doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.S0.040

基于骨架扫描策略的生猪热红外视频目标跟踪方法

马　丽[1,2]　张旭东[1,3]　邢子正[1,3]　张馨月[1,3]　任晓惠[1,3]　刘　刚[1,3]

(1. 中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 北京 100083;
2. 河北农业大学信息科学与技术学院, 保定 071001;
3. 中国农业大学农业农村部农业信息获取技术重点实验室, 北京 100083)

摘要: 为了解决生猪在运动过程中目标检测与跟踪误差较大的问题,提出了一种基于骨架扫描策略的生猪头部及躯干目标检测与跟踪方法。首先,检测热红外视频中生猪的通道区域,去除复杂背景的干扰;其次,对通道区域进行预处理,提取生猪的整体骨架;再次,设计图像行列扫描策略,扫描骨架前端关键点,提取头部位置;最后,根据头部与身体的空间关系,检测躯干跟踪框的位置,同步实现头部和躯干的目标跟踪。利用采集到的 50 只生猪的视频数据,在 Matlab R2014a 平台上进行了测试,并与压缩感知跟踪、核相关滤波跟踪和快速判别尺寸空间跟踪等高效算法进行对比分析。结果表明,本文算法的平均跟踪帧速为 31.63 f/s,平均跟踪精确度为 0.675 2(阈值为 20 像素),分别比压缩感知跟踪、核相关滤波跟踪和快速判别尺寸空间跟踪算法高 9.41、7.09、2.72 个百分点。

关键词: 生猪; 目标检测与跟踪; 热红外视频; 骨架提取

中图分类号: TP391.41　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-1298(2019)S0-0256-05

Automatic Pig Target Tracking Based on Skeleton Scanning Strategy for Thermal Infrared Video

MA Li[1,2]　ZHANG Xudong[1,3]　XING Zizheng[1,3]　ZHANG Xinyue[1,3]　REN Xiaohui[1,3]　LIU Gang[1,3]

(1. *Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research*, *Ministry of Education*, *China Agricultural University*, *Beijing* 100083, *China*
2. *College of Information Science and Technology*, *Hebei Agricultural University*, *Baoding* 071001, *China*
3. *Key Laboratory of Agricultural Information Acquisition Technology*, *Ministry of Agriculture and Rural Affairs*, *China Agricultural University*, *Beijing* 100083, *China*)

Abstract: The body surface temperature of pigs is an objective reflection of their own physiological conditions. Testing the body surface temperature of individuals and groups is an important way to achieve fine and efficient production of pigs. In order to realize the on-line monitoring of the body surface temperature of pigs in a top view, a method of detecting and tracking the head and trunk of pigs based on thermal infrared video was proposed. Firstly, the pig channel in the collected thermal infrared frame was intercepted, and the overall skeleton of the pig was extracted after pretreatment in this area. Then the key points at the front end of the skeleton were scanned to detect the head skeleton. After that, the trunk detection was realized by calculating the position of the key point of the torso tracking frame based on the position of the head and the spatial position tracking frame of the body. Finally, head and body detection were performed on each frame to achieve head and torso tracking. Using the collected 50 pig videos, the proposed algorithm was tested on the Matlab R2014a platform and compared with the compressive tracking (CT), kernel correlation filter (KCF) and fast discriminative scale space tracking (FDSST). The results showed that the tracking precision was 0.675 2 (threshold value was 20 pixels), which were 9.41, 7.09 and 2.72 percentage points higher than those of CT, KCF and FDSST, respectively. The proposed algorithm can effectively solve the problem of automatic detection and tracking of the head and trunk of the thermal infrared video of the pig in the top view, and can provide more accurate regional

收稿日期: 2019-04-25　修回日期: 2019-05-20

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0700200-2016YFD0700204)

作者简介: 马丽(1979—),女,博士生,河北农业大学讲师,主要从事图像视频处理和农业物联网应用研究,E-mail: gotoml@hebau.edu.cn

通信作者: 刘刚(1966—),男,教授,博士生导师,主要从事农业信息技术应用研究,E-mail: pac@cau.edu.cn

information for the body temperature extraction of the head and the trunk. The average tracking frame rate was 31.63 f/s, which can meet the requirements of on-line monitoring of farms. This technology provided technical support for further intelligent monitoring equipment for postgraduate pig body surface temperatures.

Key words: pig; target detection and tracking; thermal infrared video; skeleton extraction

0　引言

热红外技术可以获取二维平面温度数据,具有无损、非接触的特点[1],可以无应激地监测动物行为,并获得感兴趣区域的温度,近年来受到动物科学研究领域的关注[2-5]。

目前使用热红外技术的测温方法主要分为人机交互法和自动检测法两种。人机交互法采用热像仪生产企业提供的软件处理热红外数据,需要熟练的技术人员手动圈定感兴趣的区域,并获取温度[6-8]。RICCI 等[9]使用 IRSoft Version 3.6 Testo 软件分析热红外图像,识别猪最热和最冷的表面体区域,评估母猪和仔猪在有制冷系统和无制冷系统中的热应激。COOK 等[10]使用 ThermoCAM Research Pro 2.7 (FLIR 视觉系统)分析包含 7 只猪的热图,研究接种疫苗前后猪的蜷缩行为与环境和接种时间的关系。YÁÑEZ-PIZAÑA 等[11]采用 FLIRTools 软件手动标记 64 头断奶仔猪的眼睛、耳穴、鼻子区域,评估各区域温度与不同环境之间的相关性。以上研究检测的感兴趣区域常常是运动的非刚体,目标的形状和姿态多变,给手工检测带来困难,自动化水平较低[4, 12-15]。因此,需要通过自动检测感兴趣区域的方法减少工作量,避免技术人员的操作对检测结果的影响。

自动检测法是指采用图像处理技术检测感兴趣区域,自动获取目标温度的方法[16-18]。前人研究多采用离散采集热红外图像数据开展研究。生猪在运动过程中,感兴趣区域由于大尺度变化、形变、运动模糊等问题常常导致跟踪成功率偏低。实现长期自动监测需由手工标注变为自动标注,研究生猪目标检测与跟踪的新方法。

本文以俯视图下的生猪热红外视频为研究对象,采用骨架提取技术检测生猪整体骨架,设计行列扫描策略,检测头部和躯干的位置,实现感兴趣区域(头部和身体)的自动检测与跟踪,为后续基于热红外视频的生猪体表温度检测提供技术支持。

1　材料和方法

1.1　热红外数据采集

生猪耳根自动检测试验于 2017 年 7 月 2—19 日在北京天棚兴旺种猪场的试验育肥猪舍进行。参与试验的生猪品种为大白(生猪数量 100 头;每头 30 ~ 50 kg)。

红外采集系统包括红外热像仪(FLIR A615 型,分辨率 640 像素 × 480 像素)、便携式计算机(ThinkPad S3 - S440 型)、检测通道、摇臂支架和温湿度计。图 1 为设备摆放位置和测试场景。红外热像仪在生猪通道正上方,获取生猪俯视视频。

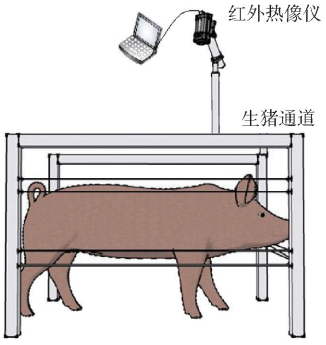


图 1　热红外视频采集示意图

Fig. 1　Sketch of thermal infrared image acquisition

由 FLIR Tools 软件录制热红外视频(6.5 f/s),录制的热红外视频文件使用. seq 格式存入计算机硬盘。在远离通道处操作计算机录制热红外视频,不会对通过的生猪带来应激影响。整个试验期间环境温度在 20 ~ 30℃之间,相对湿度为 40% ~ 70% 之间,用温湿度计测量获得最小/最大温度和相对湿度[19-22]。

1.2　基于头部骨架扫描策略的目标跟踪方法

本研究的数据来源是热红外视频,在 Matlab R2014a 环境中,通过热像仪生产企业提供的软件开发工具包读取 SEQ 文件,获得视频的热红外数据。通过提取每帧生猪的骨架,检测头部和躯干的跟踪区域,获取温度数据并保存数据结果。本研究的流程如图 2 所示。

1.2.1　生猪通道检测

提取生猪骨架首先需要通过热像仪生产企业提供的软件开发工具包获取热红外热图像的温度矩阵。采用铁红调色板,将温度矩阵转化为无温度的 RGB 图像。图 3a 为任选一段视频的第 338 帧图像。为了提高检测速度,避免背景对检测的影响,需要去除通道左右两侧的背景图像,仅保留生猪通道图像,如图 3b 所示。

1.2.2　生猪身体骨架提取

为了获取准确的生猪整体骨架,需要先对通道

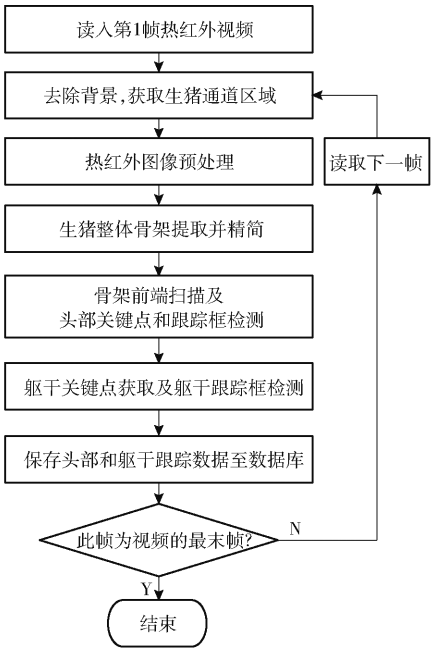
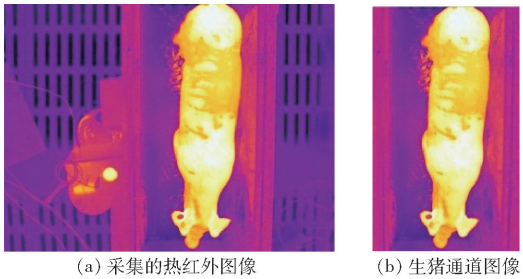


图 2 骨架提取与目标跟踪方法流程图

Fig. 2 Flow chart of skeleton extraction and target tracking

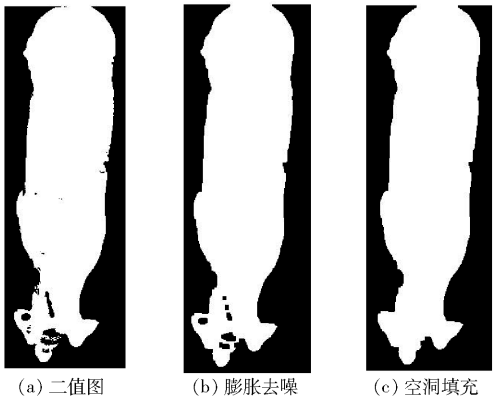


(a) 采集的热红外图像 (b) 生猪通道图像

图 3 生猪通道检测

Fig. 3 Pig channel detection

图像预处理。首先,对图像进行二值化,如图 4a 所示。采用多次膨胀法减少图 4a 中噪声,并使图像边缘平滑,如图 4b 所示。在图 4b 中进一步去除小连通区域,填补黑白空洞,得到完整的生猪身体区域,如图 4c 所示。

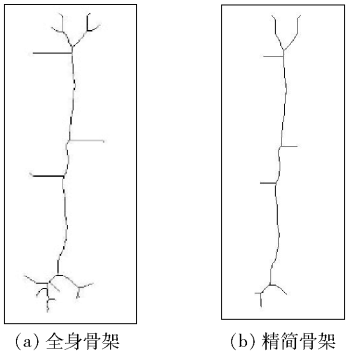


(a) 二值图 (b) 膨胀去噪 (c) 空洞填充

图 4 热红外图像预处理

Fig. 4 Image preprocessing

对图 4c 进行腐蚀操作,使生猪身体边缘平滑,然后提取生猪区域的骨架,如图 5a 所示。为了减少生猪不同姿态对后续跟踪的影响,需要进一步剔除图 5a 中的骨架毛刺,得到简洁的生猪整体骨架,如图 5b 所示。



(a) 全身骨架 (b) 精简骨架

图 5 生猪整体骨架提取

Fig. 5 Pig skeleton extraction

1.2.3 生猪头部和身体检测

获取生猪整体骨架后,需要设计合理的扫描策略,首先进行头部目标检测,然后根据头部与躯干的空间关系,检测躯干位置。图 6 和图 7 是头部和躯干的检测示意图,检测步骤为:

(1)设置头部跟踪框体的尺寸。经过统计,生猪头部骨架一般占据整个通道长度的 10%,而生猪头部长宽比约为 3∶2,因此可以根据图像尺寸设定头部骨架的平移宽度参数 W_1 和平移高度参数 H_1。

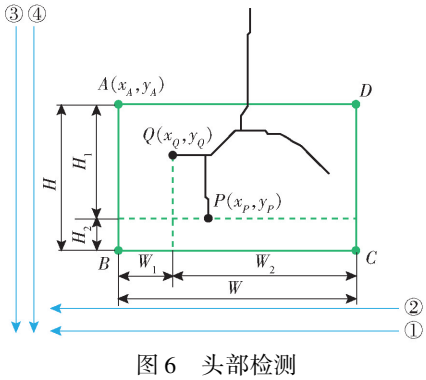
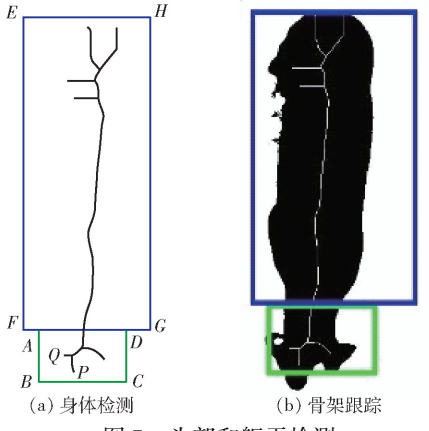


图 6 头部检测

Fig. 6 Head detection



(a) 身体检测 (b) 骨架跟踪

图 7 头部和躯干检测

Fig. 7 Head and trunk detection

(2)扫描检测头部跟踪框的关键点 $P(x_P, y_P)$。首先在图 6 所示的通道图像上,按照图 6 中①和②所示方向从图像右下角开始,从右向左、从下到上逐行扫描,直到检测到骨架二值图中的第 1 个非零点,即为头部骨架最前点 $P(x_P, y_P)$。然后在通道图像上按照图 6 中③和④所示方向从图像左上角开始,从上到下、从左向右逐列扫描,直到检测到整个身体骨架最左端点 $Q(x_Q, y_Q)$。

(3)检测头部跟踪框体的关键点 $A(x_A, y_A)$。由图 6 可见,头部骨架并不能覆盖整个头部区域,因此,需要添加调节因子 W_2 和 H_2,使得跟踪框体覆盖整个左右耳根部和大部分头部。由图 6 可求得,头部框体的左上角 A 的坐标 (x_A, y_A) 及框体的高度 H 和宽度 W 为

$$x_A = x_P - H_1 \tag{1}$$

$$y_A = y_Q - W_1 \tag{2}$$

$$H = H_1 + H_2 \tag{3}$$

$$W = W_1 + W_2 \tag{4}$$

(4)设置躯干跟踪框体的尺寸。为获取躯干全部区域,设置躯干跟踪框的高度为头部框体 A 点到通道入口边界的距离,宽度为头部框体宽度的 λ 倍(本文 $\lambda = 1.4$)。

(5)确定躯干跟踪框体的关键点 $E(x_E, y_E)$ 坐标。在图 7a 中,将头部跟踪框坐标 A 分别减去躯干跟踪框体的高度和宽度,并适当调整身体跟踪框的尺寸,可获得躯干跟踪框左上角 E 的坐标 (x_E, y_E) 及躯干跟踪框体尺寸。

(6)对每帧图像进行上述处理,可实现对热红外视频中生猪头部和躯干的检测与跟踪,如图 7b 所示。

2　结果与分析

为了验证跟踪算法的有效性,采用目标跟踪数据集(Object tracking benchmark, OTB)中的精度图来评估头部跟踪算法的性能[23-24]。

随机选择 50 段视频数据分帧,获得 7 100 帧原始数据,其中通道内有生猪通过的共 4 325 帧。对这 4 325 帧中的生猪头部进行标定,建立生猪头部数据集。因为扫描策略是基于头部骨架的耳部关键位置进行的,因此制定的数据集的标定标准为以左右两侧耳根的中心连线为中心点,两只耳朵在标定矩形框的对角线或者水平线上。

中心位置误差为头部跟踪框的中心坐标与人工标定的实际框图中心坐标之间的平均欧氏距离。以中心位置误差小于某一阈值(常取 20 像素)的帧占总帧数的百分比为精确度,精确度越大说明跟踪越精确。精确度图显示了阈值从 0 像素变化到 50 像素时,视频成功跟踪的帧数占总帧数的百分比变化。本试验采用一次性评估(One-pass evaluation, OPE)方式[23]。所有试验显示结果为所有视频的平均值。

通过检测每帧生猪的骨架,获取头部跟踪区域在图像中的位置,实现对生猪头部跟踪。将本文方法的结果与压缩感知跟踪(Compressive sensing, CT)、核相关滤波跟踪(Kernel correlation filter, KCF)和快速判别尺寸空间跟踪(Fast discriminative scale space tracking, FDSST)算法进行比较,结合标定的生猪头部数据集,绘制精确度图,跟踪效果如图 8 和表 1 所示[25-27]。

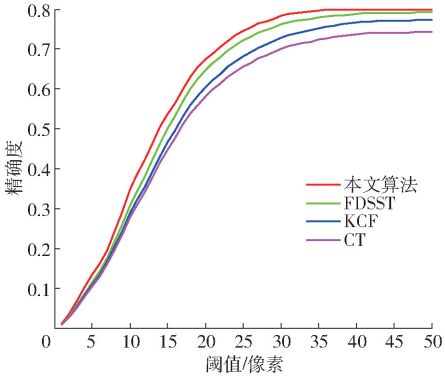


图 8　跟踪性能曲线

Fig. 8　Tracking performance curves

表 1　50 段视频的跟踪结果

Tab. 1　Summary of experimental results on 50 videos

算法	平均精确度(20 像素)	平均帧速/(f·s^{-1})
本文方法	0.675 2	31.63
CT	0.581 1	34.58
KCF	0.604 3	110.58
FDSST	0.648 0	243.93

由图 8 可见,本文方法的精确度在整体阈值区间内均优于性能较优的 CT、KCF 和 FDSST 算法。

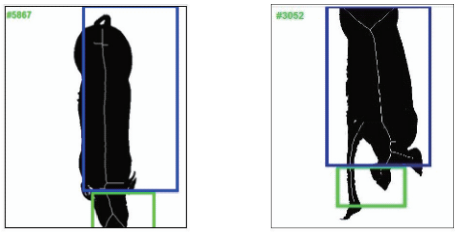
由表 1 看出,本文跟踪算法在阈值为 20 像素以内的跟踪精度达到 0.675 2,分别比 CT、KCF 和 FDSST 算法高 9.41、7.09、2.72 个百分点。

在运行速率上,虽然本文算法的平均帧速率比另外 3 种算法慢一些,但本文平均帧速 31.63 f/s 已经能够满足养殖场在线监测的要求。因此,在位置和姿态多尺度变化情况下,对生猪头部和躯干进行检测和跟踪,本文方法整体表现优异。

从 4 325 帧中筛选出跟踪性能偏差的帧,统计出有代表性的两类图,其骨架二值图像见图 9。图 10 是其对应的 RGB 图像跟踪效果。

对于头部跟踪情况,由于图 9a 中的生猪脸部较长,致使跟踪框没有覆盖生猪的耳部,造成头部中心位置误差较大,如图 10a 所示。由于图 9b 生猪发生排泄行为,导致提取了排泄物的骨架,而不是头部骨

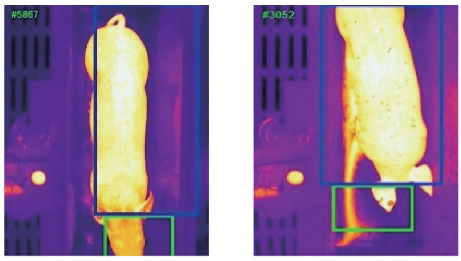
架,从而导致头部检测失败,如图 10b 所示。



(a) 第5867帧,脸部较长引起偏差 (b) 第3052帧,排泄引起偏差

图 9 精度误差较大的图像

Fig. 9 Images with large tracking error



(a) 脸部较长引起偏差 (b) 排泄引起偏差

图 10 对图 9 的跟踪效果

Fig. 10 Tracking effects of Fig. 9

对于躯干跟踪,图 9a 的躯干中心位置误差比较大,主要原因是头部发生了右向偏移,致使头部检测的关键点 A 右偏,从而计算的躯干跟踪框的关键点 E 也相应右偏,因此躯干跟踪框发生右向偏移,致使躯干跟踪框体没有包含所有躯干区域,如图 10a 所示。因此,设计跟踪框尺寸自适应的检测与跟踪算法,既可以使跟踪框覆盖目标整体,又可以减小中心位置误差,有效提高跟踪的精确度。

3 结论

(1)为了解决生猪热红外视频中自动检测感兴趣区域的问题,提出了一种基于头部骨架扫描策略的生猪头部和躯干跟踪算法,能够有效解决俯视图下生猪热红外视频的头部与躯干自动检测与跟踪问题,减轻了技术人员的工作量。

(2)提出了基于头部骨架扫描策略检测目标方法,能够对自然行走的生猪进行头部和躯干检测与跟踪,与 CT、KCF 和 FDSST 算法对比表明,本文方法在阈值 20 像素以内的跟踪精确度达到 0.675 2,精确度均高于 CT、KCF 和 FDSST 算法,能够为头部和身体的体温提取提供较为准确的区域信息。

(3)本文方法的平均跟踪帧速为 31.63 f/s,满足监测实时性的需求,可为进一步研究生猪体表温度智能监测设备提供技术支撑。

参 考 文 献

[1] LAHIRI B B, BAGAVATHIAPPAN S, JAYAKUMAR T, et al. Medical applications of infrared thermography: a review[J]. Infrared Physics & Technology, 2012, 55(4): 221 - 235.

[2] 邹远炳,孙龙清,李玥,等. 基于分布式流式计算的生猪养殖视频监测分析系统[J]. 农业机械学报, 2017,48(增刊): 365 - 373.
ZOU Yuanbing, SUN Longqing, LI Yue, et al. Video monitoring and analysis system for pig breeding based on distributed flow computing[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017,48(Supp.): 365 - 373. (in Chinese)

[3] SOERENSEN D D, PEDERSEN L J. Infrared skin temperature measurements for monitoring health in pigs: a review[J]. Acta Veterinaria Scandinavica, 2015, 57(1):5.

[4] LOKESH B D S, JEYAKUMAR S, JITENDRA V P, et al. Monitoring foot surface temperature using infrared thermal imaging for assessment of hoof health status in cattle: a review[J]. J. Therm. Biol., 2018, 78: 10 - 21.

[5] MATTHEWS S G, MILLER A L, CLAPP J, et al. Early detection of health and welfare compromises through automated detection of behavioural changes in pigs[J]. The Veterinary Journal, 2016, 217: 43 - 51.

[6] LABEUR L, VILLIERS G, SMALL A H, et al. Infrared thermal imaging as a method to evaluate heat loss in newborn lambs [J]. Research in Veterinary Science, 2017, 115: 517 - 522.

[7] LUDWIG N, FORMENTI D, GARGANO M, et al. Skin temperature evaluation by infrared thermography: comparison of image analysis methods[J]. Infrared Physics & Technology, 2014, 62: 1 - 6.

[8] SALLES M S V, DA SILVA S C, SALLES F A, et al. Mapping the body surface temperature of cattle by infrared thermography [J]. Journal of Thermal Biology, 2016, 62: 63 - 69.

[9] RICCI G D, SILVA-MIRANDA K O D, TITTO C G. Infrared thermography as a non-invasive method for the evaluation of heat stress in pigs kept in pens free of cages in the maternity[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2019, 157: 403 - 409.

[10] COOK N J, BENCH C J, LIU T, et al. The automated analysis of clustering behaviour of piglets from thermal images in response to immune challenge by vaccination[J]. Animal, 2018, 12(1): 122 - 133.

[11] YÁÑEZ-PIZAÑA A, MOTA-ROJAS D, RAMÍREZ-NECOECHEA R, et al. Application of infrared thermography to assess the effect of different types of environmental enrichment on the ocular, auricular pavilion and nose area temperatures of weaned piglets[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2019, 156: 33 - 42.

[12] DE RUEDIGER F R, YAMADA P H, BICASBARBOSA L G, et al. Effect of estrous cycle phase on vulvar, orbital area and muzzle surface temperatures as determined using digital infrared thermography in buffalo[J]. Animal Reproduction Science, 2018, 197: 154 - 161.

[13] MOE R O, FLØ A, BOHLIN J, et al. Experimental factors affecting the within- and between-individual variation of plantar foot surface temperatures in turkeys (*Meleagris gallopovo*) recorded with infrared thermography [J]. Infrared Physics & Technology, 2018, 92: 381 - 386.

(下转第 242 页)

content and electrical conductivity[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(9): 163 - 167. (in Chinese)
[16] STADLER A, RUDOLPH S, KUPISCH M, et al. Quantifying the effects of soil variability on crop growth using apparent soil electrical conductivity measurements[J]. European Journal of Agronomy, 2015, 64: 8 - 20.
[17] MURATA H, FUTAGAWA M, KUMAZAKI T, et al. Millimeter scale sensor array system for measuring the electrical conductivity distribution in soil[J]. Computers & Electronics in Agriculture, 2014, 102(1): 43 - 50.
[18] PERSON M. Soil solution electrical conductivity measurements under transient conditions using time domain reflectometry[J]. Soil Science Society of America Journal, 1997, 61: 997 - 1003.
[19] TOPP G C, YANUKA M, ZEBCHUK W D, et al. Determination of electrical conductivity using time domain reflectometry: soil and water experiments in coaxial lines[J]. Water Resources Research, 1988, 24: 945 - 952.
[20] ZHANG N, FAN G, LEE K H, et al. Simultaneous measurement of soil water content and salinity using a frequency-response method[J]. Soil Science Society of America Journal, 2004, 68(5): 1515 - 1525.
[21] 赵燕东,董晓晨,李宁. 线区域尺度土壤水分实时测量方法研究[J]. 农业机械学报, 2015, 46(6): 168 - 174.
ZHAO Yandong, DONG Xiaochen, LI Ning. Real-time soil moisture measurement method on line scale[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(6): 168 - 174. (in Chinese)
[22] PONIZOVSKY A A, CHUDINOVA S M, PACHEPSKY Y A. Performance of TDR calibration models as affected by soil texture [J]. Journal of Hydrology, 1999, 218(1 - 2):35 - 43.

(上接第 260 页)

[14] BYRNE D T, BERRY D P, ESMONDE H, et al. Investigation of the relationship between udder quarter somatic cell count and udder skin surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography[J]. Journal of Animal Science, 2018, 96(10):4458 - 4470.
[15] FREITAS A C B D, QUIRINO C R, BARTHOLAZZI J A, et al. Surface temperature in different anatomical regions of ewes measured by infrared thermography[J]. Livestock Science, 2018, 216: 84 - 87.
[16] 朱伟兴,刘波,杨建军,等. 基于改进主动形状模型的生猪耳部区域检测方法[J]. 农业机械学报, 2015,46(3): 288 - 295.
ZHU Weixing, LIU Bo, YANG Jianjun, et al. Pig ear area detection based on adapted active shape model[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015,46(3): 288 - 295. (in Chinese)
[17] 周丽萍,陈达,陈志,等. 基于图像处理的生猪耳部颜色异常检测技术[J]. 农业机械学报, 2017,48(4): 166 - 172.
ZHOU Liping, CHEN Da, CHEN Zhi, et al. Pig ear abnormal color detection on image processing techniques [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017,48(4): 166 - 172. (in Chinese)
[18] LU M, HE J, CHEN C, et al. An automatic ear base temperature extraction method for top view piglet thermal image[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2018, 155: 339 - 347.
[19] KORMAN P, STRABURZYŃSKA-LUPA A, KUSY K, et al. Changes in body surface temperature during speed endurance work-out in highly-trained male sprinters[J]. Infrared Physics & Technology, 2016, 78: 209 - 213.
[20] SASAKI Y, FURUSHO K, USHIJIMA R, et al. Body surface temperature of suckling piglets measured by infrared thermography and its association with body weight change[J]. Japan Agricultural Research Quarterly, 2016, 50(4): 361 - 368.
[21] ZHANG K, JIAO L, ZHAO X, et al. An instantaneous approach for determining the infrared emissivity of swine surface and the influencing factors[J]. Journal of Thermal Biology, 2016, 57: 78 - 83.
[22] JIAO L, DONG D, ZHAO X, et al. Compensation method for the influence of angle of view on animal temperature measurement using thermal imaging camera combined with depth image[J]. Journal of Thermal Biology, 2016, 62: 15 - 19.
[23] WU Y, LIM J, YANG M H. Online object tracking: a benchmark[C]//2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE Computer Society, 2013.
[24] WU Y, LIM J, YANG M. Object tracking benchmark[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2015, 37(9): 1834 - 1848.
[25] ZHANG K, SONG H. Real-time visual tracking via online weighted multiple instance learning[J]. Pattern Recognition, 2013, 46(1): 397 - 411.
[26] 颜慧芳. 基于压缩感知的目标跟踪技术研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2018.
YAN Huifang. Research on object tracking based on compressive sensing[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2018. (in Chinese)
[27] 王敏敏. 基于压缩感知的动目标检测技术及其应用研究[D]. 上海: 中国科学院大学, 2018.
WANG Minmin. Reserach on the technology and application of moving target detection based on comprehensive sensing[D]. Shanghai: University of Chinese Academy of Science, 2018. (in Chinese)