)
- [21] 梁万杰, 曹静, 凡燕, 等. 基于无线传感器网络的猪舍环境监测系统[J]. 江苏农业学报, 2013, 29(6):1415–1420.
LIANG Wanjie, CAO Jing, FAN Yan, et al. Environment monitoring system for swine house based on wireless sensor network[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2013, 29(6):1415–1420. (in Chinese)

- transportation[J]. Food Control,2019,95: 283 – 297
- [13] 袁勇,王飞跃. 区块链技术发展现状与展望[J]. 自动化学报,2016,42(4):481 – 494.
YUAN Yong, WANG Feiyue. Blockchain: the state of the art and future trends[J]. Acta Automatica Sinica, 2016, 42(4): 481 – 494. (in Chinese)
- [14] 邵奇峰,金澈清,张召,等. 区块链技术: 架构及进展[J]. 计算机学报,2018,41(5): 969 – 988.
SHAO Qifeng, JIN Cheqing, ZHANG Zhao, et al. Blockchain: architecture and research progress[J]. Chinese Journal of Computers, 2018, 41(5): 969 – 988. (in Chinese)
- [15] TIAN F. A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things[C] // 2017 International Conference on Service Systems and Service Management. IEEE,2017: 17066653.
- [16] TIAN F. An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology[C] // 2016 13th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM). IEEE,2016: 16214816.
- [17] KRZYZANOWSKI K. Putting food on the blockchain: a regulatory overview[J]. Journal of Food Distribution Research,2019, 50(1):86.
- [18] 于丽娜,张国锋,贾敬敦,等. 基于区块链技术的现代农产品供应链[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(增刊): 387 – 393.
YU Li'na,ZHANG Guofeng,JIA Jingdun,et al. Agricultural product supply chain based on block chain technology[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48 (Supp.):387 – 393. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2017s059&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.S0.059. (in Chinese)
- [19] 陶启,崔晓晖,赵思明,等. 基于区块链技术的食品质量安全管理系统及在大米溯源中的应用研究[J]. 中国粮油学报, 2018,33(12): 102 – 110.
TAO Qi, CUI Xiaohui, ZHAO Siming, et al. The food quality safety management system based on block chain technology and application in rice traceability [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils, 2018,33(12): 102 – 110. (in Chinese)
- [20] 周清杰,王艳飞,傅星. 信息不对称,区块链与食品安全社会共治[J]. 中国市场监管研究,2016(11): 53 – 56.
- [21] 欧阳丽炜,王帅,袁勇,等. 智能合约:架构及进展[J]. 自动化学报,2019,45(3):445 – 457.
OUYANG Liwei, WANG Shuai, YUAN Yong, et al. Smart contracts: architecture and research progresses [J]. Acta Automatica Sinica, 2019, 45(3): 445 – 457. (in Chinese)
-

(上接第 340 页)

- [22] CHONG C Y, KUMAR S P. Sensor networks: evolution opportunities and challenges[J]. Proc. of the IEEE, 2003, 91(8): 1247 – 1256.
- [23] ZHANG Z. Investigation of wireless sensor networks for precision agriculture[R]. American Society of Agricultural and Biological Engineers;2004 ASAE Annual Meeting,2004,Paper Number:041154.
- [24] 吕恩利,陆华忠,王广海,等. 一种畜禽养殖环境参数多点无线智能监控系统及其方法;201910281334.3[P]. 2019-04-09.
- [25] NJEKWA K S. A cost efficient wireless sensor network for grain storage and environmental monitoring based on ZigBee and Arduino[D]. Guangzhou: South China University of Technology,2018.
- [26] WANG J,LIU Y,LI M,et al. QoF:towards comprehensive path quality measurement in wireless sensor networks[C] // IEEE INFOCOM 2011. Shanghai: IEEE,2011:10 – 15.
- [27] ZHOU Y,WEI M,HAO Z. Research on ZigBee indoor technology positioning based on RSSI[J]. Procedia Computer Science, 2019,154:424 – 429.
- [28] 何延杰,李腊元,邢明彦. WSN 中一种能量均衡的分簇路由协议的设计[J]. 传感器技术学报, 2009, 22(10):1510 – 1514.
HE Yanjie,LI Layuan,XING Mingyan. Design of an energy balanced cluster-based routing protocol for WSN[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2009, 22(10):1510 – 1514. (in Chinese)
- [29] 吕恩利,陆华忠,王广海,等. 一种环境多源信息感知和预警系统及其方法;201910281348.5[P]. 2019-04-09.
- [30] BJARNE K,马晓迪. 分娩舍的规格和设计[J]. 国外畜牧学(猪与禽),2012,32(3):9 – 11.