

融合体尺信息的封闭式种猪性能测定站设计与试验

黎 煊^{1,2} 刘诗尧^{1,3} 赵书红⁴ 刘望宏⁴ 雷明刚⁴ 徐迪红^{1,5}

(1. 农业农村部智慧养殖技术重点实验室, 武汉 430070; 2. 中国农业科学院深圳农业基因组研究所, 深圳 518000;
3. 岭南现代农业科学与技术广东省实验室深圳分中心, 深圳 518000;
4. 农业农村部种猪质量监督检验测试中心(武汉), 武汉 430070;
5. 华中农业大学深圳营养与健康研究院, 深圳 518000)

摘要: 针对现有封闭式种猪性能测定站自动化程度不高、无法提供种猪体尺信息等问题,设计了一种集种猪自动识别、体质量自动称量、采食量自动统计、体尺自动测量于一体的封闭式种猪性能测定站。该系统机械部分采用前后端分离设计,通过设计采食门装置和门禁装置为种猪提供封闭测量环境,在此基础上,基于 FIR 滤波设计了种猪体质量动态称量算法,基于椭圆拟合设计了种猪理想姿态筛选算法,并进一步提出了基于包络分析的种猪体尺测量算法。分别进行了利用实际猪群模拟种猪生长性能验证试验和体尺测量试验,试验验证结果如下:生长性能试验猪群自由采食日均次数 8.94 次、日均采食时间 92.93 min、群体料肉比 2.66, Logistic 拟合的生长曲线拐点日龄为 126.18 d、拐点体质量 72.70 kg,符合猪群的生长规律;体尺测量试验中猪群能够筛选出理想姿态帧,体长、体宽、臀宽、体高、臀高等体尺的平均相对检测误差分别为 3.69%、2.53%、2.60%、2.59%、2.17%,满足体尺测量要求。试验结果表明,本文设计的封闭式种猪性能测定站可用于种猪的生产性能测定,能够同时提供种猪体质量、采食量和体尺等信息,提高育种效率。

关键词: 种猪; 封闭式; 性能测定; 动态称量; 姿态筛选; 体尺

中图分类号: S24 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2022)07-0267-08 OSID: 

Development and Experiment of Closed Performance Measuring Station for Breeding Pig Integrating Body Size Information

LI Xuan^{1,2} LIU Shiyao^{1,3} ZHAO Shuhong⁴ LIU Wanghong⁴ LEI Minggang⁴ XU Dihong^{1,5}

(1. Key Laboratory of Smart Farming for Agricultural Animals, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430070, China
2. Agricultural Genomics Institute at Shenzhen, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Shenzhen 518000, China
3. Shenzhen Branch, Guangdong Laboratory for Lingnan Modern Agriculture, Shenzhen 518000, China
4. The Breeding Swine Quality Supervision and Testing Center, Ministry of Agriculture and Rural Affairs (Wuhan), Wuhan 430070, China
5. Shenzhen Institute of Nutrition and Health, Huazhong Agricultural University, Shenzhen 518000, China)

Abstract: In view of the problems that the existing closed breeding pig performance measurement station is less researched at home and abroad, the degree of automation is not high, and the body size information of breeding pigs cannot be provided. The enclosed breeding pig performance measurement system was designed, which integrated automatic breeding pig identification, automatic weight weighing, automatic feed intake statistics and automatic body size measurement. The front and back end separation design was adopted in the mechanical part of the system. Feeding device and access controlling device were designed to provide a closed measurement environment for breeding pigs. On this basis, the dynamic weighing algorithm of breeding pigs was designed based on FIR filter, the ideal pose selection algorithm of breeding pigs was designed based on ellipse fitting, and the size measurement algorithm of breeding pigs based on envelope analysis was further proposed. The growth performance and body size of

收稿日期: 2022-02-15 修回日期: 2022-04-19
基金项目: 国家自然科学基金项目(31790414)、国家重点研发计划项目(2018YFD0500702)、中央高校基本科研业务费专项资金项目(2662020GXPY009)和华中农业大学-中国农业科学院深圳农业基因组研究所合作基金项目(SZYJY2022031)
作者简介: 黎煊(1980—),男,博士生,主要从事生猪行为智能识别与智能装备研究,E-mail: lx@mail.hzau.edu.cn
通信作者: 徐迪红(1974—),男,讲师,主要从事图像处理及机器学习研究,E-mail: xudihong@mail.hzau.edu.cn

simulated breeding pigs were measured respectively. The experiment verification results were as follows: the daily feeding times of pigs were 8.94, the daily feeding time was 92.93 min, the feed to meat ratio of pigs was 2.66, the inflection age of growth curve was 126.18 d, and the inflection weight was 72.70 kg, which were in line with the growth law of pigs in the growth performance experiment. Ideal pose frames were selected for body size measurement experiment pigs. The average relative detection errors of body length, body width, hip width, body height and hip height were 3.69%, 2.53%, 2.60%, 2.59% and 2.17%, respectively, meeting the requirements of body size measurement. The results showed that the closed breeding station designed could be used to measure the production performance of breeding pigs, and the information of weight, feeding and body size of breeding pigs at the same time could be provided to improve the breeding efficiency and promote the development of domestic production of breeding pigs.

Key words: breeding pig; closed type; performance measurement; dynamic weighing; screening gesture; body size

0 引言

正确选择具有优良遗传品质的个体对于动物改良具有重要意义^[1]。种猪生产性能测定是种猪客观评定的基础工作^[2],按照既定的测定方案,将测定猪只置于相对一致的环境和饲养管理条件下,采用标准方法对目标性状进行度量的全过程,是提高种猪质量的有效方式。传统的人工测定过程测定数据可靠性差,易引起种猪应激反应且对环境要求严格。种猪性能测定站以其高自动化的特点被应用在种猪测定中。测定站按外型可分为开放式和封闭式两大类。开放式测定站采用敞开式的测定环境,对种猪采食饲料和体质量称量过程没有良好的保护,当测定站不能满足种猪采食需求时,会增加种猪之间争食行为^[3-4],进而降低种猪的生产性能和繁殖力^[5]、影响种猪采食量和体质量测量精度^[6]。封闭式种猪测定站能够提供相对稳定封闭的测量环境,可减少种猪争食行为,测定准确性高。目前封闭式测定站研究较少,自动化程度较低^[7-8],因而有必要开展自动化程度高的封闭式种猪性能测定站研究。我国具有 95 个核心育种场,每年需要进行测定的种公猪约 30 万头,而我国目前性能测定站仅 2 000 余套,年测定量约 9 万头,不到需求量的 1/3,而国内市场目前高性能测定站需求量在 6 000 套以上,当前市场上种猪测定站主要为 Osborne、Acema 等国外品牌,价格昂贵,主要获取种猪体质量和采食信息,难以获取种猪体尺信息。而种猪体尺信息是衡量猪生长发育情况的一个主要指标,在种猪测定过程中实时获取体尺信息可为种猪育种选育提供更多的数据支撑,对提高我国育种水平具有重要意义。

传统的种猪体尺测量方法利用皮尺、测杖等工具进行直接测量,其测量工作量大、覆盖面小且容易导致猪只应激反应。机器视觉以其无接触、精准度高等特点已被应用于猪只体尺测量,目前国内外学者将图像处理应用于猪只体尺的研究已取得较多进

展^[9-13]。WANG^[10]使用单目相机采集猪只背部图像数据,通过相机与猪只距离得到猪只的实际尺寸。刘同海等^[11]在饮水器正上方安装摄像机,利用机器视觉技术对猪体图像进行包络分析,实现了体长、臀宽、体宽、肩宽的测量。李卓等^[12]使用两个单目相机同时采集数据构建双目视觉系统从而提取猪只特征点。目前体尺测量研究大多是在开放的环境下,例如在采食点、饮水点或猪舍上方设置相机,和测定站联合测定应用较少。KONGSRO^[13]将 Kinect 摄像机置于 Osborne 测定站上方基于深度图像获取猪体特征参数,利用图像中像素值之和提取猪体的高度、宽度及背部面积等信息。因 Osborne 测定站为开放式测定站,其接口不开放且可能造成猪只争食行为,需手动筛选猪只图像并核对猪只身份信息,信息不能进行有机融合。将种猪采食信息、体质量信息以及体尺信息同时进行测定,可以更客观、更高效评价种猪,提高育种效率。

本文设计一种集种猪自动识别、体质量自动称量、采食量自动统计、体尺自动测量于一体的封闭式种猪性能测定站。种猪性能测定站机械部分采用前后端分离的结构设计,通过设计采食门装置和门禁装置为种猪提供稳定封闭的测量环境;控制系统采用 STM32 控制中心与图像处理中心协同工作模式,分析种猪入站体质量变化特点,基于 FIR 滤波设计种猪体质量动态称量算法,基于椭圆拟合研究种猪理想姿态筛选算法,并提出基于包络分析的种猪体尺测量算法。

1 测定站整体方案设计

1.1 种猪测定站机械结构设计与控制原理

种猪测定站机械结构采用前后端分离设计,如图 1 所示。前端为饲喂装置,包括前端框架、螺旋下料装置、称量料槽装置以及采食门装置,螺旋下料装置主要由料斗、支架、下料电机、螺旋轴和联轴器组成;称量料槽装置由食槽和称量传感器组成;采食门

装置为上下两块挡板铰接,通过气缸驱动旋转实现采食门开关,其上端设置有 RFID 塑料天线板;后端为种猪称量装置,由后端框架、称量栏装置、门禁装置组成,称量栏装置位于下料装置和称量料槽装置后方;摄像头悬挂在称量栏装置正上方 2.2 m 处,其视场角可以容纳入站种猪;门禁装置由气缸驱动的两对推拉门组成,安装在称量栏后端。

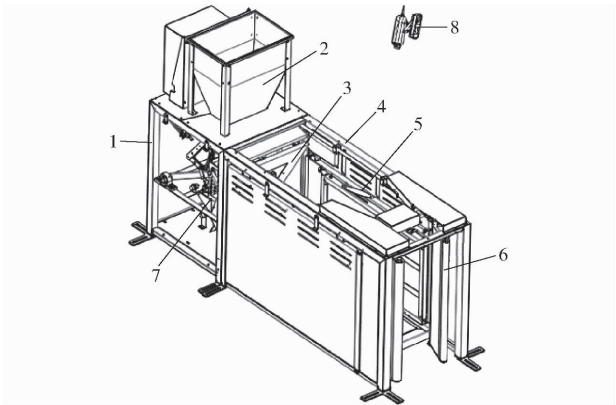


图 1 种猪测定站机械结构示意图

Fig. 1 Schematic of mechanical structure of breeding pig measuring station

1. 前端框架 2. 螺旋下料装置 3. 采食门装置 4. 后端框架
5. 称量栏装置 6. 门禁装置 7. 称量料槽装置 8. 摄像头

种猪测定站控制系统采用 STM32 控制中心与图像处理中心协同工作模式,如图 2 所示,STM32 控制中心通过与 32 位 AD 采集芯片 ADS1263 建立 SPI 通信,读取不同输入通道称量传感器的电信号,通过控制 IO 口驱动电磁阀和下料电机进行开关门禁动作和下料动作,RFID 读卡器识别的种猪身份数据通过 UART 传输至 STM32 控制中心。图像处理中心选用 RK3399 芯片,摄像头选用 Intel Realsense D415 型,通过 USB 3.0 驱动摄像头实时捕获种猪图像,检测种猪体尺,体尺测定数据通过 UART 传递给 STM32 控制中心。

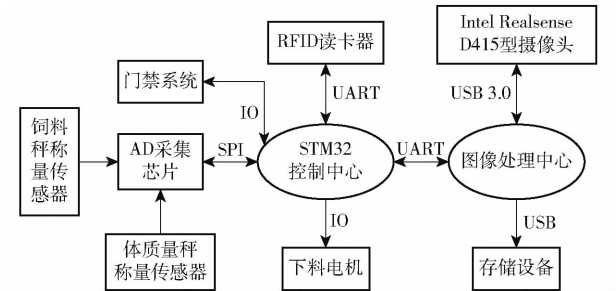


图 2 种猪测定站控制系统示意图

Fig. 2 Schematic of control system of breeding pig measuring station

1.2 系统工作原理

种猪入站信号为称量栏装置传输的电信号,其阈值设定为测定猪群平均体质量的 1/2,种猪入站

后关闭门禁装置并对入站种猪身份进行识别、体质量称量、体尺测量,种猪出站阈值设置为 5 kg,种猪出站后对其采食量进行计算,系统工作流程图如图 3 所示。

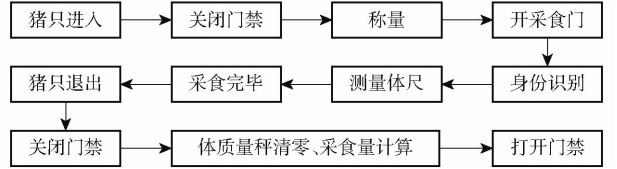


图 3 种猪测定站工作流程图

Fig. 3 Workflow chart of breeding pig measuring station

2 测定站关键算法设计

2.1 动态称量算法设计

在称量过程中,猪只的移动对称量准确度影响较大,FIR 滤波器具有线性相频特性、稳定等优点^[14],本文采用 FIR 滤波器对体质量数据进行处理,FIR 滤波器的差分方程表达式为

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(n-k) \tag{1}$$

式中 $y(n)$ ——滤波器输出信号

$x(n-k)$ ——滤波器输入信号

$h(k)$ ——滤波系数 N ——滤波器阶数

用窗函数法来设计 FIR 滤波器,选择适应力较强的凯泽窗,可调节主瓣和旁瓣的宽度比值,适合对 A/D 采样信号滤波^[14]。通过采集猪只入站体质量数据分析猪只体质量变化规律,图 4 所示蓝色曲线为一头体质量 25.5 kg 猪只入站采食过程中的体质量数据,猪只移动有较明显的规律,0.1 s 左右时,猪只移动频率为 10 Hz 左右,测定种猪体质量一般为 30 ~ 120 kg,随着体质量增大,猪只移动越来越慢。本文设计 FIR 滤波器截止频率为 35.19 rad/s,利用 fir1() 函数计算出滤波系数,得到滤波器的幅频特性曲线如图 5 所示。

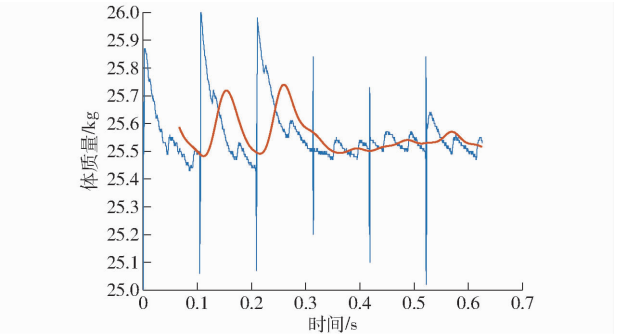


图 4 体质量数据 FIR 滤波时域图

Fig. 4 FIR filtering time domain diagram of weight data

滤波效果如图 4 红色曲线所示。对滤波后的数据采用均值法得出本次称量的真实体质量。基于动

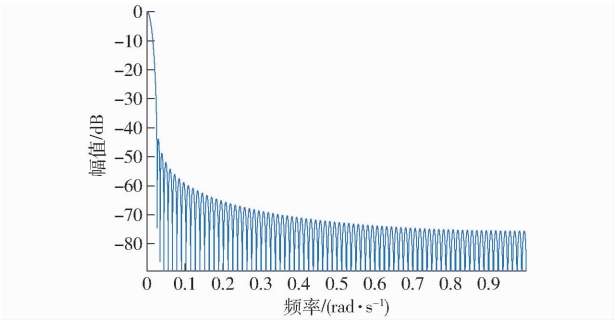


图 5 FIR 滤波器幅频特性曲线

态称量算法对称量装置进行标定,用 100 kg 砝码对体质量秤进行标定,经反复测试,称量检测值相对于标定物动态误差在 0.1% 以内。

2.2 体尺测量算法设计

体尺测量模块以猪只入站为触发信号,对采集的图像进行动态猪体轮廓提取、猪体理想姿态筛选、猪体体尺测点提取,测量流程如图 6 所示。

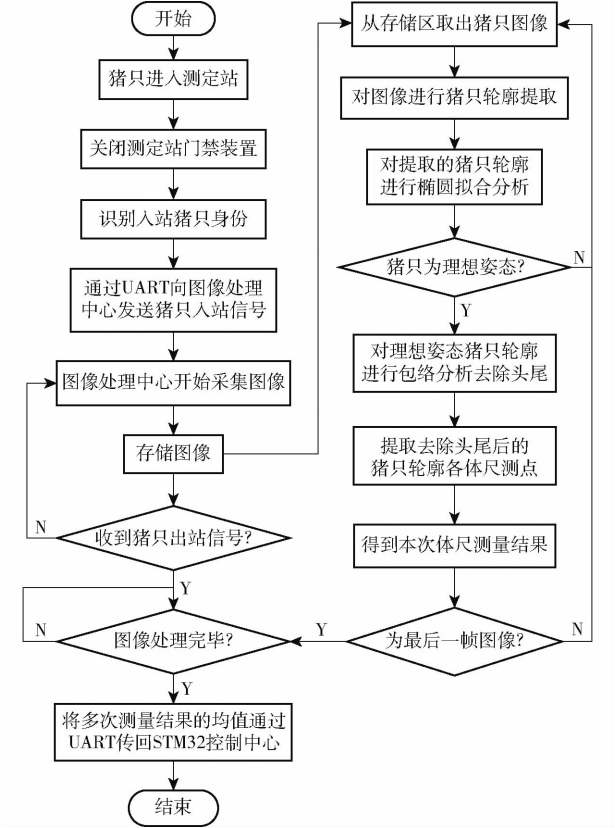


图 6 体尺测量流程图

Fig. 6 Flow chart of measuring ruler

2.2.1 动态猪体轮廓提取

本系统基于测定站稳定的封闭环境,以测定站空闲状态图像为背景,通过背景分离法去除测定站限位栏干扰,由于摄像头的 RGB 图像数据与深度图像数据的空间坐标系是不同的,需要实现坐标转换来完成图像对齐。具体步骤如下:①将深度图的像素点 $P_{u,v}^d$ 还原到深度坐标系下。②将深度空间坐标

系的深度点 P_{dc} 转换到世界坐标下。③将世界坐标系的深度点 P_w 转换到彩色摄像头坐标系。④将彩色摄像头坐标系下的深度点 P_{cc} 映射到 $Z = 1$ 平面上。

将深度数据映射到彩色图像后生成世界坐标,根据世界坐标的深度赋予不同彩色值,生成如图 7b 所示的彩色深度图像。将深度数据转换到彩色图像后生成世界坐标,以测定站限位栏高度的 1/3 为阈值,通过距离梯度分割得到猪只轮廓如图 7c 所示。

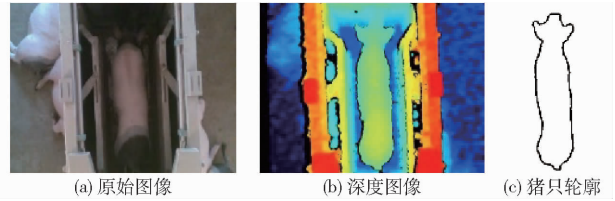


图 7 原始图像处理效果

Fig. 7 Original image processing rendering

2.2.2 猪体理想姿态筛选

体尺测量是否准确关键是猪体姿态处于自然状态^[12],若猪体处于异常姿态则容易导致体尺测量点的提取出现偏差,因此需要对猪只姿态进行筛选。猪只异常姿态主要分为图 8 所示的 3 类:低头、弯曲、抬头。

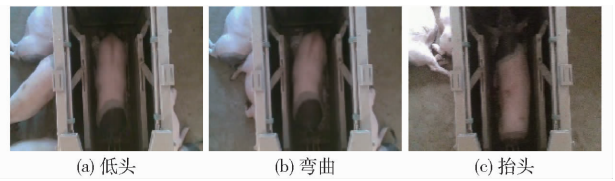


图 8 猪只异常姿态

Fig. 8 Unusual posture of pigs

椭圆拟合常被应用于圆形或椭圆形物体的目标检测中^[15]。KASHIHA 等^[16]在通过椭圆自适应算法先后检测出猪体整体部分、头部与躯干部分,并去除头尾后计算出背部面积。本文提出基于椭圆拟合的姿态筛选法,首先对猪体轮廓点集进行椭圆拟合,椭圆方程为

$$ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey = 1 \tag{2}$$

式中 a, b, c, d, e ——常系数

令 $A = [a \ b \ c \ d \ e]$, $X = [x^2 \ xy \ y^2 \ x \ y]^T$, 方程表示为 $AX = 1$, 椭圆拟合的最优解为

$$\begin{cases} \min \|DA\|^2 \\ \text{s. t. } A^TCA = 1 \end{cases} \tag{3}$$

其中

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

式中 D ——数据样本集合
 C ——常数矩阵

根据拉格朗日乘子法,引入拉格朗日因子 γ ,得到两个等式方程

$$2D^TDA - 2\gamma CA = 0 \tag{4}$$

$$A^TCA = 1 \tag{5}$$

求解方程 $D^TDA = \gamma CA$ 的特征解与向量 (γ_i, u_i) , $(\gamma_i, \mu u_i)$ 为方程的特征解,其中 μ 是任意实数。根据方程 $A^TCA = 1$,找到一个 μ ,使得 $\mu^2 u_i^T C u_i = 1$,即

$$\mu_i = \sqrt{\frac{1}{u_i^T C u_i}} = \sqrt{\frac{\gamma_i}{u_i^T D^T D u_i}} \tag{6}$$

最后令 $\bar{A}_i = \mu_i u_i$,取 $\gamma_i > 0$ 对应的特征向量 u_i ,即为椭圆拟合的解。图 9 为猪只轮廓的椭圆拟合效果。



图 9 椭圆拟合效果
Fig. 9 Ellipse fitting effect

(1)对于弯曲姿态,分别统计猪体区域中位于椭圆长轴左右两侧的像素点数量,以对称度 δ 为阈值对图像进行筛选。 δ 的计算公式为

$$\delta = \frac{S_L}{S_R + S_L} \tag{7}$$

式中 S_L ——椭圆长轴左侧所有像素点数
 S_R ——椭圆长轴右侧所有像素点数

理想状态下猪体图像应关于椭圆长轴左右对称,对称度 $\delta = 0.5$,对于弯曲猪体, δ 分布在 0.5 两侧。为寻找合理的 δ 范围,计算人工筛选的 660 帧理想姿态的 δ 值。根据计算的结果选取对称度为 0.46 ~ 0.54。

(2)对于低头姿态,首先确定猪体头部和尾部所在位置,沿椭圆长轴方向对猪体区域内的所有像素点进行垂直投影

$$S_d = |S(i+1) - S(i)| \quad (i = 1, 2, \dots, l-1) \tag{8}$$

其中 $S(i) = n$ (9)

式中 l ——椭圆长轴索引值
 n ——垂直投影线上像素点数量
 S_d ——像素点数量差值
 $S(i)$ ——椭圆长轴索引值 i 处像素点数量

根据式(8)求差分曲线,如图 10 所示。

差分值较大处对应的可疑点大多分布在耳部和嘴部结合处、脖颈和耳根结合处以及尾根处。根据可疑点到长轴中点的距离判断头部和尾部的位

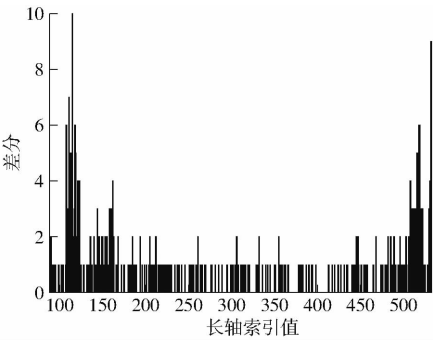


图 10 差分曲线

Fig. 10 Difference curve



图 11 分离后的头部和尾部位置

Fig. 11 Head and tail position after separation

点到形心点的距离,距离分布如图 12 所示,与正常图像相比,低头图像如图 13b 所示,主要表现为猪鼻部分的缺失。 x 、 y 的计算公式为

$$\begin{cases} x = \sum_{n=1}^M x_n / M \\ y = \sum_{n=1}^M y_n / M \end{cases} \tag{10}$$

式中 x_n ——外轮廓点横轴上的像素索引值
 y_n ——外轮廓点纵轴上的像素索引值
 M ——轮廓点数量

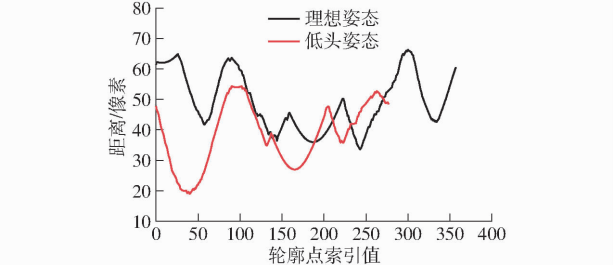


图 12 距离分布

Fig. 12 Distance distribution

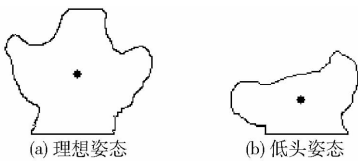


图 13 猪头轮廓

Fig. 13 Contour of pig head

理想姿态图像像素距离分布较平均,两个波谷中间最高的波峰为猪鼻部分到质心的距离分布。而低头姿态图像中由于鼻子缺失,在理想姿态图像像素距离分布图中,鼻尖位置会出现一个较大的波谷,因此可通过判断像素距离分布图中波谷的分布情况对低头姿态进行筛选。

(3)对于抬头姿态,由于处于抬头姿态的猪只与正常姿态接近,难以直接通过分析二维图像进行判别。对本试验中手工测量的体高与臀高比例进行统计,为提高筛选准确率,取置信度为 95%,阈值范围规定为 85%~95%。通过判断体高与臀高的比例对抬头姿态图像进行筛选。

2.2.3 猪体尺测点提取

根据 2.2.2 节方法分离出理想姿态近似头尾部分,通过包络分析找出各凸包中的凸点,判断各凸点到近似头尾分割线距离,找出真实头尾分割点如图 14c、14d 所示,将两耳根点和两尾根点连接作为头尾分割线对理想姿态猪体进行分割,得到背部轮廓如图 15 所示,点 1、2 为耳根点,点 3、4 为尾根点,点 5 和点 6 分别为两耳根点中点和两尾根点中点,为体长测点,点 7 为猪体背部区域的形心,从点 7 出发,分别沿索引 L_1 和 L_2 寻找猪体外轮廓最大截距交点为体宽和臀宽测点,最大截距对应的索引点 12 和 13 为臀高和体高测点;猪只体长计算公式为

$$L \approx \sum_{k=0}^{r-1} L_k \tag{11}$$

其中 $L_k = \sqrt{(\Delta x_k)^2 + (\Delta y_k)^2 + (\Delta z_k)^2}$ (12)

式中 $\Delta x_k, \Delta y_k, \Delta z_k$ ——相邻像素距离差值
 r ——体尺测点像素点数量
 L_k ——体尺弧线近似距离, cm
 L ——猪只体长, cm

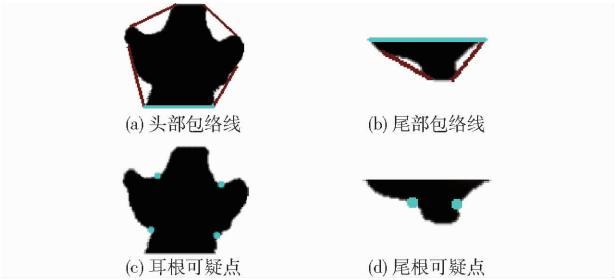


图 14 头尾包络分析

Fig. 14 Head tail envelope analysis

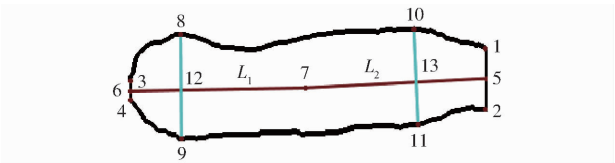


图 15 体尺测点

Fig. 15 Body ruler measuring point

3 种猪测定站养殖试验

3.1 生长性能试验

课题组于 2019 年 3—7 月在武汉市江夏区某猪场选取 70 日龄大白猪 10 头完成生长性能优化试验^[17],在此基础上于 2019 年 12 月至 2020 年 2 月

在华中农业大学精品猪场选取 55 日龄大白猪 6 头进行实际猪群模拟种猪生长性能验证试验。试验期间让试验猪只自由采食和饮水,实际猪群模拟种猪生长性能验证试验过程如图 16 所示,其结果分析如下:



图 16 生长性能验证试验现场

Fig. 16 Growth performance experiment site map

(1)采食数据分析

表 1 和表 2 为试验猪只个体和群体的日均采食次数、日均采食时间和料肉比统计结果。

表 1 试验猪只个体采食信息

Tab. 1 Individual feeding information of experimental pigs

耳标号	日均采食 次数/次	日均采食 时间/min	料肉比
264	11. 59	85. 97	2. 52
282	8. 56	131. 83	2. 77
277	8. 55	87. 52	2. 69
252	7. 76	81. 12	2. 86
281	9. 12	89. 76	2. 38
258	8. 05	81. 40	2. 72

表 2 试验猪只群体采食信息

Tab. 2 Feeding information of experimental pig population

体质量/kg	日均采食次数/ 次	日均采食时间/ min	群体料肉比
25 ~ 60	9. 33	88. 20	2. 47
25 ~ 100	8. 94	92. 93	2. 66

孙华等^[18]研究得到肥育猪 30~100 kg 的平均日采食 8.95 次;罗凤珍等^[19]测定的生长肥育母猪 30~60 kg 平均自由采食 9.5 次,料肉比为 2.16;课题组前期样机性能优化试验中大白猪 40~100 kg 日均采食次数为 7.68 次,群体料肉比为 2.69^[17]。

(2)生长规律分析

结合日龄和体质量信息对试验猪群进行 Logistic 拟合分析,Logistic 模型方程为

$$W_t = A / (1 + B e^{-kt}) \tag{13}$$

式中 W_t —— t 日龄时猪只体质量, kg

A——极限体质量,kg
B——调节参数 t——日龄,d
k——瞬时相对增长率

Logistic 模型拟合曲线如图 17 所示。

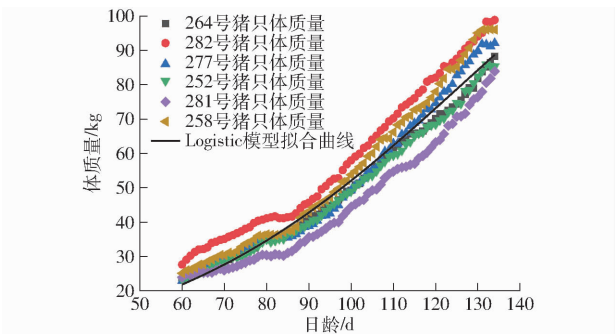


图 17 体质量曲线与 logistic 模型拟合曲线

Fig. 17 Body weight and fitting curves

生长曲线拟合方程为

$$W_t = 145.394\,27 / (1 + 33.501\,44e^{-0.027\,83t}) \quad (14)$$

Logistic 模型拟合的拐点为 (126.18 d, 72.70 kg), 拟合决定系数为 0.942 29。肖炜等^[20]针对 3 种不同来源的大白猪采用 Gompertz、Logistic、Bertalanffy 3 种模型进行了生长曲线拟合, 结果表明采用 Logistic 模型拟合的决定系数比另外两种模型高, 生长曲线的拐点分别为 (124.93 d, 71.40 kg)、(143.49 d, 84.25 kg)、(137.25 d, 86.85 kg); 李庆岗等^[21]针对不同性别的美系大白猪进行生长曲线拟合, 公猪与母猪的拐点分别为 (137.14 d, 88.25 kg)、(138.53 d, 81.95 kg); 课题组前期样机性能优化试验中大白猪 Logistic 模型拟合拐点为 (134.53 d, 85.80 kg)^[17]。

通过日均采食次数、料肉比和生长曲线拟合结果分析, 本文验证试验结果与课题组前期样机性能优化试验结果一致, 均与现有研究结论相近, 表明本

文所设计的封闭式种猪性能测定站可靠性和稳定性较好, 可用于种猪性能测定。

3.2 体尺测量试验

2021 年 10 月 8 日—11 月 15 日在华中农业大学精品猪场进行猪只体尺测量试验, 如图 18 所示。选取 125 日龄鄂通两头乌猪只 6 头, 整个试验期间让试验猪只自由采食和饮水。



图 18 体尺测量试验现场

Fig. 18 Body measurement experiment site map

(1) 姿态筛选

为验证猪只理想姿态的筛选结果, 对 2021 年 10 月 12 日采集的共 34 290 帧图像进行了人工检测与自动检测, 其中算法筛选低头帧数共 11 627 帧, 算法筛选弯曲帧数共 19 255 帧, 算法筛选抬头帧数共 2 815 帧, 算法筛选理想姿态共 593 帧, 全部包含在人工筛选理想姿态 660 帧中, 占总帧数的 1.72%。

(2) 体尺检测误差

在 2021 年 11 月 6 日采用人工方式测量体尺对系统精度进行校验, 每个体尺测量 3 次取平均值作为测量结果, 测量结果如表 3 所示。体长、体宽、臀宽、体高、臀高检测值与实测值的平均相对误差分别为 3.69%、2.53%、2.60%、2.59%、2.17%, 表明系统检测的体尺数据测量效果较好。

表 3 猪只体尺测量误差

Tab.3 Measurement error of pig body ruler

耳标号	实测值/cm					检测值/cm					平均相对误差/%				
	体长	体宽	臀宽	体高	臀高	体长	体宽	臀宽	体高	臀高	体长	体宽	臀宽	体高	臀高
995	103.2	26.8	25.4	55.3	61.8	99.6	27.3	25.9	52.7	59.7	3.49	1.87	1.57	4.70	3.40
959	97.4	27.3	27.0	57.4	64.2	94.8	27.6	27.3	56.4	63.2	2.67	1.10	1.11	1.74	1.56
967	107.6	26.9	29.3	64.2	71.3	100.9	27.3	30.3	62.7	69.7	6.23	1.49	3.41	2.34	2.24
951	105.8	28.1	28.0	59.3	65.7	102.8	29.5	28.9	57.8	64.8	2.84	4.98	3.21	2.53	1.37
968	103.4	25.3	26.6	61.3	64.8	100.7	26.2	28.1	58.9	65.3	2.61	3.56	5.6	3.92	0.77
952	101.8	27.6	28.4	61.3	65.4	97.4	28.2	29.5	61.1	63.0	4.32	2.17	3.87	0.32	3.67

4 结论

(1) 设计了一种集种猪自动识别、体质量自动称量、体尺自动测量、采食量自动统计于一体的封闭式种猪性能测定站。系统的机械部分采用前后端分离的结构设计, 前端为饲喂装置, 包括前端框架、螺

旋下料装置、称量料槽装置以及采食门装置, 后端为猪只称量装置, 由后端框架、称量栏装置、门禁装置组成。通过设计采食门装置和门禁装置为猪只提供封闭测量环境, 在此基础上基于 FIR 滤波设计了种猪体质量动态称量算法、基于椭圆拟合设计了种猪姿态筛选算法、基于包络分析设计了种猪体尺提取

算法。系统控制部分采用 STM32 控制中心和图像处理中心协同工作模式。图像处理中心获取种猪体尺信息;STM32 控制中心获取种猪身份、采食量、体质量等信息,并融合图像处理中心获取种猪体尺信息。

(2)分别进行了实际猪群模拟种猪生长性能验证试验和体尺测量试验。通过生长性能验证试验对采食行为数据分析表明,25 ~ 60 kg、25 ~ 100 kg 阶段,试验猪只群体自由采食日均次数分别为 9.33、8.94 次,日均采食时间分别为 88.20、92.93 min,群

体料肉比分别为 2.47 和 2.66;60 ~ 135 日龄生长曲线拟合结果表明,生长规律符合 Logistic 模型拟合曲线。通过体尺测量试验验证,算法筛选猪只理想姿态帧全部包含在人工筛选理想姿态帧内,体长、体宽、臀宽、体高、臀高的平均相对误差分别为 3.69%、2.53%、2.60%、2.59%、2.17%,满足体尺测量要求。试验结果表明,本文设计的封闭式种猪性能测定站可用于种猪生产性能测定,能够同时提供种猪体质量、采食量和体尺等信息,可为我国生猪育种工作提供物质装备和技术支撑。

参 考 文 献

[1] HARLIZIUS B, MATHUR P, KNOL E F. Breeding for resilience: new opportunities in a modern pig breeding program[J]. Journal of Animal Science, 2020,98(Supp.1): 150 - 154.

[2] DE C C, TANGHE S, JANSSENS S, et al. The effect of Piétrain sire on the performance of the progeny of two commercial dam breeds: a pig intervention study[J]. Animal, 2019,13(10):2125 - 2132.

[3] JENSEN K, SØRENSEN L, BERTELSEN D, et al. Management factors affecting activity and aggression in dynamic group housing systems with electronic sow feeding: a field trial[J]. Animal Science, 2000,71(3): 535 - 545.

[4] ANIL L, ANIL S S, DEEN J, et al. Evaluation of well-being, productivity, and longevity of pregnant sows housed in groups in pens with an electronic sow feeder or separately in gestation stalls[J]. American Journal of Veterinary Research,2005,66(9): 1630 - 1638.

[5] AREY D S, EDWARDS S A. Factors influencing aggression between sows after mixing and the consequences for welfare and production[J]. Livestock Production Science, 1998, 56(1): 61 - 70.

[6] CASEY D S, STERN H S, DEKKERS J C. Identification of errors and factors associated with errors in data from electronic swine feeders[J]. Journal of Animal Science, 2005,83(5):969 - 982.

[7] 杨晓丹. 猪自动生长性能测定设备的数据质量管控研究[D]. 杭州:浙江大学,2018.
YANG Xiaodan. Study on data quality management and control of automatic pig feed intake recording equipment [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018. (in Chinese)

[8] 付光栋,王杰. Acema 与 Osborne 自动饲喂系统的使用对比分析[J]. 养殖与饲料,2011(5):43 - 45.

[9] SHI C, ZHANG J, TENG G. Mobile measuring system based on LabVIEW for pig body components estimation in a large-scale farm[J]. Computers and Electronics in Agriculture,2019,156:399 - 405.

[10] WANG Y. Non-contact sensing of hog weights by machine vision[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2006,22(4):557 - 582.

[11] 刘同海,滕光辉,付为森,等. 基于机器视觉的猪体体尺测点提取算法与应用[J]. 农业工程学报,2013,29(2):161 - 168.
LIU Tonghai, TENG Guanghui, FU Weisen, et al. Extraction algorithms and applications of pig body size measurement points based on computer vision[J]. Transactions of the CSAE,2013,29(2):161 - 168. (in Chinese)

[12] 李卓,杜晓冬,毛涛涛,等. 基于深度图像的猪体尺检测系统[J]. 农业机械学报,2016,47(3):311 - 318.
LI Zhuo, DU Xiaodong, MAO Taotao, et al. Pig dimension detection system based on depth image[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2016,47(3):311 - 318. (in Chinese)

[13] KONGSRO J. Estimation of pig weight using a Microsoft Kinect prototype imaging system[J]. Computers and Electronics in Agriculture,2014,109:32 - 35.

[14] 肖俊,张伟,王浩. FIR 滤波在汽车动态轴组计量信号处理中的应用[J]. 测控技术,2017,36(9):135 - 137,141.
XIAO Jun, ZHANG Wei, WANG Hao. Application of FIR filter in measurement signal processing of automobile dynamic axle group[J]. Measurement and Control Technology, 2017,36(9): 135 - 137, 141. (in Chinese)

[15] 王志彬,王开义,张水发,等. 基于 K-means 聚类和椭圆拟合方法的白粉虱计数算法[J]. 农业工程学报,2014,30(1): 105 - 112.
WANG Zhibin, WANG Kaiyi, ZHANG Shuifa, et al. Whiteflies counting with K-means clustering and ellipse fitting[J]. Transactions of the CSAE,2014,30(1):105 - 112. (in Chinese)

[16] KASHIHA M, BAHR C, OTT S, et al. Automatic weight estimation of individual pigs using image analysis[J]. Computers and Electronics in Agriculture,2014,107:38 - 44.

[17] 文磊. 封闭式智能种猪测定站机械系统的改进与样机性能试验[D]. 武汉:华中农业大学,2020.
WEN Lei. Improvement and experiment of mechanical system of closed intelligent breeding pig detection station[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2020. (in Chinese)

[18] 孙华,宋忠旭,彭先文,等. 肥育猪采食规律研究[J]. 养猪,2015(6):47 - 48.

[19] 罗凤珍,朱良. 大白生长母猪采食行为研究[J]. 猪业科学,2010,27(8):96 - 97.

[20] 肖炜,云鹏,李光兵,等. 不同来源大白猪生长曲线的比较研究[J]. 安徽农业科学,2007,35(10):2912 - 2913,3082.

[21] 李庆岗,吕培,韦培培. 不同性别美系大白猪生长曲线拟合分析[J]. 养猪,2014(5):60 - 62.