

机器视觉驱动的生猪三维建模及瘦肉率智能检测研究

曲明月, 郭媛媛, 王成全, 杨佳宁, 杨淑婷

黑龙江东方学院, 黑龙江 哈尔滨 150000

DOI:10.61369/ME.2026060003

摘 要 : 为实现对生猪瘦肉率的无损快速准确测量, 本文基于机器视觉技术展开生猪三维建模与瘦肉率智能化检测机理研究。综合应用三维视觉感知、点云数据优化与深度学习特征提取等方法, 解决生猪柔性体形变及养殖场景复杂性等问题, 提出生猪躯体三维重建算法, 挖掘生猪体表三维形状与瘦肉分布之间的映射联系, 构建了生猪瘦肉率端到端智能检测体系。本文克服二维视觉检测缺乏维度信息、特征稀少等不足, 并解决了普遍三维模型建立对生猪柔性躯干及其养殖场景适用性不足等问题。研究成果能够实现对生猪活体无损检测, 并可促进良种选育和精细化养殖管理, 为实现生猪养殖业的智能化和精准化提供助力。

关 键 词 : 机器视觉; 生猪三维建模; 点云处理; 瘦肉率; 智能检测

Research on 3D Modeling of Live Pigs and Intelligent Detection of Lean Meat Percentage Driven by Machine Vision

Qu Mingyue, Guo Yuanyuan, Wang Chengquan, Yang Jianing, Yang Shuting

Heilongjiang Oriental University, Harbin, Heilongjiang 150000

Abstract : To achieve non-destructive, rapid, and accurate measurement of lean meat percentage in live pigs, this paper explores the research on 3D modeling and intelligent detection mechanism of lean meat percentage based on machine vision technology. By comprehensively applying methods such as 3D visual perception, point cloud data optimization, and deep learning feature extraction, the paper addresses issues such as flexible body deformation of live pigs and the complexity of breeding scenarios. It proposes a 3D reconstruction algorithm for the pig's body, explores the mapping relationship between the 3D shape of the pig's body surface and lean meat distribution, and constructs an end-to-end intelligent detection system for lean meat percentage of live pigs. This paper overcomes the deficiencies of 2D visual detection, such as lack of dimensional information and sparse features, and addresses the issues of insufficient applicability of general 3D models to the flexible body of live pigs and their breeding scenarios. The research results enable non-destructive detection of live pigs and can promote the selection of superior breeds and refined breeding management, providing assistance for the intelligent and precise development of the pig breeding industry.

Keywords : machine vision; 3D modeling of live pigs; point cloud processing; lean meat percentage; intelligent detection

引言

生猪养殖是我国畜牧产业的主要构成, 在保障肉制品供应、带动农业经济增长等方面扮演着极为重要的角色。随着集约化、标准化养殖进程的推进, 对生猪品质控制精度的要求逐渐变高, 对生猪瘦肉率检测准确性及效率的要求也越来越严格。它不仅关系到良种选育、饲养调节, 而且还涉及商品猪分级等工作, 直接关系到整个生产系统的效率。随着机器视觉技术和人工智能的发展, 使畜禽活体无损检测有了新的研究方向。对于一般的物体来说都可以使用通用的三维建模方法去建模, 然而对于生猪的柔性躯体, 这些方法都不适用, 并且由于生猪的躯体在养殖现场存在一定的形变和复杂的背景等问题的存在, 采用常规建模方式所得到的模型效果很差。为此本文针对生猪进行了基于机器视觉的三维建模方法和处理点云数据的方案优化, 挖掘生猪三维体态与瘦肉率之间的内在联系, 进而实现基于该原理构建智能无损检测系统的设想。通过此方案解决已有技术存在的问题并为今后生猪养殖朝着智能化、集约化的趋势发展提供一定的借鉴。

项目信息: 本文系2024年度黑龙江省省属本科高校基本科研项目“基于多视角三维建模与机器视觉的生猪瘦肉率动态评估系统研究”。

作者简介: 曲明月(1999.02-), 女, 汉族, 内蒙古呼伦贝尔人, 工学硕士, 黑龙江东方学院信息工程学院助教, 研究方向: 机器视觉图像处理。

一、生猪瘦肉率传统检测技术缺陷分析

（一）人工感官检验的局限性

人工感官检测法是在基层养殖领域应用最广泛的瘦肉率检测方法，该方法是通过养殖场技术人员对生猪的躯体外形进行观看观察，并对手触摸生猪躯体肥瘦情况进行判断，再结合以往的养殖经验得出其猪的瘦肉率等级。这种检测方法不需任何的专业设备，操作比较简单方便，然而该检测方法的整体体系并不科学合理，不同的人有着不同的从业经历以及判定标准，针对同一只生猪所做出的评判也会有所不同，这就造成了人为性过强的现象，导致无法形成一个相对统一的品质评定^[1]。同时人工感官检测方式也只能对生猪的品质进行大体上的粗略分层，而不能对数值指标作出精确地检测，在选种和良种过程中，精准的质量检测就显得尤为重要，这样就不便于准确地选取品种的优良。长期的人工检测还会使人的身体疲惫度比较高，效率比较低，无法满足大规模养殖中大批量的同时检测的需求，因此也大大影响了生猪品质的检测与控制效率。

（二）屠宰检验的局限性

屠宰后胴体检测为现阶段最准确的传统检测方式，将屠宰后的生猪胴体进行分割测量、称重得出瘦肉在胴体中的比例数值作为其瘦肉率的值。这种实体测量计算方式消除了人为因素的影响，但是也存在难以弥补的应用不足之处，首先，其是破坏性操作，在检测之后的样本猪肉不能够进入市场出售，也不能做进一步的良种繁殖利用，仅限品质抽检之用，且难以实现对在养殖过程中进行活体生猪选育筛选^[2]。其次，操作比较麻烦，检测流程需经过宰杀、脱毛处理、分割、称重及计算等步骤环节，耗费时间长、人力成本大，其检测结果具有明显的滞后效果，难以针对实时检测养殖饲喂控制调整提供指导。再者由于批量的宰杀检验势必会消耗大量资源，增加饲养检测成本，违背降低现代化养殖户养殖成本，提高效益的原则。

（三）视觉检测技术存在的不足

近几年来视觉检测技术逐步应用到畜禽的品质检测领域，现有工作都是基于二维机器视觉进行检测研究，采集生猪正视图、侧视图等二维图像信息，利用长宽比、背部轮廓线、腹部松弛度等平面特征建立了瘦肉率的检测模型。但二维图像本身存在维度缺陷无法体现生猪躯体的立体结构特征，丢失了与瘦肉分布密切相关的躯体厚度、背部隆起弧度以及躯干立体饱满度等重要特征，特征表达单一导致模型泛化性能差^[3]。另外，二维视觉极易受拍摄角度、光照强度和生猪姿态等因素影响，在不同猪只姿态图像中差异较大稳定性欠佳。而目前少量的三维视觉研究均采用通用建模算法并未针对生猪具有柔性躯体易于形变且其形态不固定的特点进行相应的改进，面对复杂的现场环境干扰因素，模型重建精度较差噪声干扰明显无法满足精准检测的需要。

二、机器视觉生猪三维建模技术体系构建

（一）三维视觉图像采集系统设计

准确的图像数据采集为三维建模和瘦肉率检测奠定了基础，结合活体生猪的特性，本文选用结构光三维视觉设备构建了适合养殖通道条件下的无损图像采集装置。相比传统双目视觉相机而

言，三维结构光视觉采集系统可将光栅结构光主动投射于待测猪躯体表面且不会受到环境自然光的影响，能够精准捕捉待测物体表面的微细轮廓形状特征信息适用于现场光照变化、轻微粉尘影响等较复杂的实际场景^[4]。在实际采集的过程中考虑了活动猪特性，在较低的速度范围内设计了猪的通行轨道，并对通行过程进行了匀速控制以保证被测物体在测量过程中平顺运动而不会造成由于活体躁动、姿态剧烈变化带来的测量影响；同时采取多视角同步采集的形式从被测对象背部、两侧肩部等多个位置点对待测猪只进行同步的三坐标图像数据采集，从而充分地覆盖住猪的身体躯干部位，有效解决了单视图采集时所遇到的遮挡、遗漏现象，保障了采集到数据的完整与详尽为点云处理重建三维模型提供高质量的原始数据。

（二）生猪躯体点云数据预处理

三维视觉设备捕获的数据为生猪躯体的无序点云，包含大量的粉尘噪声、地面杂物、生猪轻微肢体晃动噪声以及视觉系统采集误差等背景噪声点和异常值，直接利用该类原始点云进行建模容易形成粗糙表面轮廓结构，并影响基于模型提取特征的准确性。为此针对生猪躯体的特性设计一套合理的点云预处理流程对原始点云数据进行净化与优化，首先采用直通滤波的方式过滤空间无关背景点云，将有效躯体点云分离并从点云数据中将地面、围栏环境信息过滤，定位生猪目标检测区域，其次采用统计滤波的方式去除离散孤立噪声值，将由于生猪活体小幅度晃动以及光线扰动带来的漂浮式点云剔除平滑躯体轮廓，最后采取点云降采样手段，在保持躯体基本的形状及立体感的同时精简冗余无效点云降低运算量并提高重建效率，在确保猪体三维特征不失真的情况下减少不必要的算法资源浪费。

（三）柔性躯体三维重建模型优化

猪只柔性活体躯体姿态多变且柔软易变形，基于刚性物体的通用三维建模算法不适用于生猪活体体型特征，容易导致重建轮廓线扭曲，曲面连接不光滑及模型细节丢失等问题。针对预处理后纯净点云数据，对适配于生猪柔性躯体的三维重构算法进行了改进，实现高保真生猪活体躯体的重建。采用点云配准方法对多视点云数据进行精确拼接，统一线、二、三等多维度采集空间坐标体系，在一定程度上解决了多视采集拼接产生的错位误差问题。根据猪只柔性牲畜身躯结构，使用曲面重构方法来补全与拟合稀疏点云，恢复重建了猪只身躯边缘区域及背部和腰肋等部位的主要缺失细节特征，建立了连接顺畅、光滑完整地表达猪肉动物躯体三维形态。针对头部、四肢部分等非关键检测区域做了轻量化处理，并主要保存身躯、背部富含瘦肉区段等地三维细节信息。在保证精确性地基础上提高了模型运算效率以满足实时检测的需求。

三、基于三维特征的瘦肉率智能检测模型构建

（一）瘦肉率关键三维特征提取

生猪瘦肉主要分布于猪背、腰肋及后躯部，三维躯体结构与其瘦肉含量和分布具有极其紧密的联系，不同于二维特征。三维

立体特征可完整表征生猪躯体肥瘦的本质区别，本文充分利用重建的生猪模型深度挖掘与之高度相关的特征参数，摆脱单一平面轮廓信息提取的桎梏，将重点放于立体特征上。本文着重从生猪躯干的立体厚度大小、背部曲面隆起度以及腰腹部丰满情况等与生猪瘦肉率高度关联的基本特征着手，并辅以躯体纵横立体比例关系以及躯干表面面积比体积、光滑性、对称性和平整性等一系列立体结构属性的辅助性特征，形成一个多方位多层次的全面描述瘦肉率特征集合。三维特征比起二维特征可以有效地将生猪由于脂肪层与瘦肉层的不同而带来的形态上的差别细致地区别开来，避免了平面检测不能分辨的一些细节，为准确检测瘦肉率提供了较好的特征基础。

（二）深度学习检测模型建立

为建立精确的三维特征与瘦肉率映射关系，本文利用深度学习算法搭建端到端检测模型，避免传统人工挑选和线性拟合的检测模式。以提取出生猪多源三维体态信息作为输入数据，运用神经网络对特征数据进行深入融合、优化，并挖掘各个三维特征在检测中的影响因子，降低无效因子影响，突出重要肥瘦特征表达能力。模型针对生猪体态差异特点进行了改进，实现自动适应不同体态及各个生长阶段的生猪体态信息变化规律，在提升泛化能力和稳定性方面表现卓越。同时简化了推理结构，提高运算逻辑速度，减少硬件依赖程度。提高了精度的同时加快了速度，满足规模化养殖实时大批量的检测需求。

（三）提高模型适应性和稳定性

面对复杂的养殖场景，随机的活体动物姿态和不同的生长状况对模型检测的适应性以及检测的稳定性都具有较高的要求。本文通过采集多场景、多个生长阶段生猪的数据样本进行训练迭代学习，其中包括各种不同光照环境和养殖环境、各种不同的体态、姿态的生猪三维样本数据，提高了模型对于复杂现场场景的适应能力。为解决由于站立、小幅度走动等不同姿态带来的三维特征差异性问题引入特征自适应校正机制，可以自动矫正因姿态带来的检测结果的影响，实现同一个生猪不同的姿态检测的一致性。提高对模型的抗干扰能力弱化环境细微噪声、躯体的小幅度形变对于结果的影响，解决了传统视觉检测模型稳定性差、场景适应能力不足的行业痛点问题。

四、研究应用价值与产业意义

本文研究的机器视觉生猪三维建模与瘦肉率智能检测系统完全打破了原有检测方式的技术束缚，实现了生猪活体、无损、高效、准确地检测，具有极强的实用性和可推广性。在养殖生产上通过该项技术不需要对样本进行屠宰，并且不需人工判定，在生猪生长的整个周期都能对其品质进行动态监控，可以根据生猪实时检测到的瘦肉率情况科学调整饲料配比、环境和管理措施，从而实现精细管理提高生猪的品质和经济收益；在良种选育方面通过对生猪精准的活体瘦肉率检测结果快速选出优良种猪并淘汰品质低下的种猪，提高生猪优良品种选育效率以及准确性，促进生猪的品种改良及培育优良品种。

在产业技术方面，破解了二维视觉检测、三维建模的产业技术难题，完善了畜禽活体三维智能检测技术链体系，为畜牧养殖智能化检测提供了全新的技术手段。促使生猪养殖业从经验化粗放式管控到数据化精准化智能化管控转型，减少人工检测消耗的人力物力资源，提升生猪养殖产业的标准化现代化水平，为整个畜牧业智能检测的产业升级提供强大的技术支撑。

五、结语

为解决传统生猪瘦肉率检测效率低下、精度不高等检测难题，结合损伤性与适配性等问题，在本文中主要以机器视觉技术作为核心展开对生猪三维建模技术研究并实现对生猪的瘦肉率智能检测工作。通过研究优化三维图像采集、点云数据处理以及柔性躯体的三维重建全过程中的关键技术有效解决了在复杂的养殖环境下对生猪活体进行三维重建精度不高这一系列问题，并通过利用多角度下的三维生猪体态特征及基于深度学习的模型实现了准确的猪瘦肉率智能化检测解决了二维视觉检测存在的缺陷。在本论文当中研究了完整的科学技术体系，且适用性比较强可以运用到生猪的精细养殖、良种培育以及肉制品分级等多种情形，这样可以推动养猪业发展朝着更加智能化方向前行。

参考文献

- [1] 朱永泉. 基于多目标检测的生猪姿态识别和跟踪研究 [D]. 山东农业大学, 2025.
- [2] 刘志涛. 圈养场景下生猪的检测追踪与行为分析研究与应用 [D]. 桂林电子科技大学, 2025.
- [3] 王顺利. 深度学习驱动的生猪姿态智能感知与语义生成技术研究 [D]. 山东农业大学, 2024.
- [4] 蔡文涛, 李子圣, 韩建宁, 杨凯. 计算机视觉技术在生猪健康监测中的应用研究进展 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2023, (24): 22-30.