

设施猪场生猪体温红外巡检系统设计与试验

肖德琴^{1,2} 刘勤¹ 陈丽³ 杨秋妹¹ 郭艾侠¹ 林思聪¹

(1. 华南农业大学数学与信息学院, 广州 510642; 2. 广东省农业大数据工程技术研究中心, 广州 510642;

3. 温氏食品集团股份有限公司, 云浮 527300)

摘要: 针对规模化生猪养殖过程中难以及时获取猪只体温的问题, 设计了基于红外技术的生猪体温巡检系统, 以实现设施猪场生猪体温的快速监测。硬件包括红外移动采集装置、系统控制装置和电源3部分。其中红外移动采集装置包括滑轨、移动小车、红外热像仪和保护壳; 系统控制装置包括惠普 MINI 微型计算机、XP2-18R/RT 型整体式控制器和 DM542 型数字式步进电机驱动器; 电源包括电缆线和电缆滑车。控制系统集成红外图像的采集、存储控制, 移动小车的运行控制及与远程服务器的数据通信等功能。在限位栏猪舍安装该装备, 并进行了 28 d 的测试试验, 试验表明: 系统工作稳定, 巡检过程中红外图像平均缺失率为 1.12%, 能有效采集限位栏生猪红外图像。试验选择耳根区域作为生猪体温敏感区域, 通过统计得到猪只耳根区域周期性巡检精度在 90% 以上, 能有效监测猪只耳根区域温度情况。试验连续 5 d 对 3~6 号猪只耳根区域温度最大值进行监测, 并统计其日均值, 通过分析验证了温度数值的科学性, 可为养殖人员提供有效的监测信息, 对生猪的健康监测和疫情防治具有重要意义。

关键词: 生猪; 体温; 红外热像仪; 巡检

中图分类号: TP391.41; S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2019)07-0194-07

Design and Experiment of Infrared Inspection System for Pig Body Temperature in Facility Farm

XIAO Deqin^{1,2} LIU Qin¹ CHEN Li³ YANG Qiumei¹ GUO Aixia¹ LIN Sicong¹

(1. College of Mathematics and Informatics, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

2. Guangdong Province Agricultural Data Engineering Research Center, Guangzhou 510642, China

3. Wens Foodstuff Group Co., Ltd., Yunfu 527300, China)

Abstract: Considering the difficulties of obtaining the body temperature of pigs timely in the process of large-scale pig breeding, an inspection system based on infrared technology was designed to realize the rapid monitoring of body temperature in the facility pig farm. The hardware of system included an infrared mobile acquisition device, a system control device, and the power supply device. The infrared mobile acquisition device was comprised of a slide rail, a mobile car, an infrared thermal imager, and a protective shell; the system control device was comprised of a HP MINI microcomputer, a XP2-18R/RT integrated controller, and a DM542 digital motor driver; the power supply included cables and cable blocks. The control system of equipment integrated infrared image acquisition, storage control, mobile car operation control and data communication with remote server, etc. The equipment was deployed and experimented in the limit bar pig farm for 28 days. The experiment showed that the system worked stably and the average loss rate of infrared images in the inspection process was 1.12%, which could effectively collect the infrared images of pigs in the limit bar pig farm. The ear roots area was selected as the temperature sensitive area in the experiment. According to the statistics, the periodic inspection accuracy of the ear roots area of pigs was over 90%, which can effectively monitor the temperature of the ear roots area of pigs. The experiment also monitored the maximum temperature of the ear roots region of No. 3 to No. 6 pigs for five consecutive days and counted their daily mean value. The analysis verified the scientific value of temperature, which could provide effective monitoring information for the breeding

收稿日期: 2019-02-17 修回日期: 2019-04-22

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0701601)和广东省科技计划项目(2019B020215004, 2019B020215002, 2019B090922002)

作者简介: 肖德琴(1970—), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事农业信息传感与智能处理研究, E-mail: deqinx@scau.edu.cn

personnel, and was of great significance for the health monitoring and epidemic prevention of pigs in the field of pig breeding.

Key words: pig; body temperature; infrared camera; inspection

0 引言

当前,规模化、集约化养殖已成为我国生猪养殖行业的发展趋势,然而,随着养殖规模的扩大、饲养密度的增加,容易引起猪只的应激反应,增加猪病防控的难度^[1-2]。体温是猪只机体内活动的客观反映,是一项重要的生理指标^[3]。传统猪只体温测量采用人工测量方法,一般用猪的直肠温度表征体温^[4],人工接触式测量不仅效率低下,而且不利于保证其福利水平。研究表明^[5-7],生猪体表温度是由其皮肤和生活环境之间的热交换、新陈代谢和近体表的血液循环决定的,因此,可作为猪只健康的重要指标。

近年来,随着信息技术的发展和深入应用,电子信息技 术、计算机视觉技术逐渐渗透到各个领域。红外热成像作为一种非接触体温测量方法,已被作为识别与体温变化相关的许多生理和病理过程的工具^[8-15]。文献[10]通过红外热像仪可以识别猪只体表最冷和最热区域,并可作为评估猪场设施和动物福利的工具。文献[11]应用红外热像仪估计新生猪体温,并分析其热应激状态。文献[12]通过红外热成像评估断奶仔猪眼睛、耳朵和鼻子区域表面温度与不同类型环境的关系。文献[13]对猪只头部红外图像使用差分 ROI 方法,可用于早期检测猪体温的升高。文献[14]研究了基于改进主动模型的猪耳部目标区域检测方法,为研究生猪规模化养殖中非接触式体温监测打下基础。文献[15]为研究规模化生猪养殖中非接触式体温测量方法,用改进的 Otsu 算法分别对仔猪、育肥猪和妊娠猪红外图像耳根部进行了检测。

上述研究主要建立在人工对红外图像进行分析、处理的基础上,在体温的自动检测、分析方面尚未取得突破。基于前人研究,本文采用 FLIR A310 型红外热像仪作为生猪红外图像采集器,设计一种基于红外技术的设施猪场生猪体温巡检系统,以实现 对巡检装置的远程控制及生猪体温的实时监测,为后期研究猪只行为、健康信息提供数据基础。

1 硬件设计

1.1 硬件体系结构

体温巡检系统硬件由红外移动采集装置、系统控制装置和电源组成。硬件体系结构如图 1 所示。

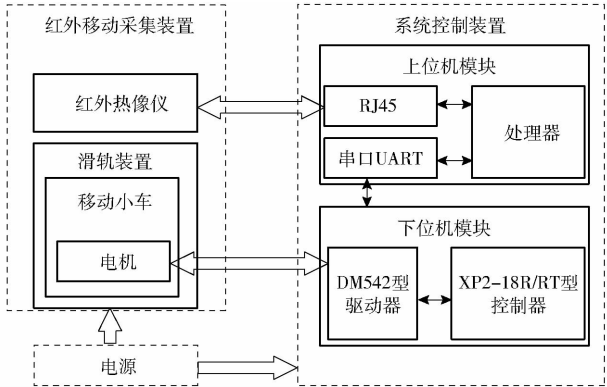


图 1 硬件体系结构框图

Fig. 1 Hardware equipment architecture

1.2 热像仪选型与标定

采用 FLIR A310 型红外热像仪 (FLIR Systems 公司) 作为图像采集器,如图 2a 所示。FLIR A310 型热像仪主要应用在安全自动化方面,可实现数字输入、输出,具有热敏度高、精度高等特点,产品部分参数如表 1 所示。为了最大程度采集生猪红外图像,热像仪在内置 25°镜头的基础上,加装一个 90°镜头,如图 2b 所示。



图 2 热像仪及镜头

Fig. 2 Thermal imager and lens

表 1 FLIR A310 型热像仪主要参数
Tab. 1 Main parameters of FLIR A310 thermal imager

参数	数值/标准
红外分辨率/(像素×像素)	320×240
图像帧频/Hz	30
对象温度/℃	-20~120
热灵敏度/℃	<0.05 (@ 30)
精度/℃	±2
文件格式	标准 JPEG 格式,包含 16 位测量数据
以太网标准	IEEE 802.3

在实验室设定的条件下,用一定数量已知温度的黑体进行热像仪标定,标定时采用斯蒂芬-玻尔兹曼定律所给出的黑体辐射能量与其温度的关系式

$$W = \epsilon \delta T^4 \tag{1}$$

式中 W——辐射功率,W/m²

ε ——灰体的发射率,由物体材质决定,介于 0~1 之间,物体为黑体时, $\varepsilon=1$

δ ——史蒂芬-玻尔兹曼比例常数,取 $5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$

T ——热力学温度,K

通过热像仪测得的辐射能及材料固有的发射率参数,理论上就可以计算得到物体各点的温度,形成热像图。然而,热像仪接收的有效辐射除了物体自身辐射外,还包括周围环境的反射辐射、大气辐射。因此需进行修正补偿,补偿公式为

$$W_{\text{tot}} = \varepsilon \tau W_{\text{obj}} + (1 - \varepsilon) \tau W_{\text{refl}} + (1 - \tau) W_{\text{atm}} \quad (2)$$

式中 τ ——大气传输率

W_{tot} ——热像仪接收到的全部辐射能, W/m^2

W_{obj} ——来自目标物体的辐射能, W/m^2

W_{refl} ——周围环境的反射辐射能, W/m^2

W_{atm} ——大气辐射能, W/m^2

本文采用相对温度对生猪红外图像进行温度数据分析。因此,在误差允许范围内,热像仪标定后,只需根据现场情况设定猪只个体发射率^[16]、相对湿度、大气温度、反射温度、距离等参数,建立有效的温度分布热像图。

1.3 红外移动采集装置

红外移动采集装置主要由 FLIR A310 型红外热像仪和滑轨装置组成,如图 3 所示。为去除环境因素对热像仪的腐蚀和干扰,采用 32 cm × 11 cm × 10 cm 的亚克力透明板作为热像仪的保护壳,在保护壳的底部使用锗片作为红外高透光滤光片。滑轨装置主体采用电泳涂装的工业型铝材作为材料,由若干支架和主、副轨道组成,支架用于固定在猪场限位栏上,轨道上搭载带有步进电机的四轮移动小车及若干电缆滑车。红外热像仪安装在移动小车上,电缆滑车主要用于搭载电缆滑线,以实现供电及数据的传输,支架及电缆滑车的数量根据轨道的长度而定。

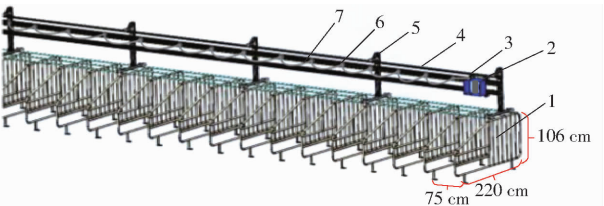


图 3 红外移动采集装置示意图

Fig.3 Schematic of infrared mobile acquisition device

1. 猪舍限位栏 2. 红外采集装置 3. 移动小车 4. 轨道 5. 支架 6. 电缆滑车 7. 电缆线

1.4 系统控制装置

系统控制装置主要包括上位机模块和下位机模

块。上位机需要实现与红外热像仪及下位机的交互,并完成红外图像数据的存储、转发,因此对上位机的处理速度、内存容量及应用能力有一定的要求。对此,上位机选择惠普 ProDesk 400 G2 MINI 微型计算机,其核心处理器为英特尔 Core i7-6700T,主频 2.8 GHz,内存 8 GB,硬盘容量 1 TB,机器符合设计要求。下位机采用信捷电气公司的 XP2-18R/RT 型整体式控制器,控制器整合了 PLC 和文本显示 OP 功能,不仅实现一定的运算和控制功能,而且可以动态显示文本。移动小车的电机驱动器采用 DM542 型数字式步进电机驱动器,其具有运行平稳、噪声小及内置微细分技术等特点。系统控制装置硬件实物如图 4 所示。



图 4 硬件实物图

Fig.4 Hardware physical map

2 软件集成设计

2.1 软件体系结构

生猪体温巡检系统需要实现红外图像的采集、存储控制,移动小车的运行控制及与远程服务器的数据通信等功能。系统软件采用模块化设计,主要包括红外图像采集控制模块、滑轨移动控制模块和远程交互管理控制模块,系统软件体系结构如图 5 所示。

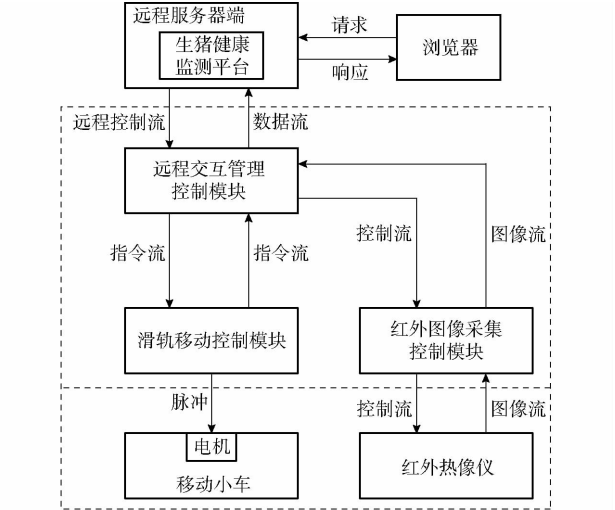


图 5 系统软件体系结构图

Fig.5 System software architecture

2.2 滑轨移动控制算法

上位机与滑轨控制器在串口通信中使用 8 字节

的 ModBus - RTU 协议,协议指令数据帧格式如表 2 所示,波特率为 9 600 b/s,停止位 1 位,数据位为 16 位。上位机与滑轨控制器进行指令交互,滑轨移动控制器解析指令后通过控制步进电机的正反转回来定位小车及红外热像仪的轨道位置停靠点,指令具体配置如表 3 所示。

表 2 滑轨移动控制协议指令数据帧格式

Tab.2 Slider movement control protocol instruction

data frame format					字节
数据帧格式	站号	功能码	寄存器号	数据域	校验码
数据长度	1	1	2	2	2

表 3 指令配置

Tab.3 Instruction configuration

类型	指令	功能
控制方式选择	01050001FF00DDFA	自动模式
	01050003FF007C3A	手动模式
	01050002FF002DFA	停止
	01050007FF003DFB	回起点(手动)
	01050005FF009C3B	上一栏(手动)
	01050006FF006C3B	下一栏(手动)
参数设置	0106006Exxxx ****	点定位设置
	例:0106006E000129D7	位置 1(栏位)
	0106006Fxxxx ****	栏位停顿时间设置
	例:0106006F00017817	停顿 1(单位时间)
	01060070xxxx ****	巡检间隔时间设置
信息查询	例:01060070000149D1	间隔 1(单位时间)
	010300640001C5D5	巡检次数查询
	0103006500019415	当前栏位查询
	0103006600016415	运行模式查询

上位机通过监听服务器端口,接收来自服务器的远程指令,并将指令转换成 ModBus - RTU 协议格式转发到下位机。滑轨控制器接收到上位机发送的指令后,根据指令解析内容给电机驱动器发送相应的脉冲信号,驱动电机实现小车的运动和停止,并将小车位置点信息点返回,滑轨移动控制算法如下

```
输入:本地或远程服务器指令 T(表 4 中的 MODE、SET、QUERY)
输出:下位机反馈信息 K
hostOpenPort (上位机打开串口),
hostSetSerialPort(对串口进参数设置)
while{//监听本地或者远程服务器指令
    accept//获取指令 T}
switch(T)//解析指令 T
    case:MODE//控制方式选择
    case:SET//参数设置
    case:QUERY//信息查询
```

将上述解析后指令转换为 ModBus - RTU 协议格式 T'并发送至下位机

下位机接收 T'并解析,产生相应脉冲信号 P 控制小车运动和停止

下位机发送反馈指令 K 至上位机

2.3 红外图像采集和传输

红外图像的采集控制主要由上位机与红外热像仪的交互完成,上位机收到下位机控制器的反馈信息后,调用 API 接口服务,完成数据采集。红外图像数据的采集控制模式包括手动模式和自动模式。自动模式下,按照系统预设巡检采集每个栏位点的生猪红外图像;手动模式下,按照用户需求采集兴趣栏位点生猪红外图像。采集的红外图像先进行本地存储,然后通过远程交互管理模块的定时任务程序将数据传输到远程服务器,采集控制算法流程如下

```
输入:红外图像采集指令 T
输出:相应栏位点红外图像 I
while{Accept//上位机接收红外图像采集指令 T}
switch(T)//判断指令类型
    case:auto//自动模式
    case>manual//手动模式
callAPIService //调用 API 服务
连接热像仪 A 并设置相关参数 map
采集图像 I,断开热像仪 A 并将红外图像存储在本地
Task{//定时任务:上传图像到远程服务器
    Upload(I)}
```

数据传输是指上位机与远程服务器的交互管理控制,二者使用 Socket 方式实现通信,主要包括指令交互和红外图像传输。红外图像数据的定时上传在每次巡检后进行,将数据传输到远程服务器进行保存。指令交互则是上位机通过监听服务器相应端口,接收服务器远程控制指令并实现信息反馈,通信过程中,远程服务器向上位机发送的控制指令信息类型如表 4 所示。

表 4 远程服务器向上位机发送的指令类型

Tab.4 Type of instruction sent by remote server to equipment

名称	类型	功能
控制方式	MODE	自动、手动、上一栏、下一栏、停止、回起点
参数控制	SET	点定位、停顿时间(自动)、间隔时间(自动)
信息查询	QUERY	巡视次数(自动)、当前栏位、运行状态

3 试验与结果分析

为验证系统的稳定性和可行性,2018 年 7 月在广东省云浮市新兴县温氏东成种猪场进行了为期

28 d 的测试试验。

3.1 系统布置与参数设定

试验猪场为标准化设施猪场,环境因子相对稳定,可最大程度地去除猪舍内环境因素的干扰。装备安装在限位栏猪舍,为尽可能不丢失猪只头部区域的热像分布图,将热像仪经过区域定位在限位栏偏猪只头部区域的正上方。单个限位栏长 220 cm、宽 75 cm、高 106 cm,红外热像仪距离猪舍地面 200 cm,滑轨安装栏位共有 28 个。根据文献[16 -

17]的研究,猪表面发射率为 0.945 ~ 0.978 不等,综合考虑将发射率设置为 0.95。试验猪场环境温湿度相对稳定,可根据环境因子数据进行调整。由于限位栏猪只个体呈现不同姿态或行为时,其距离热像仪镜头的距离也有所差异,通过密集观察发现,当猪只呈现不同姿态或行为时所采集的红外图像温度差异效果不明显,因此本文将距离设置为统一的 120 cm。图 6 为系统在设施猪场的布置情况。



图 6 系统现场布置图

Fig.6 System site layout

3.2 猪只红外图像采集精度试验

精度试验分为 2 个阶段,第 1 阶段采用自动巡检方式进行 21 d 红外图像的采集,频率为每 2 h 巡检 28 个栏位一次,每个栏位点每次停留 3 s 并采集 1 幅红外图像。巡检模式下限位栏 5 号及 6 号猪只的拍摄效果如图 7 所示,中间位置猪只为相应栏位点的兴趣猪只。第 2 阶段采用手动模式进行 7 d 特定猪只个体红外图像的采集,频率为每 0.5 h 采集 1 次生猪红外图像。

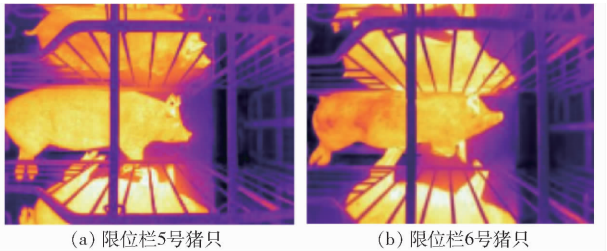


图 7 红外图像采集样例

Fig.7 Infrared image acquisition sample

第 1 阶段的试验理论上每 7 d 采集 2 352 幅红外图像,第 2 阶段试验理论上采集 336 幅红外图像,在实际试验中,由于热像仪与上位机之间的交互存在一定丢包问题,因此采集精度低于 100%,试验采集情况如表 5 所示。第 1 阶段 21 d 的缺失率分别为 0.89%、1.19%、0.60%,第 2 阶段的缺失率为 1.79%,试验平均缺失率为 1.12%,可满足自动化巡检采集生猪红外图像的实际需求。

3.3 猪只耳根区域周期性巡检试验

第 1 阶段的周期巡检试验共进行 21 d,试验期间共采集了 6 993 幅猪只红外图像,通过 FLIR Tools

表 5 试验过程红外图像采集情况

Tab.5 Infrared image acquisition during experiment

时间	红外图像数量/幅	缺失率/%
第 1 ~ 7 天	2 331	0.89
第 8 ~ 14 天	2 324	1.19
第 15 ~ 21 天	2 338	0.60
第 22 ~ 28 天	330	1.79
总和	7 323	1.12(平均值)

工具对采集的猪只红外图像温度分布情况进行分析,发现温度最大值绝大部分集中在猪只耳根区域。根据文献[13]提出的生猪体表温度分布变化可以作为其健康状况检测的补充诊断程序及文献[18 - 19]相关研究表明,生猪红外图像的耳根区域的最大温度及平均温度均保持了与生猪直肠温度较好的相关性。因此,在总结国内外相关学者的研究成果的基础上^[5,20-22],结合巡检试验所采集的生猪红外图像温度分布情况,确定以生猪耳根区域作为其体温检测的敏感区域。限位栏 1 ~ 6 号猪只耳根区域周期性巡检统计结果如图 8a 所示,前 20 个限位栏猪只耳根区域周期性巡检精度如图 8b 所示。

由于限位栏空间较小,猪只主要呈现 3 种姿态:侧躺、趴和站立,白天猪只以站立和趴为主,晚上则以侧躺为主。当猪只呈现趴和侧躺姿态时,猪只耳根区域轮廓较为清晰;当猪只站立,发生饮水或进食行为时,其头部向下,难以捕捉较为明显的耳根区域轮廓。图 8b 结果表明,耳根区域巡检精度都在 90% 以上,装置所采集的红外图像能有效监测猪耳根区域温度情况,验证了本文巡检装置安装高度、角

度的合理性。

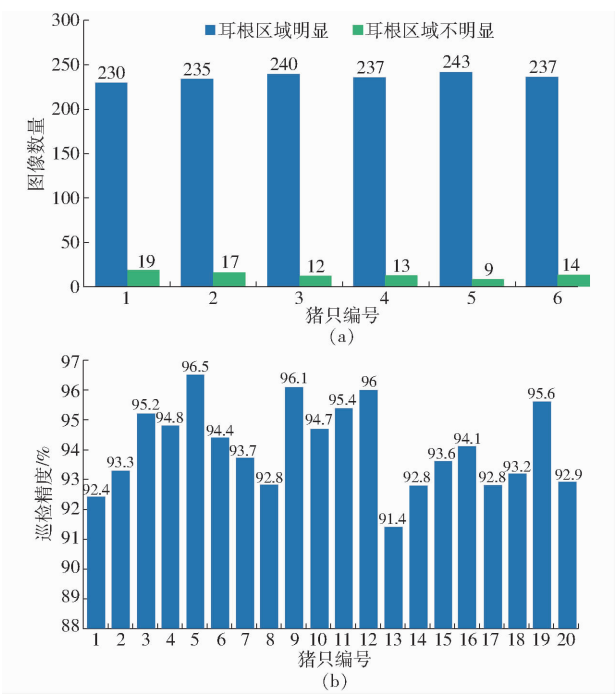


图8 猪只耳根区域巡检试验结果

Fig.8 Inspection experiment result of ear roots region of pig

3.4 猪只耳根区域温度监测试验

相关研究^[4]表明,一般猪只的正常体温范围为38.0~39.5℃,耳根区域体表温度较直肠体温要低。本文试验猪场为现代化的设施猪场,猪场内部温湿度等环境因子能够得到有效的调控,在一定程度上能够减少猪舍环境对猪只耳根区域温度变化的干扰。试验通过 FLIR Tools 工具提取了限位栏3~6号猪只2018年7月17—21日连续5 d(所选择时间段猪只无异常)的耳根区域最高温度,其温度变化曲线如图9所示。由温度变化曲线得出,限位栏3~6号猪只在连续5 d内耳根区域温度最大值变化趋势基本保持一致,总体都呈先下降后上升再下降的变化趋势,其中耳部区域温度最大值为39.1℃,最小值为36.3℃。所测得的猪只体温白天整体高于黑夜,一方面是因为猪只的进食时间为07:00—08:00及17:00—18:00且白天猪只由于进食、饮水等行为呈现一种较为活跃的状态,因此温度较高;另一方面,试验期间正处夏季,设施猪场内部环境温湿度虽得到有效控制,但昼夜温度差异也对所得到的温度数据有一定的影响。

如图10所示,对3~6号猪只2018年7月17—

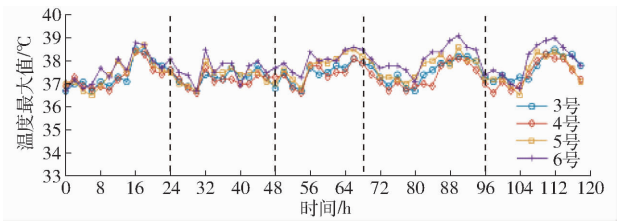


图9 3~6号猪只耳根区域温度最大值变化曲线

Fig.9 Maximum temperature curves of ear roots region from pigs 3 to 6

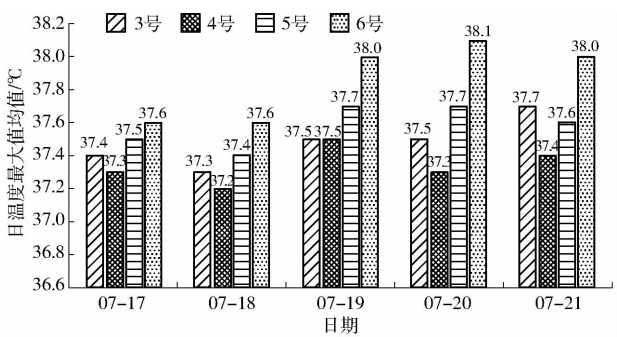


图10 3~6号猪只耳根区域日温度最大值均值

Fig.10 Daily average temperature of ear roots region of pigs 3 to 6

21日连续5 d采集的耳根区域温度最大值进行均值分析。结果表明,3~6号猪只耳根温度最大值均值均在37℃以上,不同猪只个体间所测得耳根温度有差异。6号猪只相对3、4、5号猪只而言,其均值最大,4号猪只则均值最小。总体而言,温度数值较为稳定,在一定程度上验证了温度数值的科学性,后期可结合环境因子数据、猪只姿态、行为等数据深入挖掘分析,为健康养殖、福利养殖提供技术支撑。

4 结论

(1)设计了一种基于红外技术的设施猪场生猪体温巡检系统,通过各装置及相应控制系统可实现生猪红外图像的自动化巡检采集、有效存储和远程传输。

(2)对系统进行试验测试,试验结果表明,该系统运行稳定,巡检过程红外图像平均缺失率为1.12%,猪只耳根区域周期性巡检精度在90%以上,在一定程度上验证了系统的稳定性、可行性。

(3)连续5 d对限位栏3~6号猪只的耳根区域温度最大值及日均值进行监测分析,验证了所采集红外图像温度数值的科学性,也为后续研究猪只行为、体温异常提供了数据支撑。

参 考 文 献

[1] 沈明霞,刘龙申,闫丽,等. 畜禽养殖个体信息监测技术研究进展[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(10): 245-251. SHEN Mingxia, LIU Longshen, YAN Li, et al. Review of monitoring technology for animal individual in animal husbandry[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(10): 245-251. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20141038&flag=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2014.10.038. (in Chinese)

- [2] 汪开英,赵晓洋,何勇. 畜禽行为及生理信息的无损监测技术研究进展[J]. 农业工程学报, 2017, 33(20): 197–209.
WANG Kaiying, ZHAO Xiaoyang, HE Yong. Review on noninvasive monitoring technology of poultry behavior and physiological information [J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(20): 197–209. (in Chinese)
- [3] 秦永孝,王玉梁,高雪峰,等. 基于红外设备的母猪发情状态下体温变化研究[J]. 畜牧兽医学报, 2016, 47(1): 85–91.
QIN Yongxiao, WANG Yuliang, GAO Xuefeng, et al. Temperature changes during estrus in swine was studied by infrared temperature measurement device[J]. Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica, 2016, 47(1): 85–91. (in Chinese)
- [4] 张巧平. 基于体温检测的猪疾病判断方法[J]. 现代农业科技, 2011(20): 352–354.
- [5] MENZEL A, BEYERBACH M, SIEWERT C, et al. *Actinobacillus pleuropneumoniae* challenge in swine: diagnostic of lung alterations by infrared thermography[J]. BMC Vet. Res., 2014, 10: 199.
- [6] 刘波,朱伟兴,霍冠英. 生猪轮廓红外与光学图像的融合算法[J]. 农业工程学报, 2013, 29(17): 113–120.
LIU Bo, ZHU Weixing, HUO Guanying. An image fusion algorithm of infrared thermal and optical images for pig contour[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(17): 113–120. (in Chinese)
- [7] 刘波,朱伟兴,纪滨,等. 基于射线轮廓点匹配的生猪红外与可见光图像自动配准[J]. 农业工程学报, 2013, 29(2): 153–160.
LIU Bo, ZHU Weixing, JI Bin, et al. Automatic registration of IR and optical pig images based on contour match of radial line feature points[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(2): 153–160. (in Chinese)
- [8] SALLES M S V, DA SILVA S C, SALLES F A, et al. Mapping the body surface temperature of cattle by infrared thermography [J]. Journal of Thermal Biology, 2016, 62: 63–69.
- [9] KRIZANAC D, HAUGK M, STERZ F, et al. Tracheal temperature for monitoring body temperature during mild hypothermia in pigs[J]. Resuscitation, 2010, 81(1): 87–92.
- [10] RICCI G D, SILVA-MIRANDA K O D, TITTO C G. Infrared thermography as a non-invasive method for the evaluation of heat stress in pigs kept in pens free of cages in the maternity[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2019, 157: 403–409.
- [11] KAMMERGAARD T S, MALMKVIST J, PEDERSEN L J. Infrared thermography-a non-invasive tool to evaluate thermal status of neonatal pigs based on surface temperature[J]. Animal, 2013, 7(12): 2026–2034.
- [12] YÁÑEZ-PIZAÑA A, MOTA-ROJAS D, RAMÍREZ-NECOECHEA R, et al. Application of infrared thermography to assess the effect of different types of environmental enrichment on the ocular, auricular pavilion and nose area temperatures of weaned piglets[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2019, 156: 33–42.
- [13] SIEWERT C, DÄNICKE S, KERSTEN S, et al. Difference method for analysing infrared images in pigs with elevated body temperatures[J]. Zeitschrift Für Medizinische Physik, 2014, 24(1): 6–15.
- [14] 朱伟兴,刘波,杨建军,等. 基于改进主动形状模型的生猪耳部区域检测方法[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(3): 288–295.
ZHU Weixing, LIU Bo, YANG Jianjun, et al. Pig ear area detection based on adapted active shape model [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(3): 288–295. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20150342&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.03.042. (in Chinese)
- [15] 周丽萍,陈志,陈达,等. 基于改进 Otsu 算法的生猪热红外图像耳根特征区域检测[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(4): 228–232.
ZHOU Liping, CHEN Zhi, CHEN Da, et al. Pig ear root detection based on adapted Otsu [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(4): 228–232. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160430&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.04.030. (in Chinese)
- [16] ZHANG K, JIAO L, ZHAO X, et al. An instantaneous approach for determining the infrared emissivity of swine surface and the influencing factors[J]. Journal of Thermal Biology, 2016, 57: 78–83.
- [17] SOERENSEN D D, CLAUSEN S, MERCER J B, et al. Determining the emissivity of pig skin for accurate infrared thermography[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2014, 109: 52–58.
- [18] 高利波,段纲,尹革芬,等. 红外线体温仪在生猪屠宰场体温筛检中的试用效果[J]. 中国畜牧兽医, 2010, 37(9): 235–237.
GAO Libo, DUAN Gang, YIN Gefen, et al. Trial results of infrared thermometer in the application of ante-mortem body temperature screening in the pig slaughterhouse[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2010, 37(9): 235–237. (in Chinese)
- [19] 周丽萍,陈达,陈志,等. 基于图像处理的生猪耳部颜色异常检测技术[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(4): 166–172.
ZHOU Liping, CHEN Da, CHEN Zhi, et al. Pig ear abnormal color detection on image processing techniques [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(4): 166–172. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20170422&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.04.022. (in Chinese)
- [20] SOERENSEN D D, PEDERSEN L J. Infrared skin temperature measurements for monitoring health in pigs: a review[J]. Acta Veterinaria Scandinavica, 2015, 57(1): 1–11.
- [21] LU M, HE J, CHEN C, et al. An automatic ear base temperature extraction method for top view piglet thermal image[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2018, 155: 339–347.
- [22] GORCZYCA M T, MILAN H F M, MAIA A S C, et al. Machine learning algorithms to predict core, skin, and hair-coat temperatures of piglets[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2018, 151: 286–294.