

周明彦, 黎焯, 祝志慧, 等. 基于双目-红外多源数据的猪只体尺自动测量方法[J]. 华中农业大学学报, 2025, 44(2): 9-16.
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2025.02.002

基于双目-红外多源数据的猪只体尺自动测量方法

周明彦^{1,2}, 黎焯^{1,2}, 祝志慧^{1,2}, 陈萌放^{2,3}, 徐迪红^{1,2}

1. 华中农业大学工学院, 武汉 430070; 2. 农业农村部智慧养殖技术重点实验室, 武汉 430070;
3. 华中农业大学信息学院, 武汉 430070

摘要 针对猪只体尺测量过程中普通彩色图像易受到环境光线影响、深度图像易产生空洞等问题, 提出一种基于双目-红外图像的非接触式猪只体尺测量方法。该方法使用红外图像提取猪只前景图像, 基于椭圆拟合法和投影差分法分割猪只头尾部, 采用凸包分析法和对称性检验法筛选猪只理想姿态。同时, 利用双目图像获得猪只深度信息, 使用单应性矩阵联系红外与双目图像的位置信息, 并在此基础上设计了猪只体尺测量方法。结果显示: 基于红外图像提取出的猪只轮廓清晰且平滑; 理想姿态筛选算法精确度为94.0%; 体长、体宽、臀宽、体高和臀高测量的平均相对误差分别为1.78%、3.26%、3.20%、1.92%和2.27%, 平均相对误差的平均值为2.49%, 平均绝对误差为1.42 cm。研究表明, 本文提出的算法能够满足猪只体尺测量的精度要求, 为猪只体尺的连续、自动测量提供了可行的解决方案。

关键词 猪; 体尺测量; 单应性矩阵; 数据融合; 姿态检测

中图分类号 S818 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2025)02-0009-08

猪只体尺信息可以直接或间接反映其品种的优越性, 持续监测猪只的生长状况能够及时发现其异常状态, 从而快速采取相应措施^[1-3]。传统的体尺测量方法需要人工使用卡尺与皮尺对猪只进行测量^[4], 这种传统的体尺测量方法不仅繁琐费力, 且其接触式的测量方法会导致猪只应激反应, 从而降低体尺的测量精度、提高测量的难度。

随着机器视觉技术的快速发展, 非接触式畜禽体尺测量技术已取得较多成果^[5-8]。在众多的研究中, 普遍利用可见光相机和深度相机收集猪只图像信息, 从平面图像或深度图像中提取猪只的体尺信息^[9-11]。然而, 通过普通相机获得的彩色图像易受到养殖环境和猪体颜色的影响, 容易造成轮廓提取错误; 通过深度相机获得的深度图像在物体边缘部分, 存在深度信息丢失的空洞区域^[12-14], 这些局限性都限制了测量的准确性。红外热成像技术通过检测物体表面发射的红外辐射来获取其热图像, 能够清晰地呈现猪只轮廓信息^[15-16], 且不受环境光线影响, 在物体边缘不会产生空洞。该技术在动物温度测量、

发情检测、行为识别中已展现出良好的效果^[17-18], 但在猪只的体尺测量中研究相对较少。基于此, 本研究使用双目相机获取深度信息, 利用红外热像仪提取猪只轮廓, 探究猪只体长、体宽、臀宽、体高、臀高等5项体尺参数的连续检测方法, 旨在为猪只选种和育种提供精准数据支持。

1 材料与方法

1.1 图像采集装置搭建

设计一种猪只多源图像采集装置, 包括图像采集模块、种猪测定站、嵌入式控制箱、补光设备、无线通信模块等, 整体结构如图1所示。

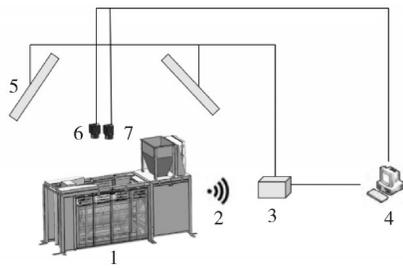
图像采集模块包括红外热相机、双目相机与存储服务器, 双目相机与红外相机水平放置并安装在测定站正上方距地面约2.4 m处, 红外相机型号为艾睿光电 LT640PH, 图像分辨率为640像素×512像素, 双目相机型号为CAM-AR0135-3T16, 像素分辨率为2 560像素×720像素。种猪测定地点为武汉某种猪测定站, 测定站通过称质量传感器判断猪只是

收稿日期: 2024-11-29

基金项目: 武汉市生物育种重大专项(2022021302024853); 生猪现代育种技术研发及新品种选育(HBZY2023B006-03); 华中农业大学-中国农业科学院深圳农业基因组研究所合作基金项目(SZYJY2022031)

周明彦, E-mail: 1069580244@qq.com

通信作者: 徐迪红, E-mail: xudihong@mail.hzau.edu.cn



1. 种猪测定站 Breeding pig measurement station; 2. LoRa 通信 LoRa communication; 3. 控制箱 Control box; 4. 存储服务器 Storage server; 5. 补光灯 Supplementary light; 6. 红外热像仪 Infrared thermal imager; 7. 双目相机 Binocular camera.

图1 猪只图像采集平台

Fig.1 Platform of pig image acquisition

否进入测定站采食,通过RFID传感器识别猪只身份信息,通过UART将猪只身份信息与采食时间发送给控制箱。控制箱采用stm32f103c8t6单片机作为控制器,该控制器接收测定站发出的猪只进入信号,控

制电磁阀开关补光灯,并向图像采集模块发送开始采集信号。当猪只进入测定站后,测定站会读取猪只的RFID耳标并通过Lora无线通信模块将耳标信息传输到控制器,控制器将会向服务器发送采集视频的信号并打开补光灯。图像采集的流程如图2所示。

1.2 猪只多源图像采集

2023年6月9日至2023年7月21日在武汉市华中农业大学某猪场对6头平均质量为80 kg的“鄂通两头乌”进行图像数据采集。试验期间猪只在猪舍中自由饮水与采食,采集时间为全天采集,双目与红外相机采集频率为15帧/s。因猪只不熟悉测定站环境,在试验前7 d设置测定站后门为常开状态,此时存在猪只抢食现象,故将2023年6月17日至2023年7月21日视频数据作为有效试验数据,共采集红外和双目图像各904 839帧。部分采集数据如图3所示。

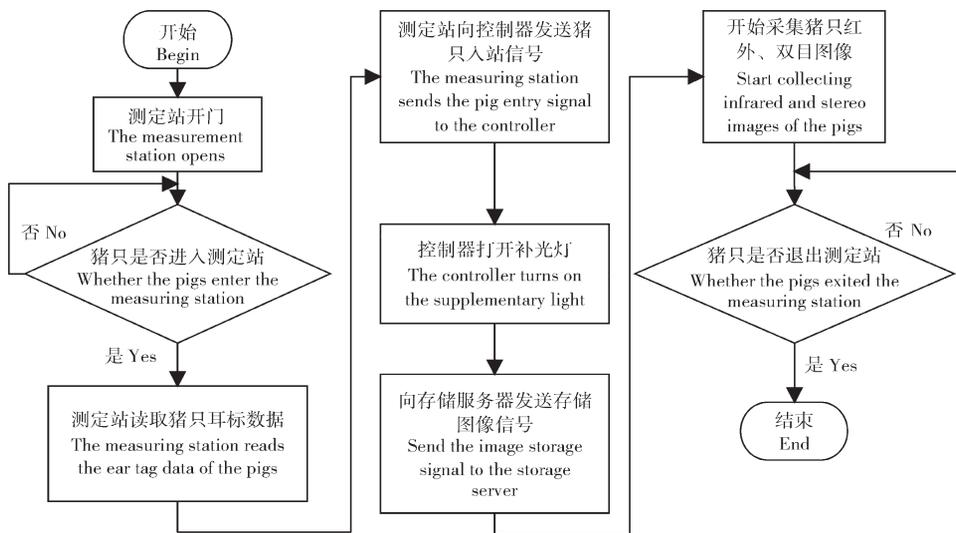
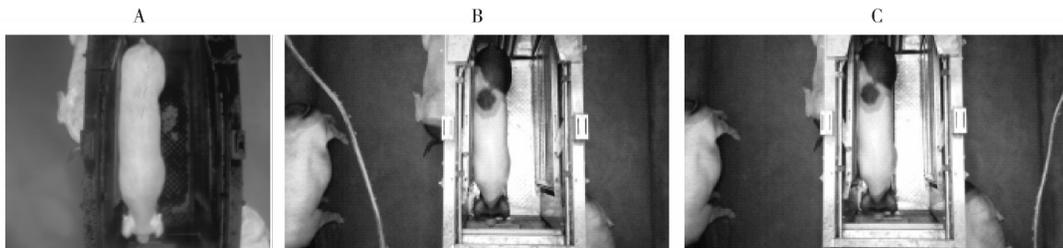


图2 猪只图像采集工作流程

Fig.2 Work flow chart of pig images acquisition



A: 红外图像 Infrared image; B: 双目左视图 Stereo left view; C: 双目右视图 Stereo right view.

图3 猪只红外和双目图像

Fig.3 Infrared and stereo images of pigs

1.3 猪只前景目标提取

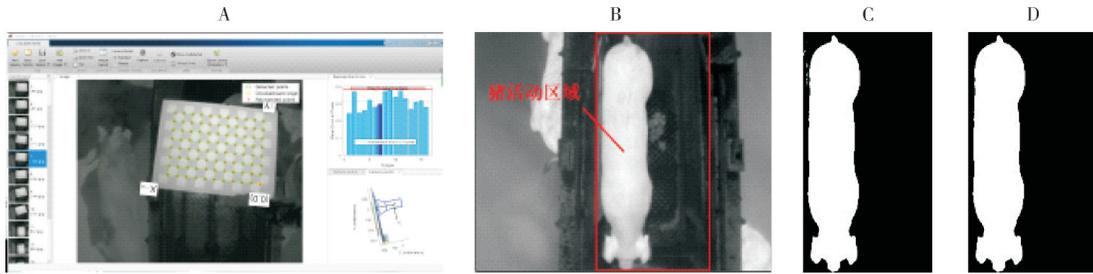
基于 Matlab 2018a、Microsoft visual studio2019 和 OpenCV 开发环境,对采集的红外数据进行处理。

处理过程包括镜头畸变矫正、裁剪、阈值分割和最大连通域提取等操作。

红外热像仪对可见光信息不敏感,使用普通的

标定板难以成像,本研究将普通黑白棋盘格暴露在日光下,使黑白棋盘格存在温度差异,再对其进行拍摄获取红外相机标定图像,利用Matlab获取红外相机的畸变参数并对其进行畸变矫正;其次,将目标

猪只的活动区域作为兴趣区域,裁切红外图像的兴趣区域,并利用Otsu算法二值化兴趣区域;提取二值化图像中的最大连通区域作为猪只目标图像。猪只前景目标提取过程如图4所示。



A:红外相机标定 Infrared camera calibration;B:畸变矫正 Distortion correction;C:阈值分割 Threshold segmentation;D:最大连通域提取 Largest connected component extraction.

图4 红外图的猪只前景目标提取

Fig.4 Pig target extraction with infrared image

1.4 理想姿态筛选

1)猪只头尾的分割。猪只体尺信息精准测量的前提是保证猪只处于理想姿态下,猪体的弯曲和猪只低头歪头等异常姿态都会增大体尺检测的误差。本研究将猪只嘴部清晰可见、猪体未见明显歪头和弯曲的作为适合测量体尺的理想姿态。本研究提取目标猪只的轮廓,并使用投影差分法分割猪只头尾^[11],包络分析猪只头部,剔除歪头、低头异常姿态,使用对称性分析剔除弯曲姿态,实现理想姿态的筛选。首先,提取出目标猪只的轮廓点集,并对轮廓点集进行椭圆拟合^[19],将图像旋转至椭圆长轴垂直,并沿着椭圆长轴的方向对猪只轮廓内的像素值个数进行水平投影,投影公式如下:

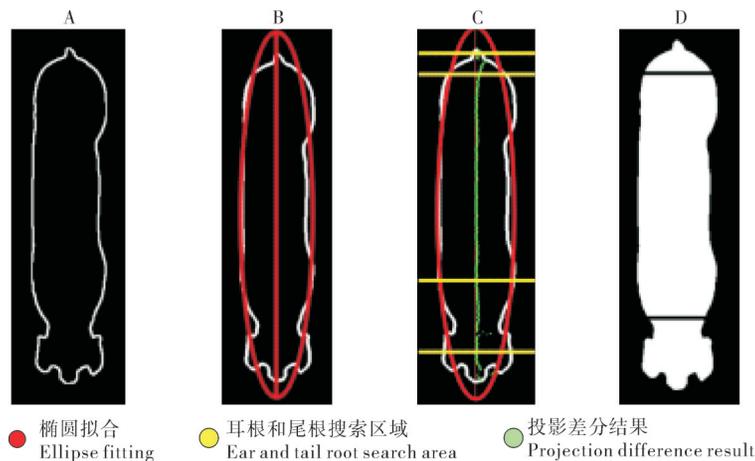
$$D(i)=n, i=1, 2, \dots, j \quad (1)$$

式(1)中, n 为猪只轮廓水平方向的像素数; i 为图像垂直方向的像素索引值; j 为图像垂直方向像素的总数。

其次,进行投影值差分操作,以椭圆长轴为 x 轴,在椭圆长轴右方以绿点标出差分结果,差分数值即为绿点距离 x 轴的距离。

$$S_d=|D(i+2)-D(i)|, i=1, 2, \dots, j-2 \quad (2)$$

最后,按照差分索引,在距离尾部末端3~35像素的区域和距离头部顶点45~150像素的区域(黄线标出)寻找差分最大值作为尾部和头部的分割位置,为了保证猪体尾部、头部分割的完整性,分别将尾部的分割位置向椭圆中心偏移30像素,将头部的分割位置向椭圆中心偏移30像素。头尾分割过程如图5所示。

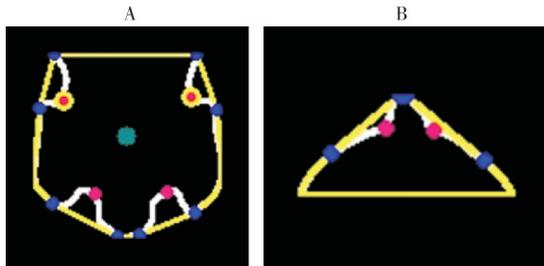


A:猪只轮廓 Pig contour;B:旋转结果 Rotation result;C:投影差分 Projection difference;D:分割结果 Segmentation result.

图5 猪只头尾分割过程

Fig.5 Pig head tail segmentation

2)低头、歪头检测。猪只在理想姿态下嘴部突出,双耳关于猪只嘴部对称差异较小,形心下方存在2个凹陷,且2个凹陷处的凸包络线最大距离相似。为了去除猪只耳部的不规则缺陷,对已分割出的猪只头部进行凸包络分析,提取每个凹陷处猪只轮廓点距离包络线最大距离的点,并将最大距离大于3个像素的点以红点标出;为了后续耳根测点的选取,计算猪只头部轮廓的形心并以绿点标出。凸包分析结果如图6所示。



A:头部凸包分析 Head convex hull analysis; B:尾部凸包分析 Tail convex hull analysis.

图6 猪只头部和尾部凸包分析图

Fig.6 Analysis of head and tail convex hull

猪只在低头、歪头情况下,图像中嘴部不可见,或双耳关于嘴部对称差异较大,猪只头部图像在凸包络分析后,在猪头形心下分别以1个和2个凹陷(凹陷部分距离包络线距离相差大)形式出现,效果如图7所示。对猪只头部进行包络分析后剔除头部图像形心下放凹陷数量不为2的图像与2个凹陷部分距离包络线最大距离相差过大的图像,来排除猪只歪头、低头姿态。

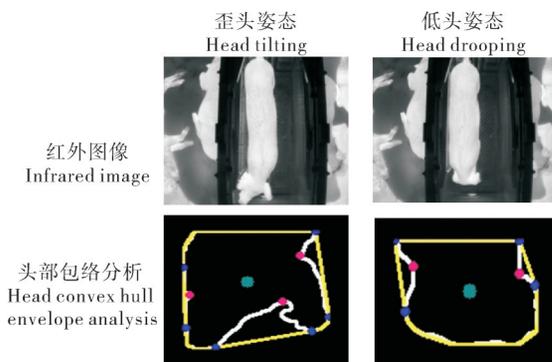


图7 非理想姿态猪只头部凸包分析图

Fig.7 Analysis of convex hull of pig head in non ideal posture

3)弯曲检测。猪体躯干弯曲的筛选需要先分割出猪体躯干,对猪体尾部进行包络分析,取尾部2个最大凸包的凸点作为躯干尾端的分割点。如图6所示,以头部形心为基准点,分别在形心两侧取距离形

心欧式距离最近的凸点作为猪体躯干和头部的分割点,并在图6中以黄圈标出。

猪只在不弯曲的状态下身体躯干相对于椭圆长轴对称度差异较小,本研究以拟合椭圆的长轴为分界线,分别统计在椭圆长轴左右的图像像素点的个数,比较左右两边像素点个数的差异来计算猪只躯干两侧的对称度,即:

$$\delta = \frac{S_L}{S_R + S_L} \quad (3)$$

式(3)中, δ 为对称度; S_L 为猪只躯干位于椭圆长轴左侧的像素点个数; S_R 为猪只躯干位于椭圆长轴右侧的像素点个数。猪只完全关于椭圆长轴对称时, $\delta=0.5$ 。猪只正常姿态下 δ 值与0.5差的绝对值接近于0,猪只弯曲时 δ 将偏离0.5。计算人工筛选出的正常姿态的 δ 值,本研究将 δ 值范围设置为0.47~0.53。

1.5 体尺测量

使用上述算法筛选出理想姿态帧后,设计体尺测量点提取方法。如图8A所示,在得到最终耳根和尾根分割点后,分割出猪体背部躯干,计算出背部躯干的形心 a 。从形心 a 出发,分别连接2个耳根分割点的中点 e 与2个尾根分割点的中点 t ,形心点到耳根分割点的距离为 L_1 ,形心点到尾根分割点的距离为 L_2 ,猪只的体长为 $L=L_1+L_2$ 。在耳根分割中点 e 上方15个像素开始向 a 点方向的0.6个 L_1 长度作为体宽待检测区间,寻找最大截距 K_1 作为猪只体宽,截距中点 a_1 作为体高测量点;在尾根分割中点 t 下方15个像素开始向 a 点方向的0.6个 L_2 长度作为臀宽待检测区间,寻找最大截距 K_2 作为猪只臀宽,截距中点 a_2 作为臀高测量点。

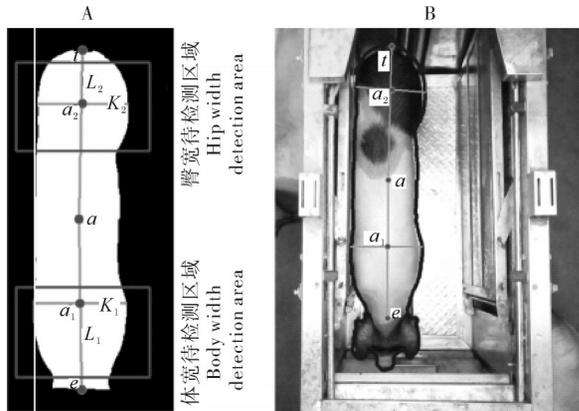
由于红外图像缺少深度信息,在得到体高和臀高测量点后需要映射至双目图像以获取深度信息。本研究使用单应性矩阵 H 将红外图像上的点经过透视变换映射至双目左视图。变换前红外图像上的齐次坐标 P 为 $(x, y, 1)^T$,变换后双目左视图上的齐次坐标 P' 为 $(x', y', 1)^T$,坐标映射关系为:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式(4)中, H 为单应性矩阵,由于红外相机和双目相机安装位置固定,只需在试验前计算1次。因单应性矩阵具有8个自由度,本研究人工随机选出4对坐标点并计算单应性矩阵 H 。单应性矩阵计算结果为:

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.594 & -0.079 & 256.311 \\ 0.145 & 1.335 & -42.516 \\ 0.001 & -8.521 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

如图8B所示,利用公式(4)~(5),将提取的猪只轮廓与体尺测点映射在双目左视图中,以便后续测量猪只的高度信息。



A: 体尺测量点提取 Body size measurement point extraction; B: 单应矩阵映射结果 Homography matrix mapping result. *t*: 尾根中点 Tail root midpoint; *e*: 耳根中点 Ear root midpoint; *a*₁: 体高测点 Body height measurement point; *a*₂: 臀高测点 Hip height measurement point; *a*: 形心点 Center of gravity point; *K*₁: 体宽 Body width; *K*₂: 臀宽 Hip width; *L*₁+*L*₂: 体长 Body length.

图8 体尺测量示意图

Fig.8 Schematic diagram of body scale measurement

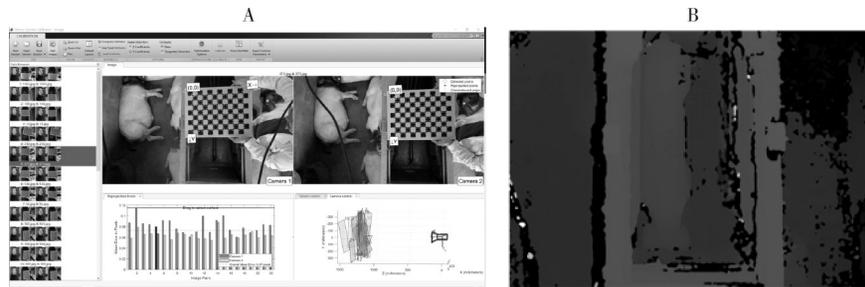
在得到双目图像的高度测点后,计算双目图像

的深度图像并结合双目相机的标定参数即可获得猪只体尺的高度信息。如图9所示,本研究使用Matlab中的双目相机标定工具箱 Stereo Camera Calibrator对双目相机进行参数标定,标定使用22张双目图像,标定结果的重投影误差均在0.12以下,矫正质量较高。随后利用半全局匹配算法(semiglobal block match, SGBM)计算深度图像,以测量猪只的体高和臀高等信息。由图9可知,直接计算出的深度图中空洞较多且头尾部与环境较为相似,猪只轮廓相对红外图像较为粗糙。直接使用双目深度图像难以筛选理想姿态、难以提取准确的体尺测点。

2 结果与分析

2.1 前景提取结果

对采集到的904 839张红外图像进行猪只目标提取。为验证基于红外图像的前景提取方法的效果,如图10所示,随机抽选8帧红外图像,将提取出的轮廓投影至对应的双目左视图中,依次排列红外原图、前景提取图和投影结果图。由红外图像可见,猪只前景与环境对比明显且不受猪只自身复杂颜色与环境复杂颜色所影响;从红外图像中提取出的目标猪只轮廓清晰、平滑且不会产生空洞;使用单应矩阵的映射结果在猪躯干上区域贴合程度较好,使用单应矩阵配准红外和双目图像的试验方案可行。



A: 双目相机参数标定 Stereo camera calibration; B: 深度图计算 Compute depth map.

图9 双目相机标定与深度信息计算

Fig.9 Stereo camera calibration and depth information computation

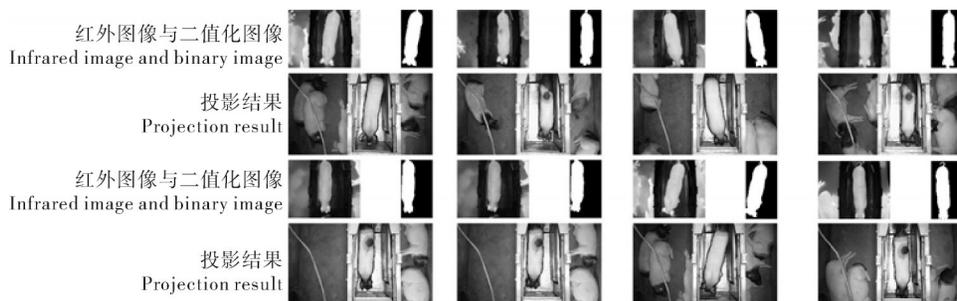


图10 猪只前景提取结果

Fig.10 Prospect extraction results of pigs

2.2 姿态筛选结果

使用本研究算法对采集到的904 839张红外图像进行姿态自动筛选。为检验筛选结果,针对采集图像进行人工筛选,将嘴部清晰可见、没有明显弯曲歪头、躯干没有明显弯曲的帧作为理想姿态帧,其余帧作为非理想姿态帧。人工筛选出理想姿态11 090帧,占总帧数904 839帧的1.23%。将人工筛选的理想姿态帧作为对照真值,体尺筛选算法将人工筛选的某理想姿态帧判定为非理想帧,则为漏报,反之则为误报。本研究姿态筛选算法结果显示:正确筛选出理想姿态8 628帧,误报551帧,漏检2 462帧,算法的精确率为94.0%,召回率为77.8%。

本研究算法的精确率较高、召回率较低,说明算法误检的非理想姿态较少,漏检的理想帧数较多。对漏检帧进行分析,漏检的主要原因是红外与双目相机视角不同,红外热像仪的视角小于双目相机,人工从双目图像中判断为理想姿态帧对应的红外图像中猪只头部受到遮挡,在头部检测时被判断为低头。少量的理想姿态帧即可完成猪只体尺的测量,故而相对于误检而言,漏检对体尺测量精度的影响较小。

2.3 体尺测量结果

对上述算法自动筛选出的理想姿态帧进行体尺自动测量,由于“鄂通两头乌”猪生长较为缓慢,按照日期划分采集到的数据,将每连续3 d数据划分为1组,共12组数据,对每组数据进行体尺测量并取平均值作为此3 d猪只的体尺参数,算法所测量的连续体尺变化如图11所示。5项体尺参数在连续组间波动的最大值、最小值和平均值为4.23、0.10和1.46 cm,体尺数据组间相差较小,总体呈现上升趋势,符合猪只体尺增长规律,结果表明算法具有可行性和稳定性。

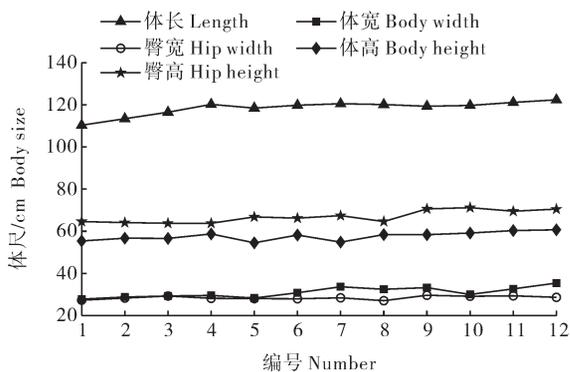


图11 连续体尺测量变化图

Fig.11 Body scale variation diagram

本研究于7月3日和7月19日使用皮卷尺、卡尺人工测量猪只体尺数据作为对照真值,取7月3日和7月19日所对应的第6和第9组计算测量误差。为减少误差,体长、体宽、臀宽、体高、臀高等5项体尺数据由同一个人测量3次取平均值。2次测量中,5项体尺测量的平均相对误差和平均绝对误差如表1所示,体长、体宽、臀宽、体高、臀高的平均相对误差分别为1.78%、3.26%、3.20%、1.92%和2.27%,平均相对误差的平均值为2.49%。体宽和臀宽的平均相对误差要大于其余3项,造成体宽和臀宽测量相对误差大的主要原因体宽和臀宽的基数相对其他体尺参数较小,导致了测量时相对误差较大。体长、体宽、臀宽、体高、臀高的平均绝对误差分别为2.15、1.06、0.98、1.23和1.66 cm,平均绝对误差的平均值为1.42 cm。

表1 体尺测量的平均误差

Table 1 Average relative error of body size measurement

体尺参数 Body size parameters	平均绝对误差/cm Mean absolute error	平均相对误差/% Mean relative error
体长 Body length	2.15	1.78
体宽 Body width	1.06	3.26
臀宽 Hip width	0.98	3.20
体高 Body height	1.23	1.92
臀高 Hip height	1.66	2.27
平均值 Average	1.42	2.49

利用箱线图对得到的平均相对误差进行分析,如图12所示。体长测量值的中位数、最大值和最小值分别为1.84%、4.45%、0.01%。体长误差的主要原因是猪在退出测定站时会推挤测定站后门,造成猪体的蜷缩。体宽测量值的中位数、最大值和最小值分别为2.89%、7.68%、2.89%。臀宽测量的中位数、最大值和最小值分别为3.24%、6.16%、0.19%。体宽测量误差的波动要大于臀宽测量的波动,宽度误差的主要原因是猪只进食时肩胛骨和臀部的运动;体宽测量波动大于臀宽测量波动的主要原因是猪只在进食时肩胛骨的运动幅度较大。体高测量值的中位数、最大值和最小值分别为1.78%、4.89%、0.01%。臀高的中位数、最大值和最小值分别为1.81%、6.52%、1.81%。臀高测量误差的波动要大于体高的测量误差波动,高度误差的主要原因是相机安装不完全水平,导致测量过程中导致水平面上的z轴值发生偏差;臀高误差的波动大于体高误差波动的原因是猪只尾部的摆动,使尾部和臀部轮廓结合在一起,导致尾根位置检测不准确。

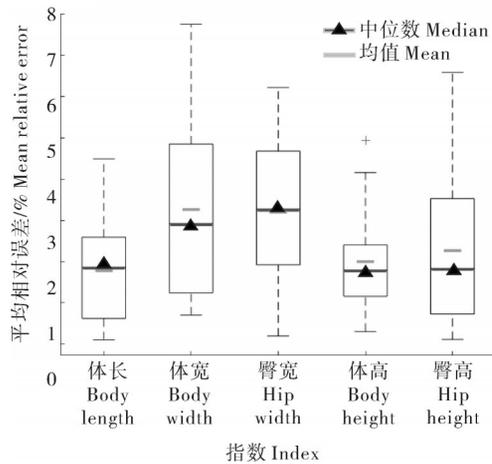


图12 平均相对误差的箱线图

Fig.12 Boxplot of the average relative error

3 讨论

本研究提出了一种基于双目-红外图像的猪只体尺测量算法。首先,利用红外热像仪提取猪只的前景轮廓,避免了普通相机易受光线环境干扰以及深度相机可能出现空洞的问题。接着,针对提取的猪体轮廓进行椭圆拟合,通过投影差分法识别猪只的头部和尾部。然后,采用凸包分析算法剔除低头和歪头等非理想姿态,结合对称性分析进一步剔除弯曲姿态。最后,通过单应性矩阵融合双目与红外图像的多源信息,进行猪只体尺数据的测量。试验结果表明:理想姿态筛选算法的精确度为94.0%,召回率为77.8%;体长、体宽、臀宽、体高和臀高的平均相对误差分别为1.78%、3.26%、3.20%、1.92%和2.27%,平均相对误差的平均值为2.49%,连续测量结果波动较小,稳定性较强,能够实现连续的体尺测量,对种猪的选育和智能化养猪具有一定意义。

本研究提出的基于红外和双目相机的猪只体尺检测算法能够有效地解决猪只轮廓提取易受到可见光干扰和深度相机成像易存在空洞等问题,有一定的实用价值。然而,红外热像仪成本相对于普通相机和深度相机较高,且本研究受到疫情与非洲猪瘟等限制,本研究数据中的猪只数量和猪只的种类较少。在后续的研究中,将拓展猪只的种类以提高算法的泛用性,并嵌入到移动式装备上应用于猪场,为生猪养殖的设备智能化提供技术支撑。

参考文献 References

[1] 李熙莹,刘恒,苏淑妍,等.无接触式猪体尺测量技术研究进展[J].华中农业大学学报,2024,43(5):167-177.LI X Y, LIU H, SU S Y, et al. Research progress of non-contact mea-

surement technology for pig body size [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2024, 43 (5) : 167-177 (in Chinese with English abstract).

[2] DOESCHL-WILSON A B, GREEN D M, FISHER A V, et al. The relationship between body dimensions of living pigs and their carcass composition[J/OL]. Meat science, 2005, 70 (2) : 229-240 [2024-11-29]. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.01.010>.

[3] TZANIDAKIS C, SIMITZIS P, ARVANITIS K, et al. An overview of the current trends in precision pig farming technologies [J/OL]. Livestock science, 2021, 249: 104530 [2024-11-29]. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104530>.

[4] HU H, YU J C, YIN L, et al. An improved PointNet++ point cloud segmentation model applied to automatic measurement method of pig body size[J/OL]. Computers and electronics in agriculture, 2023, 205: 107560 [2024-11-29]. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107560>.

[5] NIR O, PARMET Y, WERNER D, et al. 3D Computer-vision system for automatically estimating heifer height and body mass [J]. Biosystems engineering, 2018, 173: 4-10.

[6] 初梦苑,李孟飞,李前,等.基于关键帧提取与头颈部去除的奶牛体尺测量方法[J].农业机械学报,2022,53(S2):226-233.CHU M W, LI M F, LI Q, et al. Method of body size measurement based on key frame extracting and head and neck removal [J]. Transactions of the CSAM, 2022, 53(S2) : 226-233 (in Chinese with English abstract).

[7] ZHANG J L, ZHUANG Y R, JI H Y, et al. Pig weight and body size estimation using a multiple output regression convolutional neural network: a fast and fully automatic method [J/OL]. Sensors, 2021, 21 (9) : 3218 [2024-11-29]. <https://doi.org/10.3390/s21093218>.

[8] 陆明洲,光二颖,陈子康,等.基于双视角图像的山羊体尺自动测量方法[J].农业机械学报,2023,54(8):286-295. LU M Z, GUANG E Y, CHEN Z K, et al. Automatic measurement method of goat body size based on double vision angle camera image [J]. Transactions of the CSAM, 2023, 54 (8) : 286-295 (in Chinese with English abstract).

[9] WANG K, GUO H, MA Q, et al. A portable and automatic Xtion-based measurement system for pig body size [J]. Computers and electronics in agriculture, 2018, 148: 291-298.

[10] GENG Y L, YUE X D, JI Y K, et al. Research on pig body size measurement system based on stereo vision [J]. INMATEH agricultural engineering, 2023: 76-85

[11] 司永胜,安露露,刘刚,等.基于Kinect相机的猪体理想姿态检测与体尺测量[J].农业机械学报,2019,50(1):58-65. SI Y S, AN L L, LIU G, et al. Ideal posture detection and body size measurement of pig based on kinect [J]. Transactions of the CSAM, 2019, 50(1) : 58-65 (in Chinese with English abstract).

[12] WU H, FU K, ZHAO Y F, et al. Joint self-supervised and reference-guided learning for depth inpainting [J]. Computational visual media, 2022, 8(4) : 597-612.

[13] 孙梦欣,牟琦,夏蕾,等.基于边缘优先填充的自适应深度图

- 像修复方法[J].无线电工程,2024,54(10):2339-2346. SUN M X, MU Q, XIA L, et al. Adaptive depth image inpainting method based on edge-first filling[J].Radio engineering, 2024, 54(10):2339-2346(in Chinese with English abstract).
- [14] ZHANG Y F, SCARGILL T, VAISHNAV A, et al. InDepth: real-time depth inpainting for mobile augmented reality [J]. Proceedings of the ACM on interactive, mobile, wearable and ubiquitous technologies, 2022, 6(1):1-25.
- [15] HALACHMI I, KLOPČIČ M, POLAK P, et al. Automatic assessment of dairy cattle body condition score using thermal imaging [J]. Computers and electronics in agriculture, 2013, 99: 35-40.
- [16] WENG R C. Variations in the body surface temperature of sows during the post weaning period and its relation to subsequent reproductive performance [J]. Asian-Australasian journal of animal sciences, 2020, 33(7):1138-1147.
- [17] 王晨阳, 胡冰艳, 李雨晴, 等. 非接触式测温鉴定母猪典型生理状态[J]. 农业工程学报, 2022, 38(20):149-155. WANG C Y, HU B Y, LI Y Q, et al. Identification of the typical physiological state of sows by non-contact temperature measurement [J]. Transactions of the CSAE, 2022, 38(20):149-155(in Chinese with English abstract).
- [18] ZHANG Z Q, WANG H, LIU T H, et al. Accurate detection method of pig's temperature based on non-point source thermal infrared image [J]. CAAI transactions on intelligence technology, 2021, 6(3):312-323.
- [19] 黎焯, 刘诗尧, 赵书红, 等. 融合体尺信息的封闭式种猪性能测定站设计与试验[J]. 农业机械学报, 2022, 53(7):267-274. LI X, LIU S Y, ZHAO S H, et al. Development and experiment of closed performance measuring station for breeding pig integrating body size information [J]. Transactions of the CSAM, 2022, 53(7):267-274(in Chinese with English abstract).

Method of automatically measuring body size of pigs based on stereo-infrared multi-source data

ZHOU Mingyan^{1,2}, LI Xuan^{1,2}, ZHU Zhihui^{1,2}, CHEN Mengfang^{2,3}, XU Dihong^{1,2}

1. College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Ministry of Agriculture and Rural Affairs Key Laboratory of Smart Farming for Agricultural Animals, Wuhan 430070, China;

3. College of Information, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract A non-contact method of measuring the body size of pigs based on stereo-infrared images was established to address the issues of common color images easily affected by environmental lighting and depth images prone to producing holes in the process of measuring the body size of pigs. Infrared images were used to extract foreground of pigs. Ellipse fitting and projection difference methods were used to segment the head and tail of pig. Convex hull analysis and symmetry testing methods were used to select the ideal posture of the pig. Stereo images were used to obtain depth information of the pig, and a homography matrix was used to fuse the advantages of both the infrared and stereo images. A method of measuring the body size of pigs was designed based on these. The results showed that the contours of the pig extracted from the infrared images were clear and smooth. The algorithm of selecting ideal posture had an accuracy of 94.0%. The average relative error of the measurements for body length, body width, hip width, body height, and hip height was 1.78%, 3.26%, 3.20%, 1.92%, and 2.27%, respectively, with an overall average relative error of 2.49% and an average absolute error of 1.42 cm. It is indicated that the algorithm proposed meets the requirements of accuracy for measuring the body size of pigs. It will provide a feasible solution for continuously and automatically measuring the body size of pigs.

Keywords pigs; measurement of body size; homography matrix; data fusion; posture detection

(责任编辑:陆文昌)