

郭建军,孔壹右,刘双印,等.数字化无人生猪养殖系统建设及应用[J].华中农业大学学报,2024,43(5):288-296.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2024.05.032

数字化无人生猪养殖系统建设及应用

郭建军¹,孔壹右²,刘双印¹,刘同来¹,曹亮¹,刘岳¹

1.仲恺农业工程学院信息科学与技术学院,广州 510225; 2.仲恺农业工程学院自动化学院,广州 510225

摘要 为改善我国绝大多数养殖场面临的生产效率低下、人工清粪、设备体积大、功耗高、感知数据精度低等问题,基于融合机器视觉、大数据、物联网、智能建模、数据库等技术研发数字化无人生猪养殖系统,并建立生猪养殖数字化无人系统的应用示范基地,包括完成生猪养殖智能视觉监控、远程操作系统终端、数字化远程环境监控物联网感知及智能科学决策、自动操作提醒、物联网智能设备的应用等数字无人化技术。通过建立应用场景,采用人工养殖与数字化无人养殖进行生猪养殖对照试验,以养殖户工作时长、猪只生长状态和异常行为状态为评价指标。结果显示,本系统通过RKNet结合HAM机制可实现无接触式猪脸识别,猪脸识别模型准确性为99.26%,精确度为99.20%,模型大小仅为1.52 MB。应用数字化无人生猪养殖系统后,养殖户的日均工作时长由4 h降为2.5 h,生猪日均增长质量由1.21 kg提高至1.72 kg,生猪日均异常行为减少36.4%。结果表明,建立数字化无人系统的生猪养殖场能提高生猪养殖效率,降低人工成本,提升生猪养殖业的经济效益。

关键词 生猪;机器视觉;大数据;物联网;数字孪生

中图分类号 S818.9 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2024)05-0288-09

在生猪养殖业中,智能化技术的应用对猪只健康养殖具有积极作用。随着《数字农业农村发展规划(2019—2025年)》提出“推进畜牧业智能化”^[1],许多学者开展了生猪养殖信息化和智能化发展的研究,从精准饲喂^[2]、环境监控^[3]、家畜发情预测^[4]、牲畜行为感知^[5]和安全溯源管理^[6]等方面,结合物联网技术、人工智能和大数据技术^[7]设计并研发了多种不同场景的智能养殖系统。

虽然大多生猪规模养殖场已实现了终端设备调控生猪养殖场环境,但普遍以养殖户手动记录操作数据为主,存在难以实现标准化、重复性操作多、信息难以在企业内部共享及统计等问题,导致生猪养殖系统开发不完备、集成化程度低等。加上现有的畜牧业智能装备普遍体积大、功耗高、感知数据精度低、成本偏高,整体性价比不适合中小规模的猪场。

为此,本研究开发了一种结合数据采集与记录子系统、智能饲喂子系统、人工智能子系统、云服务管理子系统和数字孪生可视化子系统的数字化无人生猪养殖系统,通过建立应用场景,对比人工养殖与数字化无人养殖的养殖效率和经济效益,旨在为促进

规模化猪场的数字化建设,实现生猪养殖标准化、智能化、高效化发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 数字化无人生猪养殖系统总体框架设计

数字化无人智能生猪养殖系统总体架构设计如图1所示。数字化无人生猪养殖系统包含了5个子系统:数据采集与记录子系统、智能饲喂子系统、人工智能子系统、云服务管理子系统和数字孪生可视化子系统。该系统基于机器视觉技术结合多传感器开发了养殖场的环境监控设备和终端智能设备,以实现养殖场内各项数据的实时采集和数据上传分析。

1.2 数据采集与记录子系统

在生猪的养殖过程中,大规模、集约化养殖场的猪舍将产生大量NH₃、H₂S、CO₂、CO、CH₄等气体^[8]和TSP、PM_{2.5}、PM₁₀颗粒物^[9]等污染空气的物质,且养殖场地面积大,存在光照不均和噪声污染等问题,猪舍环境因素^[10-12]对生猪健康生长具有一定的不利影响。建立基于环境变量参数的时间序列预测模

收稿日期:2023-10-28

基金项目:广东省普通高校特色创新类项目(2023KTSCX048);云浮市省科技创新战略专项市县科技创新支撑项目(2023020101)

郭建军,E-mail:guojianjun@zhku.edu.cn

通信作者:刘岳,E-mail:liuyuett@126.com

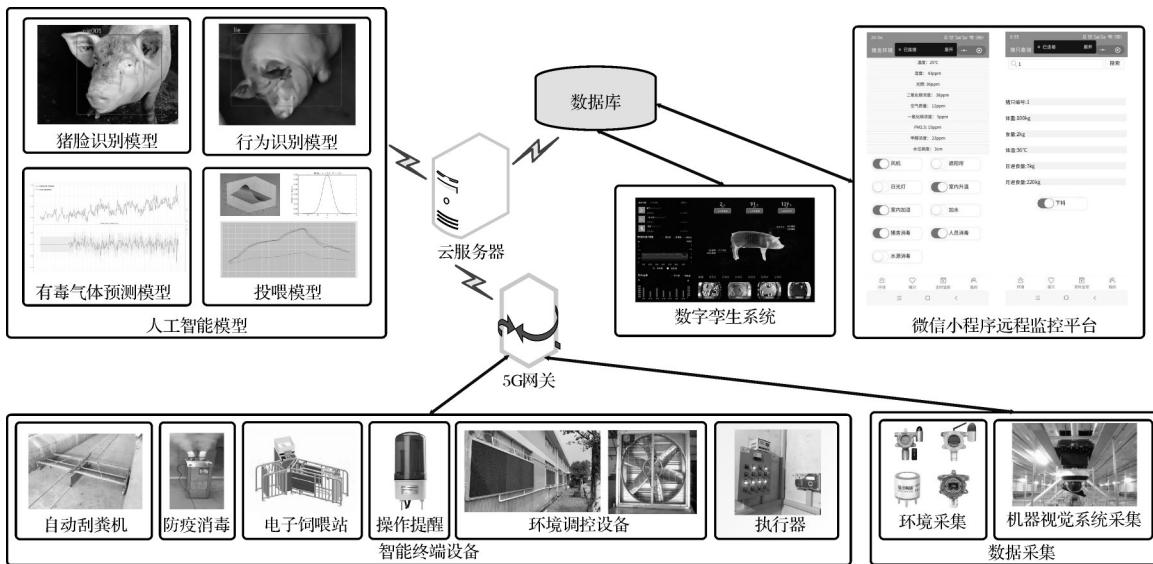


图1 数字化无人生猪养殖系统总体架构设计

Fig.1 Overall architecture design of digital unmanned pig farming system

型,可为湿帘、风机等环境调控设备的控制提供实时分析数据。数字化无人生猪养殖系统具有规模大、集约化程度高的特点,其数据采集与记录子系统由室内环境采集传感器、执行器操作记录、机器视觉系统采集装置3部分组成,该子系统架构如图2所示。

该子系统的室内环境采集传感器部分采用RS485通信方式,通过氨气传感器、硫化氢传感器、

一氧化碳传感器、颗粒物传感器和温湿度传感器等多传感器自动采集猪舍内环境的实时数据,并通过网关将数据实时发送至远程数据库服务器进行存储与分析。同时,该系统配置了噪声传感器采集猪舍内生猪的声音数据,以便分析猪舍生猪受到外来入侵而导致的应激反应,为管理人员及时干预提供数据依据。

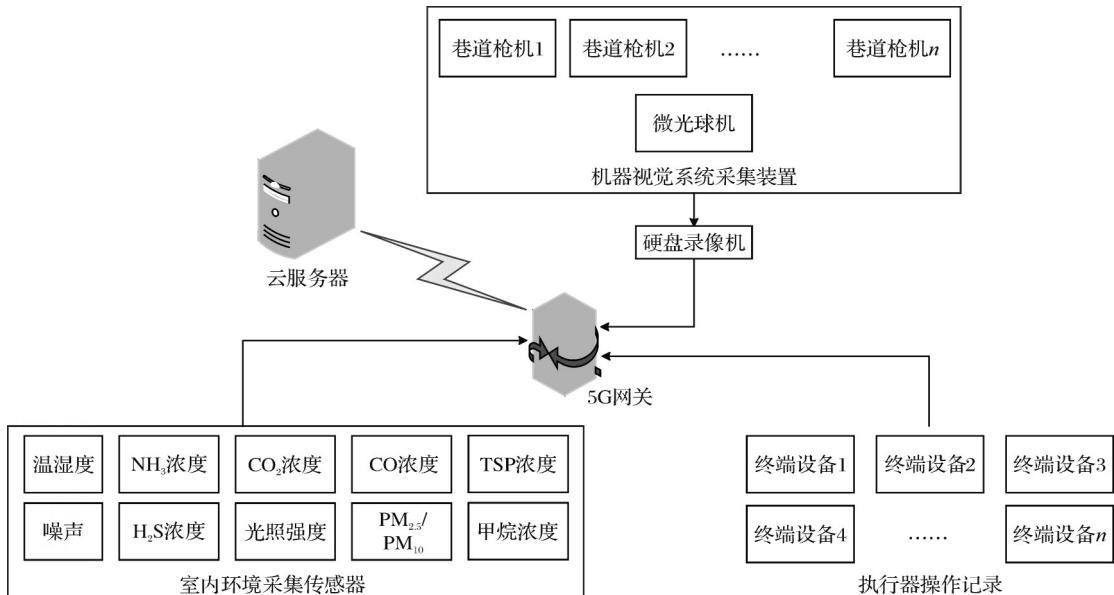


图2 数据采集与记录子系统架构

Fig.2 Data acquisition and recording subsystem architecture

通过调研获取生猪养殖户常见的操作方式与流程,将其操作方式与流程规范化后集成于终端设备的控制芯片中,终端操作与记录设备如图3所示,该

设备具有猪舍自动消毒、清粪、通风等过程操作信息和猪舍异常信息精准记录的功能。其中,根据调研结果将养殖户操作记录分为养殖户猪舍消毒、清粪、

通风等过程操作信息和母猪产仔护理、哺育异常、猪只行为异常等记录信息。



图3 终端操作与记录设备实物图

Fig.3 Terminal operating and recording equipment

基于嵌入式的控制芯片将终端设备控制数据与养殖户操作记录数据通过物联网技术实时上传至云端数据库,利用远程部署的云服务器进行智能决策推理,对操作记录信息进行实时分析与决策,以此指导养殖户规范操作与科学管理猪舍。同时,终端操作与记录设备辅以灯光交互方式实时提醒养殖户,减少养殖人员主观意识导致的错误判断,避免养殖户进行错误操作。

该子系统的机器视觉系统采集装置以轨道巡检摄像头为主要设备,将其嵌入机器视觉系统,主要用于采集养殖场内生猪活动、觅食等数据,轨道巡检摄像头如图4所示。轨道巡检摄像头通过部署在养殖场中的轨道,实现各猪舍内生猪图像数据的采集,并基于物联网技术实时传输采集的数据至远程服务器,通过云服务器部署的生猪行为识别模型对养殖场内的生猪行为进行识别,以此判断生猪的生长状态与健康状态。



图4 轨道巡检摄像头

Fig.4 Track inspection camera

1.3 智能饲喂子系统

生猪的精准饲喂能够为高效、智慧、精准的智能化畜牧业提供技术基础。目前,大多数养殖场利用电子饲喂站对猪只进行精准饲喂,该种饲喂站利用耳标实现了猪只识别,并利用管理系统实现猪采食信息的采集、传输和投喂,在一定程度上实现了自动喂料^[13],但要实现智能化精准喂料仍有一定距离。因此,本研究基于上述电子饲喂站进行了改良,其实物如图5所示。

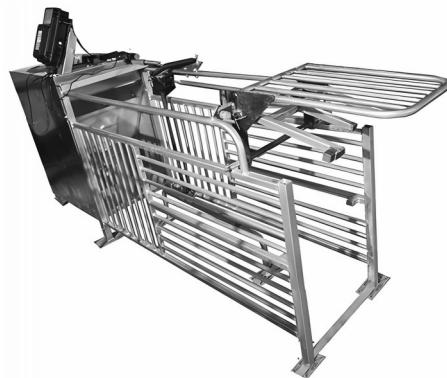


图5 改良的电子饲喂站

Fig.5 Improved electronic feeding stations

改良的饲喂站实现了无接触式猪只身份识别、下料量自动推测、单次进食量记录、猪只体质量记录等功能,为实现更精准化、智能化的饲喂奠定了基础。该系统的使用流程如图6所示。

1.4 人工智能子系统

该子系统由猪脸识别模块、猪只行为检测模块和环境预测模块三部分组成。

1) 猪脸识别模块。基于四阶龙格库塔法结合HAM轻量级分类网络^[14],采用电子饲喂站系统中摄像头采集猪脸数据,并进行分类识别,可实现无接触式猪脸识别(图7)。基于无接触式猪脸识别的电子饲喂站,将个体生猪的相关信息一一对应存储,实现了生猪个体的日进食量记录、体质量增长趋势绘制、猪只健康监测和猪只饲养管理等功能。此外,该猪脸识别模块还可以与区块链溯源技术结合,提升生猪肉质安全和品质管理。

2) 猪只行为检测模块。基于YOLOv7结合CNN和LSTM算法,检测与分析生猪在猪舍生长环境下的行为动作,以视频数据和图像数据的方式,提取生猪的休息、行走、进食、饮水以及异常打斗、咬尾等行为。利用YOLOv7算法检测生猪个体的位置,截取生猪图片帧,并使用CNN与LSTM网络分别提取空间特征和时间特征,对提取的特征信息进行分

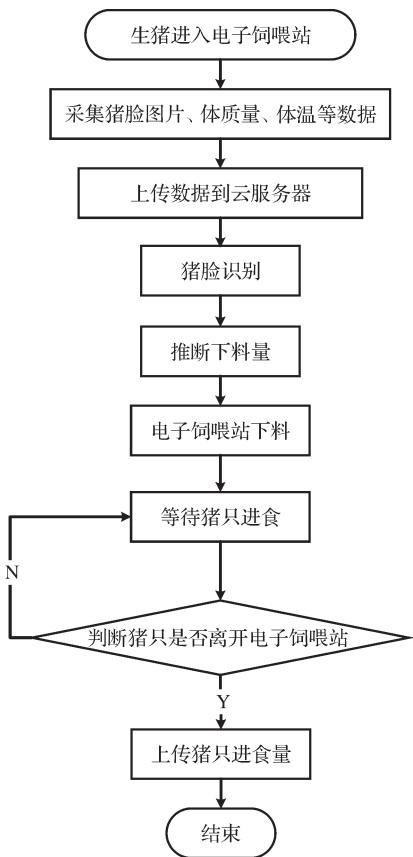
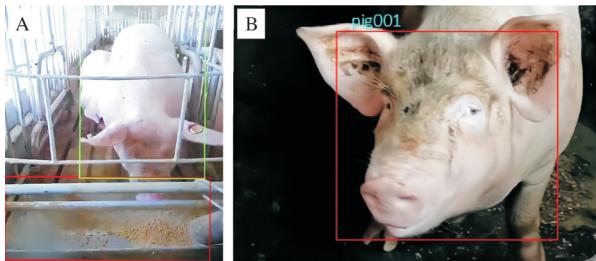


图6 电子饲喂站使用流程

Fig.6 Process of using electronic feeding station



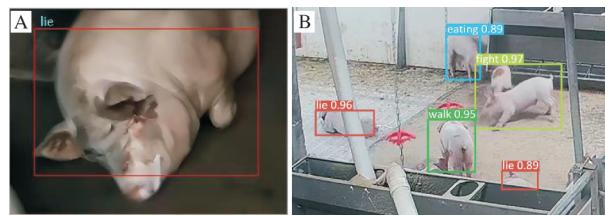
A: 无接触式猪脸识别Ⅰ; B: 无接触式猪脸识别Ⅱ。A: Contactless pig face recognition I; B: Contactless pig face recognition II.

图7 猪脸识别

Fig.7 Pig face recognition

析,而后获得生猪个体的具体行为数据。生猪行为检测识别结果如图8所示。

3)环境预测模块。基于SSA-PSO-LSTM^[15]的环境参数组合建立预测模型,其中奇异谱分析法(singular spectrum analysis, SSA)能直接分离原始信号的噪声数据,起到降低数据复杂度、减少计算量的效果,粒子群优化(particle swarm optimization, PSO)算法对LSTM进行全局搜索,以优化模型。如图9所示,通过传感器技术采集的环境数据,通过基于SSA的前置处理系统,将数据分离出正常序列和噪



A:生猪休息行为;B:生猪行走、进食、异常打斗等行为。红色框图表示检测结果为生猪的休息行为,绿色框图表示检测结果为生猪的行走行为,蓝色框图表示检测结果为生猪的进食行为,黄色框图表示检测结果为生猪的异常打斗行为。A: Resting behavior of pigs; B: Behavior of pigs walking, eating ,unusual fighting, etc. The red box indicates the detection result of resting behavior in pigs, the green box indicates the detection result of walking behavior in pigs, the blue box indicates the detection result of feeding behavior in pigs, and the yellow box indicates the detection result of abnormal fighting behavior in pigs.

图8 生猪行为检测识别结果

Fig.8 Pig behavioral detection and identification results
声序列,而后基于LSTM分别对正常序列和噪声序列进行神经网络预测,将处理后的数据使用PSO优化算法分别调整与优化神经元数量,进一步提高模型的精度,将得到的趋势预测模型与噪声预测模型融合获得最终的环境预测模型。通过设置环境参数阈值并结合环境预测结果,当系统监测到环境污染度较高时,自动触发预警,系统控制调控设备调节养殖场环境,并提示操作人员进行一定的必要操作。

1.5 云服务管理子系统

融合上述数据采集与记录子系统、智能饲喂子系统和人工智能子系统,研发了一套数字化无人生猪养殖精准管控云服务平台,其中涵盖机器视觉管理、养殖管理、智能设备状态管理、系统操作与记录及可视化等模块和功能,云服务管理子系统架构如图10所示。

1.6 数字孪生可视化监测子系统

根据应用案例所在基地和猪舍的所在场景,构建数字孪生系统,如图11所示。基于猪舍实体、3D技术及数字孪生技术构建3D虚拟养殖场,其中包括各种生长阶段的猪只个体模型、终端设备、环境参数传感器等自动化设备。

以机器视觉与深度学习等方法,建立外部生物入侵、猪只异常行为等智能识别及预警系统,以及环境参数、有毒气体等预警应用。用户能定位到单个猪栏,获取猪舍可视化的“孪生效果”,并对猪只的当前数据与历史数据进行统计、分析、决策、建议,提示养殖户的下一步操作。

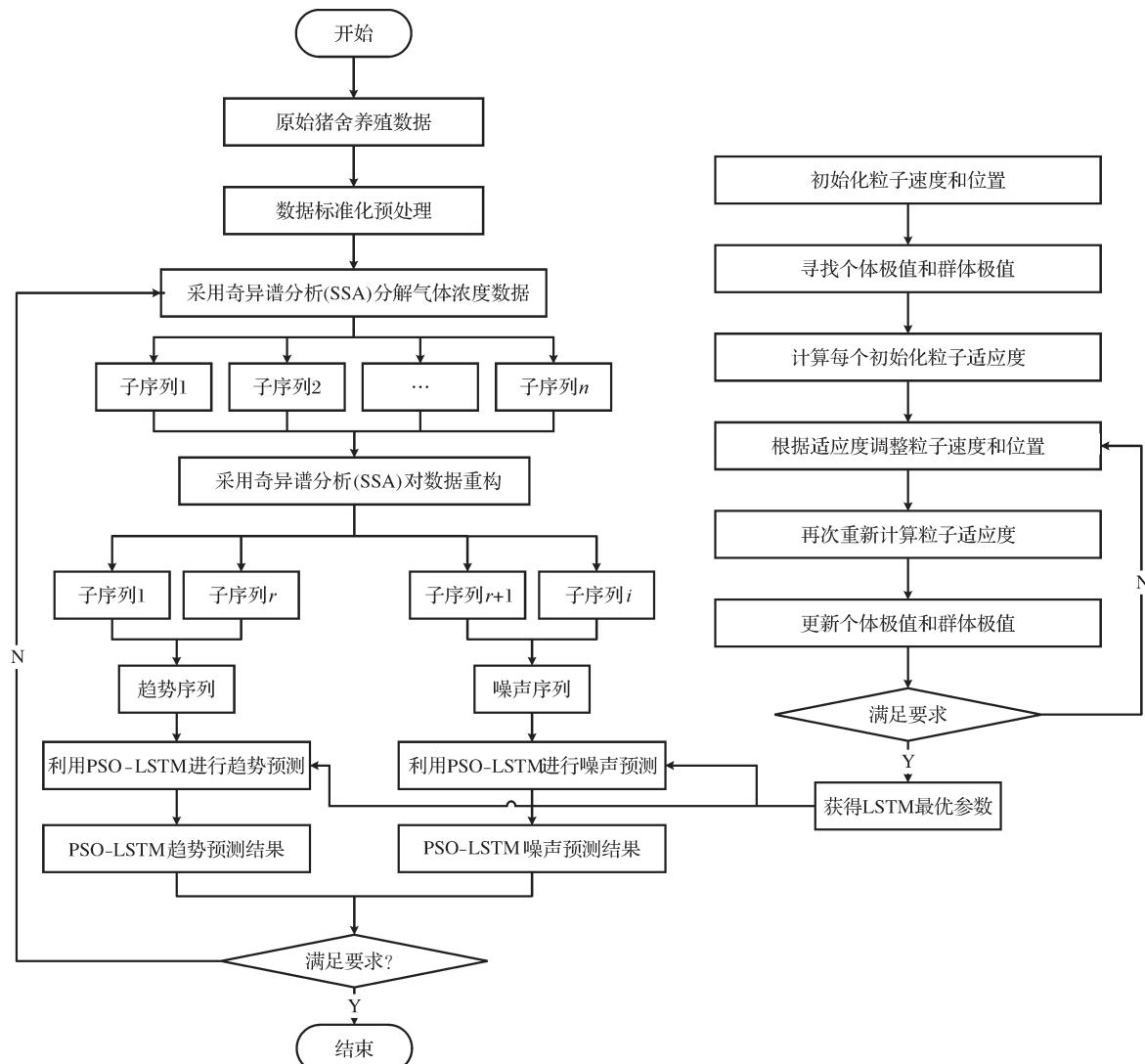


图9 预测流程图

Fig.9 Forecasting flowchart

2 结果与分析

基于生猪养殖过程中的全过程数字化建设思路,笔者所在团队在广东某畜牧业有限公司养殖基地建立了数字化无人生猪养殖系统的应用场景,主要有20个养殖栏,且每个养殖栏饲养10头生猪,共200头生猪。

该示范基地养殖场两侧分别部署有保湿帘与风机,且在猪舍中部署了数字化无人生猪养殖系统,示范基地生猪采用60 kg左右的长白猪作为试验对象。该养殖场网关采用有线网络与主控中心的远程服务器连接。

2.1 无接触式猪脸识别模型测试

基于四阶龙格库塔法结合HAM轻量级的无接触式猪脸识别模型(RKNet-HAM)使用32头生猪,

共计21 742张猪脸图片的数据集进行训练,结果显示,准确度99.26%、精确度99.20%、召回率98.76%,特异性99.99%,大小1.52 MB,说明该模型用于猪脸识别具有较高的可信度。在示范基地的实际应用中,猪只身份识别准确率为99.41%,有效实现了无接触式猪只身份识别。

2.2 系统应用试验效果

将示范基地20个养殖栏共计200头生猪通过随机采样方式分为A组和B组,确保各猪舍生长环境相同的情况下,同时进行为期90 d的对比试验。A组猪舍采用人工饲养、技术人员到场巡查、人为调控、人工记录与投喂等管理工作,B组采用本系统进行养殖管理。以养殖人员工作时长、猪只生长状态和猪只异常行为状态作为评价目标,开展数字化无人生

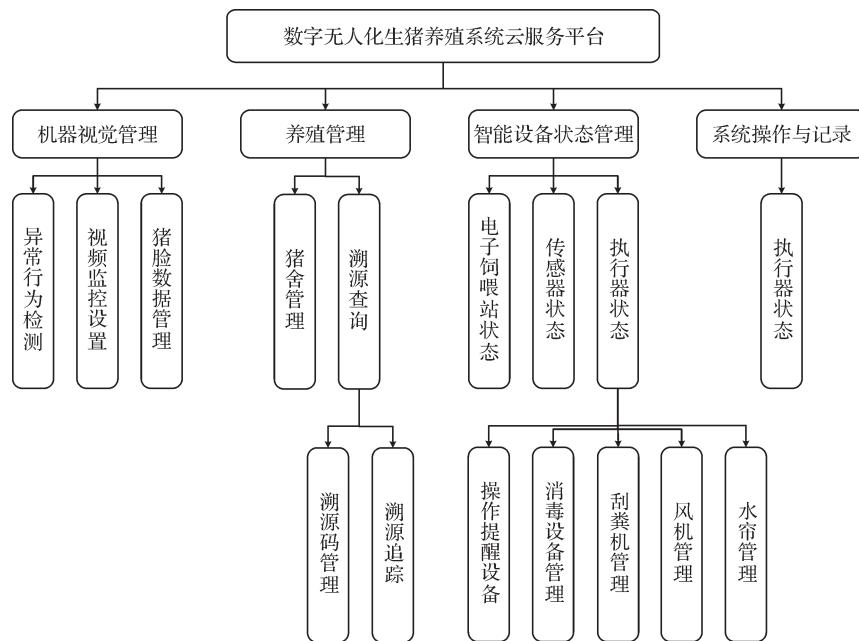
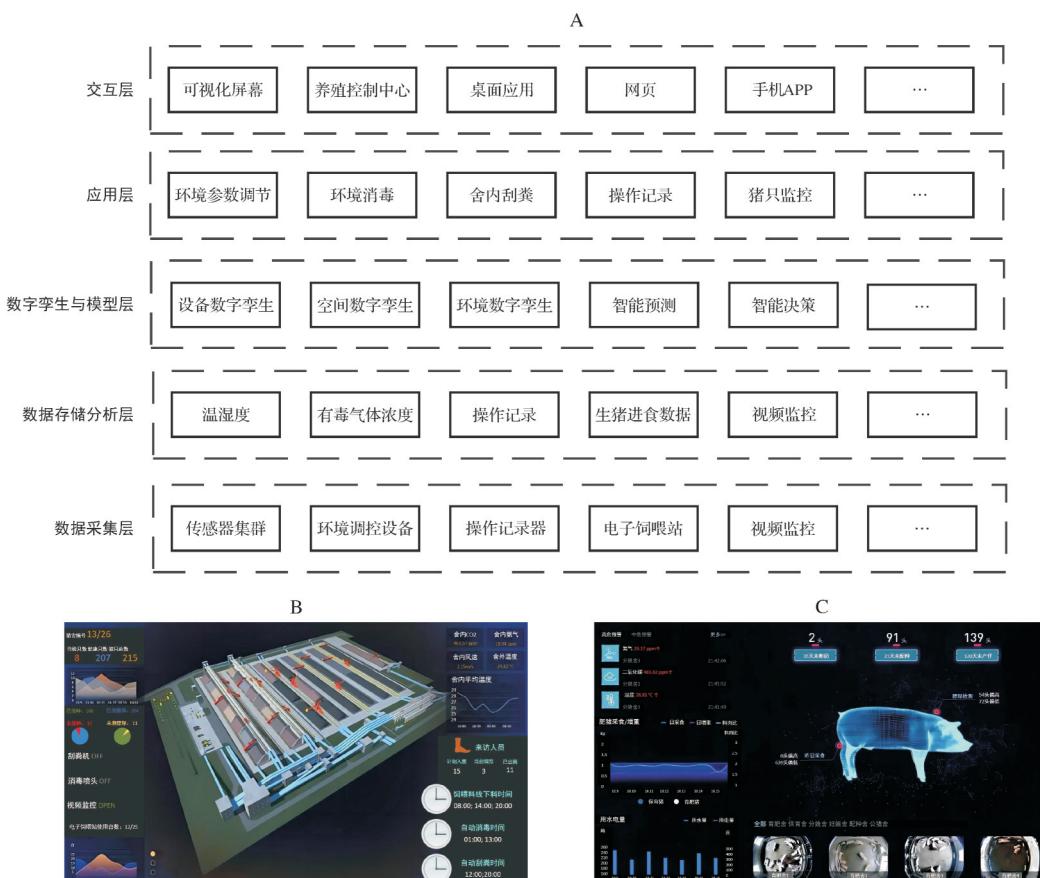


图 10 云服务管理系统架构

Fig.10 Cloud services management system architecture



A:智能识别及预警框架;B:猪舍建模;C:智能识别及预警.A: Intelligent identification and warning framework;B: Model of pigsties;C: Intelligent identification and warning.

图 11 数字孪生系统

Fig.11 Digital twin system

猪养殖系统应用效果测试。

试验结果如表1所示。A组养殖人员日均工作时长约4 h,基于数字无人系统的养殖人员日均工作时长约2.5 h,养殖人员工作效率提升35%以上。

表1 无人数字养殖系统应用试验结果

Table 1 Results of unmanned digital farming system application

分组 Groups	日均工作时长/h Average daily work hours	生猪日均增质量/kg Average daily growth weights of pigs	日均异常行为次数 Average daily number of abnormal behaviors
A组 Group A	4.0	1.21	11
B组 Group B	2.5	1.72	7

在猪只生长状态方面,同等饲料喂养情况下,B组猪只日均增长量为1.72 kg/头,A组猪只日均增长量为1.21 kg/头,说明构建了数字无人系统的猪只生长状态较传统养殖的猪只生长状态更好,饲料的利用率更高。在猪只异常行为方面,B组猪只异常行为仅为7次/头,A组猪只异常行为达到11次/头,这表明构建了数字无人系统的猪只较传统养殖的猪只异常行为更少,猪只情绪更为稳定,有助于猪只育肥。

因此,基于现场实时视频流、环境自动调控、控制中心远程监控、精准投放饲料,能有效减少饲养、技术人员到现场巡查的次数。自动记录猪只日进食能量、下料决策、异常行为报警决策等,进一步实现了养殖场的精准化、高效化管理,提高了生猪养殖效率、饲料利用率,增加了出栏量,并且明显减少了养殖人员对猪只的接触次数,以及对于养殖人员经验的依赖,能够在一定程度上克服企业难以招收养殖人员的困难。根据当前猪只体质量和养殖天数进行最优下料量估计,在利用同等量饲料的前提下,有智能饲喂系统的养殖模式比无电子饲喂系统的养殖模式的饲料利用率更高,并且减少了进食时打斗的现象。基于环境与疾病预警、投喂决策、入侵应激预警等多方措施,提升了生猪生长性能。

3 讨 论

当前我国大部分猪舍存在智能化低、规范化低且缺乏科学管理依据等问题,传统的生猪养殖主要依赖于人工管理与人工饲养,不能采集猪场环境信息,难以实现科学喂养,部分机械化养殖场采用了自动化设备实现生猪饲养,但信息化程度低、实时性低、对于生猪打斗监管不及时,往往出现生猪伤亡才进行干预,影响了生猪的出栏率,同时增加了生猪的

养殖成本。与传统的生猪身份识别相比,无接触式猪脸识别技术避免了传统的剪耳法、RFID等给生猪带来的耳部感染、耳标脱落等影响,减少了生猪感染致病率,提升了生猪身份识别率,可以帮助生猪养殖场实现个体化管理和精细化养殖。此外,通过在猪舍中安装传感器和智能监控设备,能够实时监测猪只的生长情况、健康状况、环境参数等信息。这些数据的收集和分析,不仅可以降低成本,提高生产效率,更可对猪只进行精准、可视化的管理。

近年来,智能化养猪设备得到了长足发展,越来越多的养猪场开始采用智能化管理解决生产过程中的单场景或多场景的管理难题。但大部分应用需借助大型数据服务器,搭建成本高,维护复杂,难以在中小型养殖场部署。本研究设计并开发了终端操作与记录设备,通过传感器技术和物联网技术实现猪舍环境、操作信息及图像等信息的实时采集与数据云端储存,基于大数据、机器学习、机器视觉的猪脸识别模型和猪只行为识别模型,结合猪舍环境预测系统,搭建全产业链精准云服务平台及3D数字孪生可视化系统,初步实现了规模化生猪养殖的数字化应用。通过收集生猪数量、饲料消耗量、生长指标、环境参数、疫苗接种、出栏时间等数据,并基于三维仿真、物联网技术、数据挖掘、数据分析和人工智能等现代信息技术,全方位、立体化地展现生猪的生长过程以及各种环境参数,对养殖场中环境监控、行为识别、环境检测等进行更直观的数据呈现,为生猪智能无人化养殖的发展提供了智能化、实时化、精细化的支持。该装置不仅实现了生猪养殖操作信息采集,而且具备自动定时操作和灯光提醒功能,降低了养殖户操作门槛,能提高养殖户效率35%以上,解决了生猪养殖自动管理、精准饲养和嵌入式部署等问题。数字化无人生猪养殖系统的应用可为进一步生猪精准养殖和提高养殖效率、保障食品安全提供技术基础。

参考文献 References

- [1] 农业农村部.数字农业农村发展规划(2019—2025年)[J].畜牧产业,2020,383(2):13-22. Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Agriculture rural development plan (2019—2025) [J]. Animal agriculture, 2020, 383(2):13-22(in Chinese).
- [2] 恽蓓蓓,曾松伟,唐瑞,等.基于IOT的生猪智能养殖集成系统设计[J].中国猪业,2023,18(3):79-84. YUN B

- B, ZEGN S W, TANG R, et al. Design of intelligent domestic pig breeding integrated system based on Internet of Things technology [J]. China swine industry, 2023, 18(3) : 79-84 (in Chinese with English abstract).
- [3] 刘雨青,李佳佳,曹守启,等.基于物联网的螃蟹养殖基地监控系统设计及应用[J].农业工程学报,2018,34(16):205-213.LIU Y Q, LI J J, CAO S Q, et al. Design and application of monitoring system for crab breeding base based on Internet of Things [J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(16) : 205-213 (in Chinese with English abstract).
- [4] 李健,徐帆,谢易宸,等.基于物联网的肉牛智能养殖系统设计与研究[J].吉林农业大学学报,2023,45(4):485-496.LI J, XU F, XIE Y C, et al. Design and research of intelligent beef cattle breeding system based on Internet of Things [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2023, 45(4) : 485-496 (in Chinese with English abstract).
- [5] 施宏.哺乳母猪行为信息感知与管理平台研究与设计[D].南京:南京农业大学,2019. SHI H. Research and design of behavioral information perception and management platform for lactating sow [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2019.
- [6] 赵丽,柳平增,高华,等.猪产业链质量安全溯源系统屠宰环节设计[J].山东农业大学学报(自然科学版),2015,46(3):440-444.ZHAO L, LIU P Z, GAO H, et al. Design for the system of quality safe trace in slaughter tache of pig industry chain [J]. Journal of Shandong Agricultural University (natural science edition), 2015, 46(3) : 440-444 (in Chinese with English abstract).
- [7] 刘严红,曹克涛,陈新文,等.马智慧养殖大数据平台设计与实现[J].农业大数据学报,2023,5(3):93-103.LIU Y H, CAO K T, CHEN X W, et al. Design and implementation of an equine intelligent breeding big data platform [J]. Journal of agricultural big data, 2023, 5(3) : 93-103 (in Chinese with English abstract).
- [8] DAI C H, HUANG S J, ZHOU Y Y, et al. Concentrations and emissions of particulate matter and ammonia from extensive livestock farm in South China [J]. Environmental science and pollution research international, 2019, 26 (2) : 1871-1879.
- [9] 柴捷,张廷焕,王金勇,等.湿热环境对生长育肥猪生长性能的影响[J].家畜生态学报,2022,43(3):25-29.CHAI J, ZHANG T H, WANG J Y, et al. Effect of hot-humid environment on growth performance of growing pigs [J]. Journal of domestic animal ecology, 2022, 43(3) : 25-29 (in Chinese with English abstract).
- [10] 翦日锐.猪常见有毒气体中毒的分析、诊断和防控方案[J].中国动物保健,2023,25(2):85-86.QIN R R. Analysis, diagnosis and prevention and control scheme of common toxic gas poisoning in pigs [J]. China animal health, 2023, 25(2) : 85-86 (in Chinese).
- [11] 高航,袁雄坤,姜丽丽,等.猪舍环境参数研究综述[J].中国农业科学,2018,51(16):3226-3236.GAO H, YUAN X K, JIANG L L, et al. Review of environmental parameters in pig house [J]. Scientia agricultura sinica, 2018, 51 (16) : 3226-3236 (in Chinese with English abstract).
- [12] 林挺,朱增勇.2022年中国生猪产业和市场形势分析及展望[J].中国畜禽种业,2023,19(4):46-50.LIN T, ZHU Z Y. Analysis and prospect of China pig industry and market situation in 2022 [J]. The Chinese livestock and poultry breeding, 2023, 19(4) : 46-50 (in Chinese).
- [13] 王玉攀,曹沛,钱阵山,等.自由进出式妊娠母猪精准饲喂技术与装备研究[J].今日养猪业,2022(1):104-107.WANG Y P, CAO P, QIAN Z S, et al. Study on precision feeding technology and equipment of free entry and exit pregnant sows [J]. Pigs today, 2022(1) : 104-107 (in Chinese).
- [14] GUO J J, KONG Y Y, LIN L J, et al. Lightweight network based on fourth order Runge-Kutta scheme and hybrid attention module for pig face recogniton [J/OL]. Computers and electronics in agriculture, 2024, 223: 109099 [2023-10-28].<https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109099>.
- [15] 郭建军,韩铃钰,董佳琦,等.基于SSA-PSO-LSTM模型的羊舍相对湿度预测技术[J].农业机械学报,2022,53(9):365-373.GUO J J, HAN Q Y, DONG J Q, et al. Prediction of sheep house humidity based on SSA-PSO-LSTM model [J]. Transactions of the CSAM, 2022, 53 (9) : 365-373 (in Chinese with English abstract).

Construction and application of digital unmanned system in pig farming

GUO Jianjun¹, KONG Yiyou², LIU Shuangyin¹, LIU Tonglai¹, CAO Liang¹, LIU Yue¹

1. College of Information Science and Technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China;

2. College of Automation, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China

Abstract A digital unmanned farming system for pig was developed based on the integration of machine vision, big data, the internet of things (IoT), intelligent modeling, and database technologies to solve the problems including the low efficiency of production, manual removal of manure, large size of equipment, high consumption of power, and the low accuracy of perception data faced by the majority of pig farms in China. A demonstration base for applying digital unmanned systems in pig farming was established. The digital unmanned technologies including intelligent visual monitoring of pig farming, remote operating system terminals, digitalized remote environmental monitoring IoT perception and intelligent scientific decision-making, automatic operation reminders, and the application of IoT intelligent devices were completed. A comparative experiment between the artificial farming and the digital unmanned farming was conducted by establishing application scenarios. The results showed that the established system realized non-contact pig face recognition through RKNet combined with HAM mechanism, with the accuracy of the pig face recognition model of 99.26%, the precision of 99.20%, and the model size of only 1.52 MB. It was deployed in embedded systems. The application of digital unmanned systems in pig farming reduced the average daily working hours of farmer from 4 h to 2.5 h, increased the average daily growth weight of pigs from 1.21 kg to 1.72 kg, and reduced the average daily abnormal behavior of pigs by 36.4%. It is indicated that establishing a digital unmanned system for pig farming can improve the efficiency of farming pig, reducing costs of labor, and increasing the economic benefits of the pig farming industry.

Keywords pig; machine vision; big data; internet of things (IoT); digital twins

(责任编辑:赵琳琳)