

智能感知技术在圈舍环境与动物行为识别中的应用研究进展



资料图片

□李珈毅 安晓萍 宋峰峰 胡陆星

圈舍养殖环境的智能感知技术

1. 温度传感器

目前常见的温度传感器主要有热电偶型和红外型。热电偶型温度传感器通过热电效应感知温度变化,将温度转化为电信号输出,实现温度数据的实时采集与反馈,为精准调控养殖环境温度提供依据。然而,在极端低温(-5℃以下)环境下,如唐玉洁利用HO-BOU23-004型号的热电偶型温度传感器进行监测时,因热电偶材料热滞效应,其测量误差可达±1.2℃,这导致舍内实际温度低于设定阈值时,供暖设备开启延迟,奶牛日均产奶量显著下降约8%,对生产效益产生显著影响。不过,在适宜环境下,温度传感器能有效发挥作用,例如在南方蛋鸭养殖中,温度传感器与智能环境监测系统相结合,可根据温度变化及时调整通风和遮阳措施,使蛋鸭产蛋率提高约10%,显著提升养殖效益;在北方冬季奶牛养殖中,温度传感器与智能环境监测系统配合,精准控制舍内温度,使奶牛舒适度增加,日均采食量提高约5%。

2. 湿度传感器

常见的湿度传感器多采用电容式或电阻式原理,利用吸湿材料吸湿后电容或电阻等电学特性的变化来监测舍内湿度。以电容式湿度传感器DHT11为例,在高湿度(90%以上)且伴有粉尘的复杂圈舍环境中,测量误差会增大至±5%,可能导致湿度调控不及时,影响动物健康。在肉鸡养殖中,适宜的湿度(60%—70%)能优化饲料转化率,湿度处于适宜范围时的雏鸡日增重比湿度不适宜时显著提高约15%。孙瞻研究表明,湿度过高或过低都会危害动物健康,当湿度过高时,氨气和细菌浓度会分别增加约20%和30%,空气流通受阻;湿度过低时,动物皮肤水分流失加快,呼吸道黏膜纤毛运动能力显著下降约35%,易受损。在猪舍中,湿度传感器与氨气传感器协同工作,当湿度传感器监测到湿度异常升高时,结合氨气传感器数据,可及时发现氨气积聚问题,提前采取通风等措施,将猪呼吸道疾病的发病率显著降低约30%,有效降低疾病传播风险。

3. 空气质量传感器

空气质量对动物的健康与生产起着决定性作用,在封闭或半封闭的圈舍养殖环境中,这一影响更为显著。智能感知技术借助二氧化碳传感器、氨气传感器等设备,能够实时监测舍内空气质量,及时发现并解决空气质量问题。畜禽舍内氨气(NH₃)、二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)和硫化氢(H₂S)等有害气体浓度超标,会对动物健康造成严重威胁,导致呼吸道疾病、生长迟缓甚至死亡。付晓等通过监测CO₂浓度来评估奶牛舍内环境质量,并制定了相应的调控策略。高浓度CO₂不仅会使动物呼吸困难、缺氧窒息,还会降低动物免疫力,影响其生长速度和繁殖能力。陈耿等研究表明,当CO₂浓度达到4%时,猪只会出现明显的呼吸窘迫症状;当浓度上升到10%时,猪只会陷入昏迷。因此,实时监测CO₂浓度并及时调控通风系统,是保障动物健康和生产效率的关键措施。在家禽养殖中,空气质量关乎养殖成败,低成本传感器可监测氨气浓度和气体、颗粒含量,有助于预防家禽呼吸道疾病。

4. 环境传感器集成应用

温湿度等前端数据采集设备通过

传感器的敏感元件获取环境数据,经模数转换后,利用无线传输技术(如Wi-Fi、蓝牙、Zig Bee等)上传至中央控制系统。中央控制系统运用数据挖掘、机器学习等算法对采集的数据进行分析,进而自动调控通风、喷淋和加热等设备,维持养殖环境温度湿度适宜。

西安利物浦大学研发的智能监测系统集成了温湿度传感器、空气质量传感器等多种先进传感器,可实现对牛棚环境的全方位采集;该系统运用大数据分析 and 智能算法,在温度异常升高(超过设定阈值3℃)时,能在5分钟内自动启动喷淋降温系统,并向养殖人员手机发送预警信息。在家禽养殖中,基于无线传感器网络和图像处理技术的监控系统发挥着重要作用,如鲍海虹等以Zig Bee技术设计的系统,在传感器兼容性方面,不同品牌和型号的温湿度传感器与Zig Bee模块连接时,数据传输丢包率为5%—10%,影响系统稳定性。基于无线传感网的禽类养殖环境实时监控系统降低了人工测试带来的误差,对禽类养殖和提高蛋、肉的产量有着重要意义。Tiago等研发的家禽监测脚环实现了环境与行为监测结合,但在数据融合和处理方面,由于环境数据和行为数据格式差异大,融合处理难度较大,导致行为分析的准确率约为80%,仍有提升空间。目前环境传感器集成应用存在传感器兼容性有待提高、复杂环境下数据稳定性不足、数据融合和处理难度增大等问题,未来需加强研发,提高传感器可靠性和兼容性,优化数据处理流程。

在圈舍养殖环境智能感知技术中,环境传感器集成应用是实现精准环境调控的关键环节。通过多种传感器的协同工作,能够获取全面、准确的环境数据,为后续分析和决策提供有力支持。未来,应进一步加强传感器集成技术的研发,提高传感器的可靠性和兼容性,优化数据处理流程,以实现更精准、高效的圈舍养殖环境智能感知与调控。

智能感知技术在动物行为识别中的应用

1. 动物行为的图像数据获取及处理

在圈舍养殖中,研究动物行为对优化养殖管理、保障动物健康意义重大。动物行为分为本能行为和学习行为,受多种因素控制。建立相关标准对获取可靠行为实验数据、构建动物行为结构、推动行为学研究及开发行为识别算法很关键。图像获取是动物行为分析的基础,CCD(电荷耦合器件)、红外、深度相机等各有优势,能获取不同类型的动物行为信息。CCD相机可捕捉二维彩色图像;深度相机可提供3D图像,但深度信息易受外界影响;红外相机可检测动物体温变化,利于疾病早期检测。获取图像后,要进行视频帧、去噪、增强、分割、增广等处理。圈舍环境中视频背景复杂,秦志翔利用稠密轨迹和K-Means聚类消除复杂背景。

智能感知技术在动物个体识别与跟踪上成效显著,如杜妍娟利用RGB-D相机和深度学习算法识别奶牛面部特征,实现对奶牛个体的准确识别与实时跟踪,方便养殖户及时发现奶牛异常行为并处理。

2. 基于计算机视觉的动物行为识别方法

基于计算机视觉的动物行为识别方法在养殖领域发挥着重要作用。以猪养殖为例,在实际圈舍环境中,光线变化、猪只相互遮挡、姿态视觉模式复

杂多变、群猪背景干扰以及摄像头视角多样等因素给生猪行为识别带来诸多挑战。部分研究通过改进目标检测算法来应对这些难题,如张渊基于改进的YOLOv5模型(一种目标检测算法)展开研究,在模型的SPPF(一个结构模块)结构中加入Swin V2模块(一种视觉模型),利用残差——后范数法结合余弦实现增加注意力机制,能够有效稳定训练过程,加强对生猪各类行为关键特征的关注,同时采用Zero-Redundancy Optimizer(ZeRO)优化器,结合Deep Speed(深度学习优化框架)框架和ZeRO-stage-1(优化器状态分片)选项,将模型参数和优化状态分拆并分布到多个GPU(图形处理器)上,降低内存占用和显卡消耗,提升训练速度。相较于传统YOLOv5模型,改进后的模型在生猪站立、俯卧、饮食、行走和坐立姿态的识别上平均精度超过了91%,比原模型平均精度提升5%,训练时间提升50%,在生猪行为识别方面取得了更好的效果。在羊养殖方面,刘成等基于YOLOv5模型构建羊群多目标检测系统,通过融合Deep SORT多目标轨迹跟踪算法,提取羊只深度表现特征并实现运动轨迹建模与变化节拍规律分析,该系统在羊群动态游走场景下的多目标实时跟踪识别准确率达90.63%,可有效捕捉群体中掉队、离群等异常个体,为规模化羊场精细化管理提供技术支撑,助力养殖人员及时开展针对性干预。

3. 机器学习算法在动物行为识别中的应用

机器学习算法在动物行为识别领域发挥着核心作用,其中支持向量机(SVM)和随机森林算法优势显著。SVM基于结构风险最小化原则,能在小样本条件下有效分类动物行为。以王丹聪的研究为例,在猪的行为监测中,将拾音器采集的猪只声音行为数据(包含饮食、饮水、饥饿、咳嗽等声音)进行放大、滤波等预处理,提取梅尔倒谱系数特征向量,利用三轴加速度传感器ADX1345获取猪只运动行为数据(涵盖左躺、右躺、正卧、站立等多种行为),计算其在X、Y、Z三轴方向的均值、合加速度、峰值及相关系数等特征向量,随后,将声音与运动2种特征向量经SVM融合算法处理。在训练样本数量为1350个(未区分健康猪和患病猪)的情况下,SVM模型对猪只9种行为模式(站立、左卧、右卧、正卧、犬坐、饮食、饮水、咳嗽、饥饿)的分类准确率达92.2%。这一成果为猪只健康监测与科学养殖提供了有力支持,例如当监测到猪只出现咳嗽行为(模型识别准确率达93%),结合运动行为特征向量变化,可借助猪只行为评估系统,从时域和频域分析判断猪只健康状况,若发现异常及时提醒饲养员处理,有助于降低企业经济损失。随机森林算法通过集成多个决策树提升分类准确性和稳定性,在复杂环境下优势明显。赵继政等利用奶牛产前翘尾频次增加的生理特征,通过加速度传感器采集牛尾运动数据,结合监控录像确定产犊前的翘尾特征,运用MK趋势检验算法和基于集成学习思想的多SVM模型预测产犊情况,在11头奶牛的实际产犊时间差在12小时以内的有9头牛,占比81.82%。若将该模型应用于大规模奶牛场(假设100头奶牛),按照此比例预计可在12小时内准确预测约82头奶牛的产犊情况,养殖人员能够提前做好接产准备,在一定程度上有助于降低犊

牛死亡率,减少难产对母牛产后恢复、产奶量等的不良影响,提升奶牛场的智能化管理水平。

机器学习算法与智能感知紧密相连。智能感知系统收集动物行为和养殖环境的多源异构数据,经处理分析后,机器学习算法挖掘其中规律,实现动物行为分类识别与环境状态评估。算法还能学习动物行为与环境的关联,依据环境变化预测动物行为,或由动物行为异常推断环境问题,进而提升系统性能,适应复杂环境与多样行为。基于分析结果,智能感知系统可进行智能决策与预警,保障养殖效益。

圈舍环境对动物行为的影响

圈舍环境中的温度、湿度和光照等因素通过神经-体液调节网络显著影响动物行为,但其分子机制和动态响应规律仍需结合多组学技术深入解析。智能感知技术的发展为揭示环境-行为互作机制提供了新手段,其通过多模态数据融合分析,可量化环境因子对动物行为的动态影响,为精准调控提供理论依据。

1. 温度调控行为的神经机制

温度对动物生理和行为有着直接的影响。智能感知技术为深入研究这一机制提供了有力手段。例如,利用红外热成像技术和机器学习算法,能够实时、精准地监测动物体表温度变化,进而分析其生理状态。国梦阳等研究发现,当环境温度超过动物热中性区(如肉牛>25℃),下丘脑热敏神经元被激活,通过交感神经抑制骨骼肌活动,导致肉牛站立和走动时间减少约30%,同时促进棕色脂肪组织产热,表现为躺卧休息时间增加40%。何纪岩等指出,环境温度低于猪的最适温度(18℃—21℃)时,每降低1℃,猪的采食量会增加约5%。相关研究表明,低温下猪体内甲状腺激素分泌增加,提高代谢率,从而刺激食欲。Wang等基于红外热成像技术和机器学习算法构建的评估体系表明,奶牛乳腺炎发生时,患病乳腺区域的红外热像温度比健康区域平均高出2.5℃,利用支持向量机模型对热像数据进行分析,诊断乳腺炎的准确率达88%。牛处于热应激状态时,眼周温度会显著上升,当眼周温度超过37.8℃,呼吸频率增加40%,通过深度学习模型对热红外图像进行处理,识别热应激牛只的敏感度为85%(P<0.05)。智能感知机器人与猪舍环境评价模型的联合应用表明,当猪舍温度高于27℃或低于10℃时,生猪的采食量和繁殖能力受到影响,不同生长阶段的生猪日进量最多可下降20%,肉肉比最多增加0.23。有害气体浓度过高时,如氨气浓度大于10毫克/立方米、硫化氢浓度大于8毫克/立方米、二氧化碳浓度大于1500毫克/立方米,会导致生猪感知能力降低,呼吸困难、食欲不振、免疫力下降,进而使生猪疾病发生风险显著提高。

2. 光照调控行为的生物钟机制

光照作为重要的环境信号,影响动物昼夜节律、社交和觅食行为。智能光照系统的出现,使得研究人员能够更精确地探究光照对动物行为的影响机制。不同光照时长和强度会改变动物行为模式。邓雅程研究发现,模拟自然光条件下,鲍夜间特定时段为摄食高峰,白天运动少且有规律,持续黑暗条件下,其摄食和运动时间分散。智能光照系统的调控实验显示,采用间歇式光照模式,4周左右每天12小时光照可使产花鸡雏鸡二

次接种免疫后的抗体数量显著增加,显著提高生长速度和饲料转化率。但长时间光照会影响雏鸡正常作息,导致其烦躁不安、互相争斗,甚至啄羽、猝死等现象的发生率显著上升。同时,若选用波长较长的光或普通日光作为光源,会对产花鸡雏鸡的生长产生抑制作用;而使用偏黄色灯泡照明,可避免鸡群因对红色敏感而引发啄羽行为发生率降低。

3. 智能技术驱动的机制研究创新

在现代畜牧业智能化转型的进程中,曹天一开展了深入研究并构建了一套基于计算机视觉与机器学习技术的牛行为监测系统,该系统应用于内蒙古某牛养殖场,旨在实现对牛行为的精准监测与健康状况的有效评估。在该养殖场中,依据牛的行为特性和养殖区域功能,部署了多个不同位置和角度的监控摄像头。在采食区与饮水区,特定朝向的摄像头被设置用于清晰捕捉牛脸图像,借助先进的图像识别技术,实现对牛身份的精确识别;活动区则通过合理布局多个摄像头,确保牛群的各项活动都能被全面监测,从而获取丰富、全面的牛行为数据。同时,结合环境传感器,系统实时采集养殖场内的温度、湿度、光照强度等环境参数,为后续的行为分析提供多维度数据支持。该监测系统集成了先进的YOLOv5s目标检测算法和支持向量机(SVM)等机器学习分类模型。YOLOv5s算法以其卓越的性能,在复杂的养殖场景下,能够快速且精准地识别牛的多钟行为,包括站立、躺卧、采食、饮水、排粪、排尿、产犊和爬跨等。这些行为数据与同步采集的环境数据一同被输入到SVM模型中,该模型通过对大量历史数据的学习和分析,构建起牛行为与健康状况关联的动态模型。

该系统在实际运行过程中,持续监测牛群的起卧频率等关键行为指标,并结合环境数据进行综合分析。研究表明,环境因素对牛的行为有着显著影响,例如高温环境可能导致牛的躺卧时间增加,采食时间减少,而低温高湿环境则可能引发牛的起卧行为异常。系统利用这些关联关系,当监测到牛的起卧频率出现异常变化,且结合环境数据经SVM模型判断达到预警阈值时,会立即触发预警机制,向养殖场工作人员发送牛产犊的预警信息。这一功能使得工作人员能够提前规划并准备相应的护理措施,极大地提高了犊牛的成活率,有效降低了养殖场的潜在生产损失。此外,系统将所有监测数据存储至数据库,方便工作人员进行历史数据查询、行为模式分析以及健康状况的长期跟踪,为科学化、智能化的养殖决策提供了坚实的数据基础。

智能技术在圈舍环境与动物行为关系的研究中具有重要的应用价值。通过多模态数据融合分析,能够挖掘出环境因素与动物行为之间更细微的关联。例如,结合蛋鸭的产蛋行为与光照、温度、湿度等多因素数据,利用深度学习算法构建更精准的产蛋预测模型,为养殖管理提供更科学的决策依据。此外,利用智能技术对大量养殖数据进行长期监测和分析,有助于揭示环境因素影响动物行为的潜在规律,填补目前研究中的未知领域,为进一步优化养殖环境、提高动物福利和生产效益提供理论支持。

结论与展望

智能感知技术在圈舍养殖中显著提升了管理效率、动物福利及环境可持续性,但仍面临诸多技术瓶颈。在

传感器方面,例如在高温高湿且存在大量氨气的圈舍环境中,金属氧化物半导体气体传感器的检测精度会受到严重影响,对氨气浓度的测量误差可高达±20毫克/千克,导致无法准确判断空气质量,进而影响养殖环境调控。在数据处理方面,随着养殖规模扩大,数据量呈指数级增长,传统的集中式数据处理算法在处理海量数据时,计算资源消耗大,处理时间长,无法满足实时性要求,当处理一次全场养殖数据可能需要很长时间,而实际养殖决策往往需要在几分钟内作出。在动物行为识别方面,当动物出现部分身体被遮挡、光照突然变化或处于夜间低照度环境时,基于深度学习的行为识别模型准确率会大幅下降,如在夜间低照度环境下,奶牛行为识别准确率从白天的90%降至60%,模型泛化能力不足,难以在不同养殖场景下稳定应用。此外,传统CFD模型(计算流体力学)在模拟圈舍复杂气流分布时,由于难以准确考虑动物个体散热、设备布局等因素,模拟结果与实际情况偏差较大。

未来研究应重点关注以下几个方面:一是传感器创新,开发基于纳米材料的多参数集成传感器,如利用纳米碳管的高灵敏度和选择性,开发能够同时精确检测温湿度、多种有害气体浓度的集成传感器,提升监测稳定性,降低环境因素对传感器精度的影响。二是算法优化,采用分布式计算与量子架构,将计算任务分散到多个节点处理,提高计算效率;结合迁移学习、对抗训练等技术,使模型在不同养殖场景下具有更强的适应性,挖掘多模态数据(如视频、音频、传感器数据)的价值,提升模型鲁棒性。三是在管理层面,强化质量控制,建立严格的数据采集、传输和处理标准,确保数据的准确性和可靠性;加强隐私保护,防止养殖数据泄露;适配高效分析方法,快速处理和分析海量养殖数据。四是应用融合,将智能感知技术全面嵌入养殖全流程,在饲料投喂环节,根据动物体重、生长阶段和采食行为进行精准投喂,减少饲料浪费;在疫病预警方面,结合动物行为变化、环境参数和生理指标,提前预测疫病发生风险;在繁殖调控方面,通过监测动物发情行为和生理周期,提高繁殖效率。同时,推动跨领域协同创新,加强养殖行业与电子、计算机、材料等领域的合作。

推广智能感知技术面临设备成本高、传输效率低及标准兼容性差等挑战。一套完整的高精度智能养殖监测设备成本在数万元以上,对于中小规模养殖户来说成本过高。在偏远养殖地区,网络信号不稳定,数据传输延迟大,影响实时监测和控制。不同厂家生产的传感器和设备标准不统一,导致系统集成困难。但随着技术进步,智能感知技术将驱动养殖业向智能化、绿色化转型升级。未来,随着传感器成本降低,5G等高速通信技术普及以及行业标准的逐步统一,智能感知技术将在养殖业中得到更广泛应用,显著提高养殖效益和动物福利水平,推动养殖业可持续发展。

(作者单位:内蒙古农业大学动物科技学院)

(据《中国畜牧杂志》)

专家谈养殖

