

基于计算机视觉技术的生猪体重智能估测研究进展

孔娟娟¹, 刘桂民¹, 邓浩然¹, 周学利², 王 龙¹, 管博伦¹, 钱 蓉^{1*}

(1. 安徽省农业科学院农业经济与信息研究所, 安徽合肥 230032; 2. 安徽省农业科学院畜牧兽医研究所, 安徽合肥 230032)

摘要 为了避免因人工测量生猪体重给生猪带来较严重的应激反应, 影响生猪身体健康, 严重时导致生猪死亡。综述了计算机视觉技术在生猪体重智能估测方面的研究进展, 通过相机获取生猪 2D 或 3D 图像数据, 提取生猪体长、体高、腹围宽、胸围宽和背部面积, 基于线性函数、偏最小二乘法函数、RBF、MLP 等非线性函数, 对生猪体重自动预测模型进行研究, 实现非接触式生猪体重估测, 能及时、快速且无伤害地获取生猪体重信息。对比分析各项相关研究报告可知: 线性预测模型的准确率明显低于非线性预测模型, 且基于非线性函数构建的体重估测模型的平均误差小于 5%, 与实际体重的平均相关性约 0.97, 说明生猪非接触式体重估测方法的可行性, 为生猪的精准饲养管理提供了一种有效的监测手段, 减少人力资源损耗, 提高生猪养殖福利。

关键词 非接触式; 体重估测; 图像处理; 模型; 3D

中图分类号 S818.9 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)23-0008-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.23.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Research Progress on Intelligent Estimation of Pig Body Weight Based on Computer Vision Technology

KONG Juan-juan, LIU Gui-min, DENG Hao-ran et al (Institute of Agricultural Economics and Information, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei, Anhui 230032)

Abstract In order to avoid serious stress response to pigs due to manual measurement of pig body weight, which will affect the health of pigs, and even lead to death of pigs in severe cases. The research progress of computer vision technology in intelligent estimation of pig body weight is reviewed. The 2D or 3D image data of pigs are obtained through cameras, and the body length, body height, abdominal width, chest circumference and back area of pigs are extracted. Based on linear functions, partial least squares Multiplication function, RBF, MLP and other nonlinear functions are used to study the automatic prediction model of pig body weight, realize non-contact pig weight estimation, and obtain pig body weight information in a timely, fast and harmless manner. Comparative analysis of various related research reports shows that the accuracy of the linear prediction model is significantly lower than that of the nonlinear prediction model, and the average error of the weight estimation model constructed based on the nonlinear function is less than 5%, and the average correlation with the actual weight is about 0.97. The feasibility of the non-contact weight estimation method for live pigs is illustrated, and it provides an effective monitoring method for the precise feeding and management of live pigs, reduces the loss of human resources, and improves the welfare of live pigs.

Key words Non-contact; Weight estimation; Image processing; Model; 3D

生猪体重是生产者衡量生猪品质的重要依据, 也是管理生猪生长、健康和上市销售的重要指标, 是制定科学饲养决策的必备条件^[1], 特别是及时估测出栏肥猪的体重, 决定利润至关重要, 因为这可以让猪肉生产商在降低劳动力和饲料成本的同时, 对群养猪做出正确的营销决策。安徽农业大学丁月云等^[2-3]研究发现母猪胸围、体长、体高等体尺性状不仅与繁殖性状相关, 也与妊娠母猪的生长状况、仔猪的初生质量有很大相关性, 对种猪的选种育种有较大指导作用。徐宁迎等^[4-6]通过接触式方法预估动物活体的体重、体尺等生长性状, 验证了动物体重与体型和各个生长性状间存在相关性。孟庆利等^[7]采用对比分析方法发现体尺参数作为种猪选育指标, 能提高种猪的选种准确性, 为种猪育种工作重要的参考依据。Nakavisut 等^[8]提出体长可以作为评价母猪的生长状况和繁殖性状的标准之一。由此可知, 体重体尺是生猪生产的重要因素。刘同海等^[9]选用 52 头 120 日龄左右的种猪为研究对象, 手工测量体长、体高、体宽、臀宽、臀高、背膘厚、眼肌厚, 研发 RBF 神经网络模型, 智能预测种猪体重,

预测值与实际值之间相关系数高达 0.998, 证明了猪活体重与生长性状有着很强相关性。

在实际生产中, 体重是人工或采用体重箱、磅秤、地秤测量等电子设备称量而得, 体尺是人工依据主观经验目测或用皮尺测量。这种接触式体重体尺测量方式不仅耗时耗力, 且对生猪产生较大应激反应, 影响生猪健康发展, 也不符合动物福利养殖要求^[10]。同时, 在测量过程中因生猪姿态、猪笼大小等条件限制, 导致测量误差较大, 测量结果具有局限性^[11]。因此, 接触式测量方法难以满足生产产业发展需求。

该研究重点介绍计算机视觉技术在生猪非接触式体重智能测定方面研究与应用, 截至目前, 已有多位学者开展相关工作, 为非接触式体重估测研究提供研究依据。现有研究表明, 通过提取图像中生猪体长、体高、腹围宽、胸围宽和背部面积等特征, 基于线性函数或非线性函数, 研发体重自动估测模型, 可实现非接触式生猪体重估测, 但受试验数据采集条件和模型泛化能力影响, 研究结果未能推广使用。

1 接触式体重估测

黄家圣等^[12]手工测量二元杂种肥猪的体长、胸围和体重数据, 采用公式(1)预测肥猪体重, 根据猪只的营养情况不同, 营养良好的为 129, 营养中等的为 111, 营养不良的为 93。Johnson 于 1994 年发表公式(2), 孙宗德^[13]通过试验证明该公式较适用苏白猪、苏杂猪、巴克夏猪, 对杜洛克及其杂交猪则误差较大, 人工测量 97 头杜洛克杂交猪的体尺、胸围和体

基金项目 农业大数据研究与应用团队项目(2022YL038); 安徽省农业科技成果转化应用专项项目(2021ZH005); 六安市产学研合作重大专项项目(2020 年)。

作者简介 孔娟娟(1979—), 女, 安徽肥东人, 助理研究员, 硕士, 从事农业信息学研究。* 通信作者, 副研究员, 硕士, 从事畜牧信息化研究。

收稿日期 2022-07-22

重数据,建立二元一次方程式,如公式(3)所示。李铁宝等^[14-15]测量生猪的体长、胸围、体高、臀围、腹围等体尺指标,任选多个指标构建多元一次方程,依据实际体重值获得自变量系数,进而构建体重估测线性模型,结果证明实验室环境下,基于单个测量体尺的回归方程可以准确预估育肥猪体重。李剑秋^[16]研究大约克猪估重模型时也选择了体长、体高、胸围和腹围4个指标,腿围数据,利用逐步回归分析法建立预测体重的多元回归数学模型,回归方程如公式(4)所示。对比上述研究报道可知,体重预估值与体尺性状指标数增多,估重的准确性更高。

$$y = \frac{\text{体长} \times \text{胸围}}{93 \text{ 或 } 111 \text{ 或 } 129} \quad (1)$$

$$y = \frac{\text{胸围}^2 \times \text{体长}}{14\,400} \quad (2)$$

$$y = 0.627\,2 \times \text{体长} + 1.151\,4 \times \text{胸围} - 107.957\,9 \quad (3)$$

$$y = -155.29 + 0.223\,6 \text{ 体长} + 1.145\,8 \text{ 体高} + 0.947\,2 \text{ 胸围} + 0.700\,7 \text{ 腿围} \quad (4)$$

2 非接触式体重估测

接触式体重估测增加饲养员工作量,也给生猪带来较大的应激反应。同时,在测量过程中因生猪行走、跪立等姿势,导致手工测量误差较大,使得估测值与实际体重的相关性较低。采用非接触式体重估测方法,可不受生猪的姿态影响,避免饲养员手工测量,也符合动物福利养殖的要求。

2.1 传统 CV 估测算法研究 Minagawa 等^[17]先后通过提取生猪背部图像面积大小,找出背部面积和体重间相关性,研发生猪体重估测模型,获得估测体重的平均误差小于5%。White 等^[18]分别用 VIA 系统和 FIRE 系统监测生猪的生长率,以背部面积和轮廓的大小为自变量,构建线性自动估重模型,发现因生猪姿势变化导致估重值产生偏差,具有重要指导意义。Parsons 等^[19]于2007年研发出基于模型的、用于猪生长和污染物排放综合控制的实时闭环原型系统和测试,每个试验阶段生猪体重都是实时通过视觉图像分析系统获取,线上估测的平均误差<3.5%。Wang 等^[20]2006年利用图像处理技术从二维图像矩阵中提取猪后部面积、中间宽度等物理形态特征,并将它们与活重关联起来构建模型,试验结果表明投影面积与猪重的相关性最好。该团队^[21-22]于2008年开发了一种基于图像的步行系统,无需将猪限制在固定成像的特定区域,使用人工神经网络技术将步行图像中提取的外表特征与猪活体重关联起来,建立估测模型,试图提高活重估测的实用性,结果表明,该步行称重系统的平均相对误差在3%左右。杨艳等^[23-24]利用数码摄像机获取种猪样本图像,采用域值分割法对图像进行分割,根据投影区域与参考系的比例关系估测种猪真实投影面积和体高,并建立了其与体重的回归方程,预测体重与实际称量体重的平均相对误差为3.2%。2018年,Jun 等^[25]从三方面提出了一种不同于以往研究的基于图像的猪体重估计方法。一是不限制猪的姿势和图像捕捉环境,减少了猪的压力;二是利用二维图像的特征,不依赖于三维深度信息。三是估计模型是利用机器

学习的最新进展构建的。除了猪的面积作为估计的主要特征参数外,引入了与姿态相关的曲率和偏差两个新特征,从而能够量化权重调整。通过一组试验研究了特征和神经网络结构的组合对性能的影响。利用477张训练图像和103张测试图像,获得了平均3.15 kg的估计误差,模型的决定系数 $R=0.792$ 。Minagawa 等^[26]选用7头87日龄杂交品种猪为研究对象,开发了一种由摄像机、幻灯机和计算机组成的设备,通过成像和图像分析,从正上方获取图像数据,使用幻灯机提供印有黄色交叉线的红色载玻片,获得了一幅适合图像分析的清晰的猪图像,用图像分析软件获得猪的体高和背部投影面积,用多元回归方程构建预测模型,测量单头猪的高度和重量,平均误差为2.1%,组平均误差为1.3%。

2.2 基于 3D 图像的体重估测 与2D图像相比,3D图像更完整,具有立体感,能表达出目标对象各个角度的细节特征,通常用深度相机采集,其成像原理主要分为3D结构光、TOF和双目立体视觉。随着深度相机价格不断下降,性能逐渐提升,被广泛应用到动物体型、体况及体重估测和行为自动识别等研究中,在实验室条件下取得较好成效。

2.2.1 基于 3D 图像的线性估测模型。 中国农业大学腾光辉团队的刘同海^[27]采用多元线性回归、SMLR、RBF 和 PLS 等方法,构建了猪体重估测模型,其中基于 RBF 神经网络的猪体重估测模型的 R^2 为0.977,经对比分析发现非线性模型预测效果明显优于线性模型。Marchant 等^[28]开展了基于图像的猪体检测技术的研究,应用蛇算法改进了轮廓提取算法,提取出多个猪重叠的个体轮廓,有望改进多目标中单个轮廓的提取算法。2016年,Shi 等^[29]采用双目摄像机采集生猪图像,经重建和分割获得三维图像,估算出体背部面积和体重间关系,构建生猪体重估算模型,并验证得到生猪体长和肩高的相关性约为0.91~0.98,为后期研究提供参考。张建龙等^[30]利用深度学习技术估测生猪体重,试验对比 Xception、MobileNetV2、DenseNet201 和 ResNet152V2 模型,其中 DenseNet201 估测效果最佳,在验证集上估测的相关系数为0.99,平均相对误差为1.57%。

2.2.2 基于 3D 图像的非线性估测模型。 双目视觉技术应用较为广泛,2014年,付为森等^[31]已开始尝试运用双目视觉技术重建生猪立体图,探索生猪生长性状自动监测、体尺和体重间相关性。刘同海^[27]分别采用偏最小二乘法和 RBF 神经网络算法建立估重模型,精度优于普通线性回归模型,通过试验对比,上述两种算法的估测精度优于线性模型,为基于双目视觉技术下的非接触式生猪体重估测研究奠定基础。

中国农业大学腾光辉^[27,32]团队先后使用双目视觉技术采集生猪三维图像数据,通过图像处理方法提取胸围、臀高、体长、体高、体宽等生长性状数据,分别基于线性函数、非线性函数、机器学习算法和深度学习算法等构建预测模型,猪体重估测值与实测值相关系数为97%,平均相对误差为2.5%,优于仅用背部面积估测模型。2014年,Kongsro^[33]利用深度图像不需要太多校准工作,也不容易受到背景和光照等噪音影响的特点,基于微软 Kinect 摄像头技术,利用红外

图像深度值,设计了一个用于猪称重的原型,该系统成功地对长白羊和杜洛克两种不同纯种的体重进行了估计,与美国奥斯本的 Fire 系统称量体重值间平均误差在 4%~5%。

3 展望

生猪体重一直倍受养殖户关注,传统体重称量方式地磅秤、过道秤和杆秤等工具人工称量,要求工人有一定体力才能胜任,称量过程耗时很久,同时,给生猪带来的应激反应更为严重。近年,计算机视觉技术快速发展,被成功应用到生猪产业发展中,基于 2D 或 3D 图像的生猪非接触式体重估测是典型应用之一。对比已有研究报道可知,利用图像处理技术分析生猪 3D 图像特征信息,提取体尺相关指标,通过卷积神经网络模型、PointNet++ 模型等非线性函数方法构建生猪自动估重模型,在实验室条件下估测效果更为理想。为了加速基于 3D 图像的非接触式生猪估重方法落地,应扩大研究对象范围,在猪场实际生产场景下采集数据,进而提高估重模型的泛化能力,有利于估重模型产品化,避免传统称量方法带来的生猪应激反应,进而减少生产损失,降低猪场运营的生产成本,可用于生猪生长过程的监测和研究,为生猪的精准饲养管理提供了一种有效的监测手段。

参考文献

- [1] SCHOFIELD C P, MARCHANT J A, WHITE R P, et al. Monitoring pig growth using a prototype imaging system[J]. Journal of agricultural engineering research, 1999, 72(3): 205-210.
- [2] 丁月云,余大华,孟云,等.长白猪体尺性状与繁殖性状的典型相关分析[J].河南农业科学,2013,42(11): 145-148.
- [3] 张力,邵良平.杜长大杂交猪生长发育性能的性别差异性研究[J].家畜生态学报,2005,26(2): 49-50.
- [4] 徐宁迎,王先明,曹小英,等.长白猪主要选育性状间的典型相关分析[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2000,26(5): 563-566.
- [5] ERAT S. Application of linear, quadratic and cubic regression models to predict body weight from different body measurements in domestic cats[J]. International journal of agriculture and biology, 2011, 13(3): 419-422.
- [6] CHITRA R, RAJENDRAN S, PRASANNA D, et al. Prediction of body weight using appropriate regression model in adult female Malabari goat[J]. Veterinary world, 2012, 5(7): 409-411.
- [7] 孟庆利,王志云,张军,等.不同品种的后备种猪、头胎种猪和二胎种猪体尺指标相关性研究[J].养猪,2020(3): 63-64.
- [8] NAKAVISUT S, CRUMP R E, GRASER H U. Body length and its genetic relationships with production and reproduction traits in pigs[C]//Proceedings of the 8th world congress on genetics applied to livestock production. Belo Horizonte, MG, Brasil; CD-ROM, 2006: 13-18.
- [9] 刘同海,滕光辉,付为森,等.基于机器视觉的猪体尺测点提取算法与应用[J].农业工程学报,2013,29(2): 161-168.
- [10] 刘同海,李卓,滕光辉,等.基于 RBF 神经网络的种猪体重预测[J].农业机械学报,2013,44(8): 245-249.
- [11] OZKAYA S. Accuracy of body measurements using digital image analysis in female Holstein calves[J]. Animal production science, 2012, 52(10): 917.
- [12] 黄家圣,宗志才,崔名标,等.二元杂种育肥猪体重估测公式的建立[J].江苏农业科学,1993,21(4): 55-57.
- [13] 孙宗德.杜洛克杂交生长猪体重估测方法[J].新疆农垦科技,1987(4): 20-21.
- [14] 李铁宝,张儒良,李胜仁.贵州地方母猪体尺相关性研究[J].贵州农业科学,1996,24(5): 47-50.
- [15] OCHOA ZARAGOZA L E. Evaluation of the accuracy of simple body measurements for live weight prediction in growing-finishing pigs[D]. Champaign: University of Illinois at Urbana-Champaign Animal Sciences, 2010.
- [16] 李剑秋.应用逐步回归法估测猪体重的研究[J].浙江畜牧兽医,2002,27(1): 4-5.
- [17] MINAGAWA H, HOSONA D. A light projection method to estimate pig height[C]. Des Moines: ASAE, 2000.
- [18] WHITE R P, SCHOFIELD C P, GREEN D M, et al. The effectiveness of a visual image analysis (VIA) system for monitoring the performance of growing/finishing pigs[J]. Animal science, 2004, 78(3): 409-418.
- [19] PARSONS D J, GREEN D M, SCHOFIELD C P, et al. Real-time control of pig growth through an integrated management system[J]. Biosystems engineering, 2007, 96(2): 257-266.
- [20] WANG Y S, YANG W, WINTER P, et al. Non-contact sensing of hog weights by machine vision[J]. Applied engineering in agriculture, 2006, 22(4): 577-582.
- [21] WANG Y S, YANG W, WALKER L T, et al. Enhancing the accuracy of area extraction in machine vision-based pig weighing through edge detection[J]. International journal of agricultural and biological engineering, 2008, 1(1): 37-42.
- [22] WANG S Y, YANG W, WINTER P, et al. Walk-through weighing of pigs using machine vision and an artificial neural network[J]. Biosystems engineering, 2008, 100(1): 117-125.
- [23] 杨艳,滕光辉,李保明.利用二维数字图像估算种猪体重[J].中国农业大学学报,2006,11(3): 61-64.
- [24] 杨艳,滕光辉,李保明,等.基于计算机视觉技术估算种猪体重的应用研究[J].农业工程学报,2006,22(2): 127-131.
- [25] JUN K, KIM S J, JI H W. Estimating pig weights from images without constraint on posture and illumination[J]. Computers and electronics in agriculture, 2018, 153: 169-176.
- [26] MINAGAWA H, TAIRA O, NISSATO H. A color technique to simplify image processing in measurement of pig weight by a hands-off method[C]. Raleigh, NC: ASAE Publication, 2003.
- [27] 刘同海.基于双目视觉的猪体尺参数提取算法优化及三维重构[D].北京:中国农业大学,2014.
- [28] MARCHANT J A, SCHOFIELD C P. Extending the snake image processing algorithm for outlining pigs in scenes[J]. Computers and electronics in agriculture, 1993, 8(4): 261-275.
- [29] SHI C, TENG G H, LI Z. An approach of pig weight estimation using binocular stereo system based on LabVIEW[J]. Computers & electronics in agriculture, 2016, 129: 37-43.
- [30] 张建龙,冀横溢,滕光辉.基于深度卷积网络的育肥猪体重估测[J].中国农业大学学报,2021,26(8): 111-119.
- [31] 付为森,滕光辉.基于双目视觉技术的猪生长监测系统标定模式[J].农业机械学报,2009,40(S1): 223-227.
- [32] 李卓.基于立体视觉技术的生猪体重估测研究[D].北京:中国农业大学,2016.
- [33] KONGSRO J. Estimation of pig weight using a Microsoft Kinect prototype imaging system[J]. Computers and electronics in agriculture, 2014, 109: 32-35.