

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2021.03.027

基于热红外成像与骨架树模型的奶牛眼温自动检测

何东健^{1,2} 宋子琪^{1,3}

(1. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西杨凌 712100; 2. 农业农村部农业物联网重点实验室, 陕西杨凌 712100; 3. 陕西省农业信息感知与智能服务重点实验室, 陕西杨凌 712100)

摘要: 针对现有方法无法实现奶牛热红外图像中眼温信息自动获取的问题,为实现奶牛眼温无接触、自动、高精度检测,提出了一种基于热红外成像技术与骨架树模型的奶牛眼温自动检测方法。首先,在获得奶牛侧面热红外图像的基础上,利用基于差距度量的阈值分割方法提取奶牛目标,对奶牛骨架进行精确提取,并构建了奶牛骨架树模型,在该模型上对奶牛头部区域进行准确定位;然后,根据头部轮廓的形状特征与眼睛几何位置特征,对奶牛眼睛区域中心点进行准确定位;最后,以眼睛中心点为圆心,以半径为20像素区域内的最高温度作为眼睛温度,对奶牛热红外图像中眼温进行自动检测。为验证本文方法的有效性,随机选取来自50头奶牛的100幅侧视热红外图像进行了试验,结果表明,采用本文方法检测结果的平均绝对误差为0.35℃、平均相对误差为0.38%,具有较高的精度。本研究可为奶牛体温非接触、自动化、高精度检测提供技术支撑。

关键词: 奶牛眼温; 热红外图像; 头部识别; 眼睛定位; 骨架树模型

中图分类号: S24; TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2021)03-0243-08

OSID:



Automatic Detection of Dairy Cow's Eye Temperature Based on Thermal Infrared Imaging Technology and Skeleton Tree Model

HE Dongjian^{1,2} SONG Ziqi^{1,3}

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2. Key Laboratory of Agricultural Internet of Things, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yangling, Shaanxi 712100, China

3. Shaanxi Key Laboratory of Agricultural Information Perception and Intelligent Service, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The maximum temperature of the dairy cow's eye area is highly correlated with the widely used rectal temperature. The existing methods have not been able to automatically extract the eye temperature from the thermal infrared image. In order to achieve non-contact, automatic and high-precision detection of dairy cow's eye temperature, a method for automatic detection of dairy cow's eye temperature based on thermal infrared imaging technology and skeleton tree model was studied and proposed. On the basis of the thermal infrared image of the side of dairy cow, the threshold segmentation method based on the gap measurement was used to extract the dairy cow target, and the precise extraction of the dairy cow skeleton was realized and the dairy cow skeleton tree model was constructed. In this model, the head area of dairy cattle was accurately located, and then according to the shape characteristics of the head outline and the geometric position characteristics of the eyes, the center point of the eye area of dairy cattle was accurately located. Finally, the eye temperature was automatically detected in the thermal infrared image of dairy cow with the center point of the eye as the center and the highest temperature in the 20 pixels radius area as the eye temperature. In order to verify the effectiveness of this method, totally 100 thermal infrared images from 50 dairy cows were randomly selected for the test. The results showed that the average absolute error of eye temperature was 0.35℃, and the average relative error was 0.38%. The method had high accuracy and can provide technical support for the non-contact, automatic and high-precision detection of dairy cow temperature.

Key words: dairy cow's eye temperature; thermal infrared image; head recognition; eye location; skeleton tree model

收稿日期: 2020-05-04 修回日期: 2020-06-06

基金项目: 陕西省重点产业创新链(群)-农业领域项目(2019ZDLNY02-05)和国家重点研发计划项目(2017YFD0701603)

作者简介: 何东健(1957—),男,教授,博士生导师,主要从事智能检测与农业信息技术研究,E-mail: hdj168@nwsuaf.edu.cn

0 引言

我国奶牛养殖业正由传统方式逐渐转变为自动化、精细化以及智能化大规模养殖模式,这对奶牛健康信息的智能采集提出了更高要求^[1]。奶牛各项生理参数通常反映其生理状态和健康情况,体温是最具有代表性的生理参数。奶牛正常体温为 38.5 ~ 39.5℃,疾病、发情、热应激等原因均会使奶牛体温产生大幅变化。因此,奶牛体温检测对于奶牛疾病诊断、发情预测、健康管理等具有重要意义^[2-3]。

按照测量部位奶牛体温可分为体表温度与体核温度,通常体核温度高于体表温度。直肠更接近体核,不易受外界环境影响,温度相对稳定,且能反映真实体温,所以直肠温度常被作为奶牛体温^[4]。传统的奶牛体温测量需要经验丰富的专业人员采用兽用水银或电子温度计测量直肠温度,其劳动强度大、耗时,且容易引起奶牛应激反应和疾病交叉传播,不能满足规模化精细养殖中快速、高精度测量温度的需要。诸多学者进行了奶牛体温自动测量方法研究,并取得了一些成果。文献[5]基于 ZigBee 无线传输技术实现了奶牛体征信息的监测,但无法实时监测奶牛体核温度。文献[6]设计的可穿戴式无线阴道探针基于电导率和温度的测量以及运动感应来自动检测奶牛体温,但无法在较大区域内进行网络建设。文献[7]将瘤胃推注物通过定制的推注器放入奶牛瘤胃中,以监测奶牛体温,但瘤胃内传感器设备在数据传输时会受到奶牛姿态变化的干扰。

已有研究表明,奶牛眼睛区域内表皮最高温度与直肠温度具有较高的相关性,故可以通过眼表最高温度预测奶牛体温^[8-9]。红外热成像(Infrared thermography, IRT)是一种安全、无创的热分布可视化技术,该技术基于物体的热辐射,通过光电红外探测器将物体发热部位辐射的功率信号转换成电信号,进而得到反映物体表面温度的热红外图像。国内外学者应用 IRT 技术测量奶牛体表温度,并探究了奶牛体表温度与直肠温度的关系^[10-12]。文献[13]采用红外热像仪测量奶牛眼睛表皮温度,并用数字兽用温度计测量直肠温度,得出奶牛眼部温度与直肠温度具有一定的相关性,奶牛眼部温度可代替直肠温度的结论。文献[14]利用 IRT 技术通过采集奶牛不同身体区域的图像来测量奶牛体温,并利用 SAS 分析数据,结果同样表明,奶牛眼睛温度与直肠温度有较高的相关性,且根据眼部温度能够识别早期奶牛疾病。文献[15]利用便携式红外热像仪连续 3 d 采集 10 头奶牛的热红外图像,对图像进行滤波处理后提取眼睛温度,得到奶牛最高眼

温与奶牛体温相关性最大,可通过奶牛眼睛温度预测体温。文献[16]根据奶牛跨度信息,用最大内接矩形和最小外接矩形求取眼睛所在区域,以此获取奶牛眼温,以奶牛眼温作为体温标准,通过与奶牛乳房温度进行比较来检测奶牛是否患乳房炎,检测准确率达 87.5%,表明奶牛眼温可以代表体温。

由于热红外图像受噪声干扰,其对比度和分辨率较低,且在测温过程中受奶牛姿态随时变化等因素的影响^[17-18],对其感兴趣区域(Region of interest, ROI)的自动提取较为困难,眼睛等 ROI 区域只能借助特定软件由人工选取^[19-20],难以实现奶牛眼睛区域的自动提取和眼温的准确检测。本文提出一种从奶牛侧视热红外图像中自动检测奶牛眼温的方法,在基于差距度量的阈值提取奶牛目标的基础上,提取骨架特征点并建立骨架树模型,根据骨架树模型特征识别奶牛头部区域,将奶牛头部轮廓特征与眼睛相对位置特征相结合,定位奶牛眼睛区域,并检测奶牛眼睛区域最高温度,以期实现奶牛体温的自动检测、奶牛发情和疾病早期检测、热应激行为的判别提供技术支持。

1 热红外图像采集

1.1 试验对象

以陕西省杨凌区科元克隆股份有限公司规模奶牛养殖场的美国荷斯坦奶牛为研究对象,从 254 头奶牛中选取处于泌乳中期,年龄为 3 ~ 4 岁,体型相似的 50 头作为试验对象。

1.2 试验仪器

MAG62 型红外热像仪(上海巨哥有限责任公司),图像分辨率为 640 像素 × 480 像素,像素尺寸为 17 μm,测温范围为 -40 ~ 80℃,测温精度为 0.1℃,由自带软件 ThermoScope 可得到所选测温区域的最大、最小和平均温度。

1.3 热红外图像采集方法

试验于 2020 年 1 月 10—17 日在陕西省杨凌区科元克隆股份有限公司进行,牛场环境平均温度 11.5℃,相对湿度为 23% ~ 48%。奶牛挤奶前需要依次经过宽 1.2 m、长 6.5 m 的通道进入挤奶间,在 13:30—14:30 挤奶期间,将红外热像仪放置在通道旁一侧距通道 5 m 处拍摄奶牛侧面热红外图像(图 1)。人为设障使奶牛依次通过通道,奶牛约以 0.1 m/s 的速度用时 1 min 左右通过通道,人工控制每隔 10 s 左右拍摄 1 幅热红外图像,保证每头奶牛最少拍摄 5 幅图像。红外热像仪通过以太网与计算机相连,利用 ThermoScope 软件获取热红外图像,将热红外数据文件(扩展名为 .ddt)保存在计算机中。

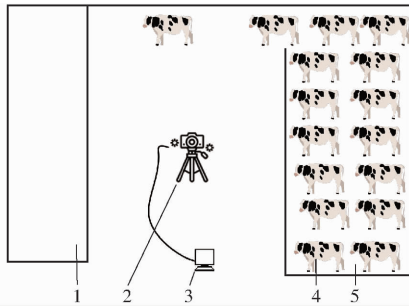


图1 奶牛侧面热红外图像采集系统示意图

Fig.1 Schematic of thermal infrared image acquisition system of dairy cow's side

1. 挤奶间 2. MAG62 型红外热像仪 3. 计算机 4. 奶牛 5. 棚舍

2 奶牛眼睛温度检测方法

奶牛眼睛温度提取包括奶牛目标提取、头部区域识别、眼睛区域定位与温度提取等步骤。

2.1 奶牛目标提取

为获取奶牛眼睛区域温度,首先要提取奶牛目标。热红外图像是温度的可视化显示,通过ThermoScope软件将每一像素的温度按照内部设定的温度和颜色之间的关系转换为伪彩色图像。由于热红外图像分辨率低且仅包含温度信息,同时受拍摄场景的限制,奶牛目标受到栏杆遮挡,所以奶牛目标提取存在困难。本文通过图像预处理与奶牛目标分割2个步骤实现奶牛目标提取。

2.1.1 图像预处理

红外热像仪获取的热红外图像如图2a所示,除上述原因外,由于奶牛眼睛区域占整幅图像比例过小,进一步加大了眼睛温度检测的难度。在ThermoScope软件中读入热红外图像并获得温度矩阵,由于ThermoScope软件中直接显示的伪彩色图像是通过自带算法处理得到的,不是原始数据,为获取原始数据且更加准确、快速地检测温度,将获得的温度矩阵转换为灰度图像^[21],计算式为

$$\text{gray_img}[i,j] = M[i,j] / (\max(M) - \min(M)) \quad (1)$$

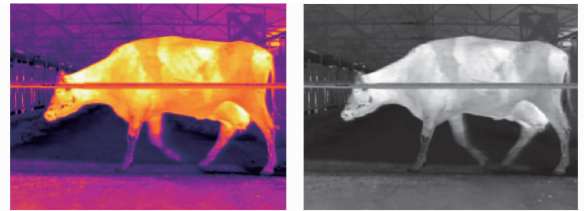
$(i \in [1, 480], j \in [1, 640])$

式中 gray_img[i,j]——灰度图像中第*i*行、第*j*列的灰度

$M[i,j]$ ——温度矩阵中第*i*行、第*j*列的温度,℃

$\max(M)$ 、 $\min(M)$ ——温度矩阵中最高与最低温度,℃

由于原始温度转换的灰度图像存在噪声,在数值上多以孤立的极大值、极小值表现,对温度读取造成影响,故采用 3×3 窗口进行中值滤波以去除孤立噪点,得到滤波后的灰度图像如图2b所示。



(a) 热红外图像

(b) 滤波后灰度图像

图2 奶牛侧面热红外图像预处理结果

Fig.2 Pre-processing results of thermal infrared image of dairy cow side

2.1.2 奶牛目标分割

热红外图像中每一像素的像素值与温度呈正比,所获取的前景区域与背景区域温度有显著性差异,常用Otsu算法将目标从背景中分割出来^[22]。但由于本试验拍摄场景较为复杂,图像受噪声干扰,相近温度点之间的对比度低,而基于差距度量的阈值分割方法具有一定的抗高斯噪声干扰和抗对比度变化的特性,所以本文采用基于差距度量的阈值分割方法进行处理^[23]。基于目标与背景的对比度差异,计算出目标与原图以及背景与原图的差距度量,最终获取最佳分割阈值。

根据以上定义,设 P_i 为灰度级*i*的出现概率, L 为图像原始灰度级,得

$$P_i = n_i / L \quad (i \in [0, L]) \quad (2)$$

式中 n_i ——灰度级*i*出现次数

阈值*s*将像素分为背景与目标,2类像素出现的概率分别为 P_B 与 P_T ,其计算式为

$$P_B = \sum_{i=0}^s P_i \quad (3)$$

$$P_T = \sum_{i=s+1}^{L-1} P_i \quad (4)$$

背景、目标和整幅图像平均灰度 $\mu_B(s)$ 、 $\mu_T(s)$ 和 $\mu(s)$ 为

$$\mu_B(s) = \sum_{i=0}^s iP_i / \sum_{i=0}^s P_i \quad (5)$$

$$\mu_T(s) = \sum_{i=s+1}^{L-1} iP_i / \sum_{i=s+1}^{L-1} P_i \quad (6)$$

$$\mu(s) = \sum_{i=0}^{L-1} iP_i / \sum_{i=0}^{L-1} P_i \quad (7)$$

背景与原图以及目标与原图之间的差距度量分别为

$$d_{T0} = (\mu_T(s) - \mu(s))^2 P_T \quad (8)$$

$$d_{B0} = (\mu_B(s) - \mu(s))^2 P_B \quad (9)$$

最后得到最佳阈值*s*的计算方法。

$$g = \arg \max_{0 \leq s \leq L-1} (d_{T0} d_{B0}) \quad (10)$$

将*g*最大时的阈值*s*作为分割阈值,进行二值分割,得到二值图像如图3a所示。观察发现二值图

像仍受到栏杆遮挡的影响,为去除栏杆遮挡影响,以原图像减去顶帽操作后的图像,使栏杆与奶牛连接区域断开。由于奶牛体积较大,有最大的连通区域,因此采用空间聚类技术对图像进行连通域处理,对图 3a 中连通域按照面积进行排序,只保留最大连通域,最后用半径为 5 的 'disk' 型结构元素进行形态学 '闭' 运算处理^[24],去除孔洞,最终得到奶牛二值图像如图 3b 所示,可以看出遮挡栏杆、背景中的杂点均已去除,奶牛目标被准确分割。

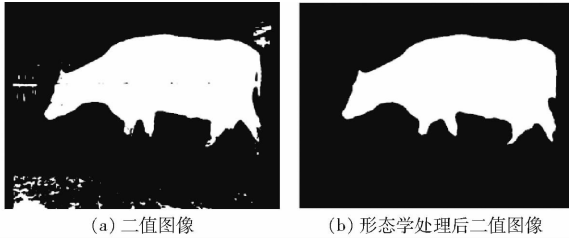


图 3 奶牛目标提取

Fig. 3 Dairy cow target extraction

2.2 奶牛头部区域识别

奶牛眼睛在奶牛头部内,故需要准确识别头部区域。由于奶牛行走时姿态不同,头部与颈部的位置不断变化,仅利用奶牛图像的跨度变化不能准确分割头部,而骨架是奶牛等物体的中轴,与原始形状连通性和拓扑结构分布性相一致,同时拓扑结构信息对柔性目标发生柔性变化时具有不变性^[25-26],故本文基于骨架特征识别奶牛头部区域。识别过程包括骨架特征点定位、建立骨架树模型、头部分割与识别 3 个步骤。

2.2.1 骨架特征点定位

由于奶牛骨架中存在大量冗余骨架支,Zhang-Suen 骨架提取算法具备速度快、可保证细化后曲线的连通性且无毛刺生成的优点,所以本文采用 Zhang-Suen 骨架提取算法^[27],由图 3b 提取的骨架如图 4a 所示。针对骨架特点可将骨架特征点分为 4 类^[28]:①分支点,当前像素点 8 连通域方向内存在 2 个以上像素。②端点,当前像素点 8 连通域方向内仅存在 1 个像素。③邻分支点,当前像素点 8 连通域方向内存在 2 个像素且 2 像素在 8 连通域方向内连续。④一般点,剩余骨架像素上的连续点。

用骨架点 T 的 8 邻域的像素值之和 T_{sum} 判断特征点的类型,若 $T_{\text{sum}} \geq 2$ 则为分支点,若 $T_{\text{sum}} = 1$ 则为端点。遍历骨干线上所有特征点,结合 4 种点的特征来寻找主干线上的分支点与端点,得到结果如图 4b 所示,其中分支点用红色圆点标记,端点用绿色圆点标记,并记录特征点位置。

2.2.2 骨架树模型建立

观察奶牛骨架可发现,奶牛骨架是头部、颈部、

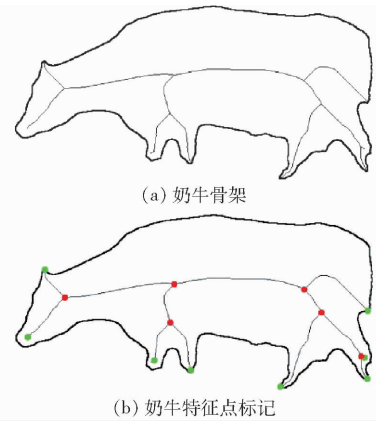


图 4 奶牛骨架特征点标记

Fig. 4 Marking of characteristic points of cow skeleton

躯干、前肢、后肢和尾巴等部件骨架的拼接,骨架树模型是反映骨架拓扑特性的树状结构^[29],通过骨架树模型可以确定目标各部分的连接情况,故可在 2.2.1 节的基础上建立骨架树模型^[30]。以奶牛轮廓中最大内切圆半径最大并且靠近目标重心的骨架特征点作为根节点,以根节点为起点遍历骨架,将与根节点直接相连的分叉点或端点作为根节点的子节点,对每个子节点用同样的方法找到各自的子节点,直到骨架上所有的分叉点和端点都在骨架树中。骨架树模型如图 5a 所示,其对应的骨架如图 5b 所示。

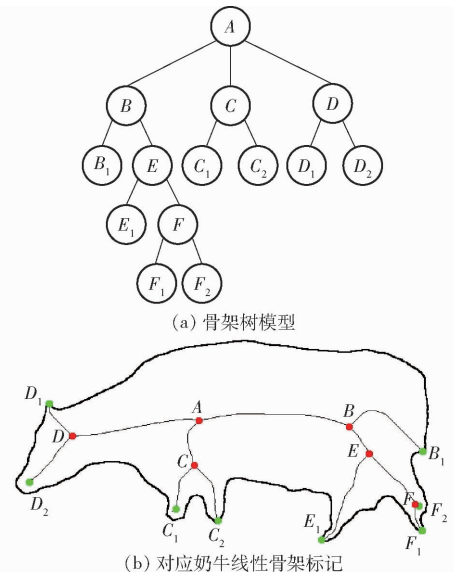


图 5 奶牛的骨架及其骨架树模型

Fig. 5 Cow skeleton and its skeleton tree model

2.2.3 头部分割与识别

将奶牛二值图像作为掩模与灰度图像进行叠加,得到奶牛目标图像如图 6a 所示。由于奶牛从右到左行走方向固定,故奶牛头部分割点为列坐标最小的一级子节点。将骨架映射到奶牛目标提取图像上,如图 6b 所示,通过骨架树模型找到所有一级子节点,列坐标最小的子节点为头部分割点,将分割点及与之相连的所有子节点组成的点视为一组数据,

提取每组数据构成区域内的最小外接矩形^[31], 由于有些图像的骨架端点未与轮廓相接, 为防止分割区域不完整, 故将最小外接矩形的 4 个坐标均增加 10 像素, 提取算法公式为

$$\begin{cases} E_{X_right} = \max(X_n) + 10 \\ E_{X_left} = \min(X_n) + 10 \\ E_{Y_up} = \max(Y_n) + 10 \\ E_{Y_down} = \min(Y_n) + 10 \end{cases} \quad (11)$$

式中 E_{X_right} ——最小外接矩形的右边界列坐标值, 像素

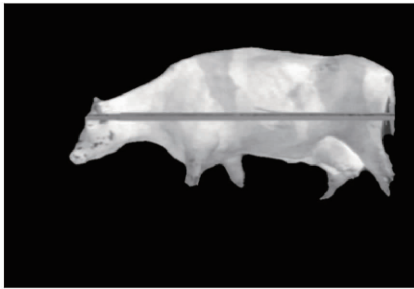
E_{X_left} ——最小外接矩形的左边界列坐标值, 像素

E_{Y_up} ——最小外接矩形的上边界行坐标值, 像素

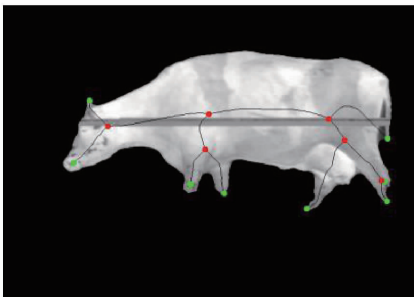
E_{Y_down} ——最小外接矩形的下边界行坐标值, 像素

X_n, Y_n ——第 n 个点的坐标值, 像素

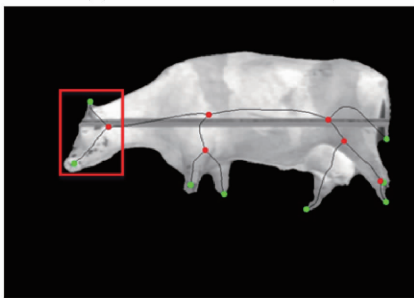
最终选取的最小外接矩形如图 6c 所示, 最小外接矩形框内的区域即为奶牛头部区域。



(a) 奶牛目标图像



(b) 奶牛骨架在目标图上的映射



(c) 奶牛头部区域定位

图 6 奶牛头部区域识别

Fig. 6 Cow head area recognition

2.3 奶牛眼睛区域定位与温度提取

在识别奶牛头部区域后, 根据头部轮廓的形状

特征对眼睛区域定位进而提取眼睛温度。如图 7a 所示, 点 O 是头部分割点, 点 A, B 分别为奶牛头部区域图像中轮廓的起点与终点。从点 A 开始逆时针遍历头部轮廓 AB , 计算点 O 与 AB 上点之间的欧氏距离

$$d_{oi} = \sqrt{(x_o - x_i)^2 + (y_o - y_i)^2} \quad (12)$$

式中 (x_o, y_o) ——分割点 O 像素坐标, 像素

(x_i, y_i) ——轮廓点 i 像素坐标, 像素

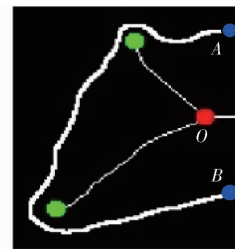
距离数组用 d_h 表示为

$$d_h = (d_{o1}, d_{o2}, \dots, d_{on}) \quad (13)$$

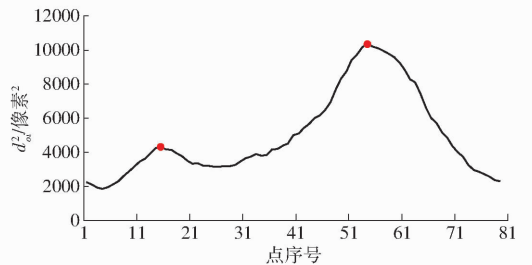
式中 n ——轮廓 AB 上的点数, 个

将 d_{oi} 的变化作为头部轮廓特征^[32-33]。

图 7a 所示奶牛轮廓其 d_{oi} 长度变化曲线如图 7b 所示。由图 7b 可以看出, 有 2 个局部最大值 d_{max1} 和 d_{max2} , 如图中红点所示。



(a) 奶牛头部轮廓



(b) 头部分割点与奶牛轮廓距离变化曲线

图 7 奶牛头部轮廓特征

Fig. 7 Cow head profile features

计算头部轮廓上与头部分割点距离等于 d_{max1} 的点定位为耳尖点, 在图 8a 中标记为点 C ; 距离等于 d_{max2} 的点定位为鼻孔点, 在图 8a 中标记为点 D 。

随机选取 200 幅奶牛头部分割图像, 人工标记奶牛眼睛中心点, 通过观察发现人工标记的奶牛眼睛中心点与耳尖点、鼻孔点间连线的距离很小, 故拟定位奶牛眼睛中心点 E 在耳尖点 C 、鼻孔点 D 间的连线上, 点 E 坐标为

$$E(x, y) = \lambda C(x, y) + (1 - \lambda) D(x, y) \quad (14)$$

式中 λ ——距离系数

$C(x, y), D(x, y)$ ——点 C, D 坐标

计算人工定位奶牛眼睛中心点 F 与点 E 距离最小时 λ , 其中点 F 与点 E 的距离为 $\|F(x, y) - E(x, y)\|_2$, $E(x, y), F(x, y)$ 分别为点 E 与点 F 的坐标, 已知 λ 后即可预测眼睛中心点 E 的位置。由

于奶牛不同姿态对眼睛定位结果有影响,所得到的 λ 值有差别,故以奶牛颈部与背部连接处的拟合直线斜率 k 为判断值^[34]。将200幅奶牛图像分为正常行走75幅、微低头85幅、低头40幅3类, $k \in [0, 0.35)$ 为正常行走奶牛, $k \in [0.35, 0.80)$ 为微低头奶牛, $k \in [0.80, \infty)$ 为低头奶牛。计算不同姿态奶牛的 λ 值,得到正常行走、微低头和低头奶牛的平均 λ 值分别为0.487、0.481和0.492,在3种姿态下利用其平均 λ 值计算点 E 与点 F 间距离最大值分别为3.64、3.81、2.16像素。结果表明点 E 与点 F 间距离较小,可将点 E 视为眼睛中心点,由式(14)定位不同姿态下奶牛眼睛中心点位置,如图8a所示。根据统计眼睛区域的平均面积,将半径设为20像素,以点 E 为圆心画圆,得到的圆圈区域定义为眼睛区域。由于奶牛眼睛区域最高温度与奶牛体温的相关性最大,选择圆内温度最高的点作为眼睛温度,在图8b中用红点标记,由式(1)进行像素值与温度的转换,即可得到眼睛温度。

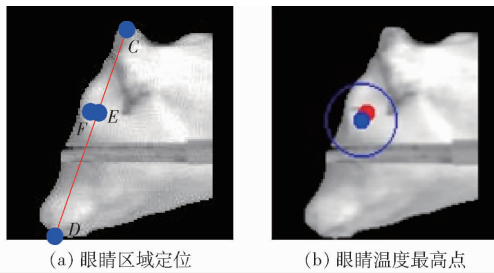


图8 奶牛眼睛温度提取

Fig. 8 Cow eye temperature extraction

3 试验与结果分析

3.1 奶牛头部区域识别试验

对40头自然行走奶牛的200幅侧视热红外图像测试头部区域识别算法,其中包括正常行走80幅、微低头80幅、低头40幅。为定量评价奶牛头部识别精度,通过统计本文算法和人工标记的奶牛头部面积 S_i 和 S_a ,计算 $S_i \cap S_a$ 与 $S_i \cup S_a$ 的比值作为识别准确率进行评价,得到本文算法正常行走、微低头、低头奶牛的头部识别准确率分别为95.6%、93.3%、98.8%,不同体态的奶牛分割结果如图9所示。奶牛在微低头状态时识别率最低,是由于微低头时奶牛的双耳明显,造成头颈部的骨架线复杂,不利于定位分割点;奶牛低头状态时识别率最高,奶牛低头时头部区域形状明显,头部骨架线简单,依据列坐标最小的分割点为头部分割点易找到头部分割点。结果表明本文算法具有较好的鲁棒性,对不同姿态的奶牛均可较好地识别奶牛头部区域。

3.2 奶牛眼睛温度检测试验

随机选择头部区域识别后的100幅热红外图像

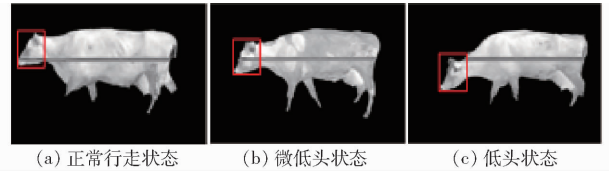


图9 不同姿态奶牛识别结果

Fig. 9 Recognition results of cows with different postures

作为样本,分别用本文奶牛眼温自动检测方法和在图像中人工手动选择区域测温方法进行试验。人工手动提取温度是利用ThermoScope软件,在图像中观察牛眼位置并在奶牛眼睛区域画圈,软件会显示区域内温度最高与最低值。为验证本文算法定位眼睛区域的准确度,将人工定位与本文算法定位的眼睛区域位置进行比较。人工定位的眼睛区域如图10a、10c所示;本文算法定位的眼睛区域如图10b、10d所示。

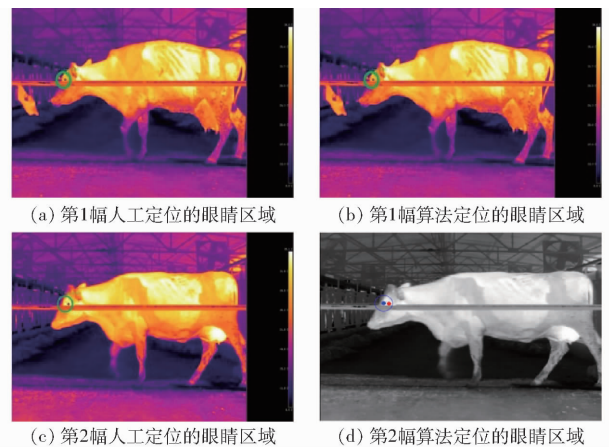


图10 人工与本文算法定位眼睛区域的效果比较

Fig. 10 Comparison of effect of artificial and the proposed algorithm in locating eye region

为对本算法检测眼睛温度的准确性进行评价,统计100个样本人工提取的眼睛温度 T_{scope} 和本文算法检测的温度 T_{eve} ,两者之间的吻合情况如图11所示,平均绝对误差为0.35℃,平均相对误差为0.38%,表明本文算法能够有效检测奶牛眼睛温度。

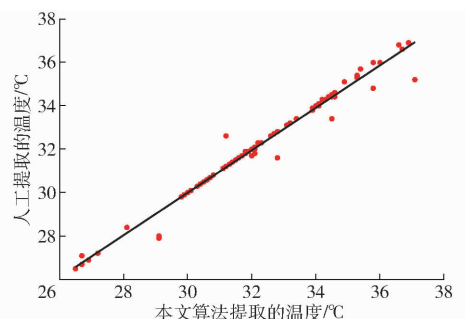


图11 人工提取眼睛温度与本文算法提取眼睛温度误差分布

Fig. 11 Error map of artificially extracted eye temperature and proposed algorithm

对误差较大样本进行分析发现,由于奶牛头部区域分割不精确,所分割的头部区域包含了颈部,导致眼睛定位误差较大,见图12a;当头部偏向一侧时头部侧面与相机成像平面角度过大,导致眼睛在头部的相对位置改变,识别区域出现较大偏差,如图12b所示;当奶牛两耳分叉角度较大时,耳尖点定位不准确,会使定位区域出现较大偏差,如图12c所示。

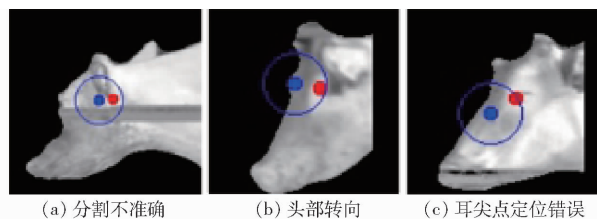


图12 眼睛温度检测误差较大图像

Fig. 12 Diagrams of large error in extracted eye temperatures

4 结论

(1)利用基于差距度量的阈值分割方法提取奶牛目标,提出一种新的阈值选取方法,该方法对低分辨率、边缘对比度低、噪声大的热红外图像可进行高效分割。

(2)基于骨架特征定义骨架特征点类别,利用骨架树模型寻找头部分割点,并进行头部分割,通过分割点坐标识别头部区域。对正常行走、微低头、低头体态的奶牛头部识别准确率分别为95.6%、93.3%、98.8%,说明该算法可准确识别不同姿态下的奶牛头部区域。

(3)提出一种自动确定奶牛眼睛位置并检测其温度的算法,检测结果表明,平均绝对误差为0.35℃,平均相对误差为0.38%,说明本文奶牛眼温自动检测方法具有较高的精度。

参 考 文 献

- [1] 刘忠超, 范伟强, 何东健. 奶牛体温检测研究进展[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2018, 60(19): 41-44.
- [2] 何东健, 刘冬, 赵凯旋. 精准畜牧业中动物信息智能感知与行为检测研究进展[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(5): 231-244.
HE Dongjian, LIU Dong, ZHAO Kaixuan. Review of perceiving animal information and behavior in precision livestock farming [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5): 231-244. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160532&flag=1&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.05.032. (in Chinese)
- [3] 胡冰川. 2018年中国奶业发展与2019年展望[J]. 农业展望, 2019, 15(3): 32-36.
HU Bingchuan. Development of China's dairy industry in 2018 and its prospect for 2019 [J]. Agricultural Outlook, 2019, 15(3): 32-36. (in Chinese)
- [4] FALKENBERG S M, RIDPATH J, VANDER LEY B, et al. Comparison of temperature fluctuations at multiple anatomical locations in cattle during exposure to bovine viral diarrhoea virus [J]. Livestock Science, 2014, 164(1): 159-167.
- [5] 杨宇阔奕, 何东健, 刘畅, 等. 基于 ZigBee 的奶牛体征监测系统设计与实现 [J]. 农机化研究, 2018, 40(9): 74-80.
YANG-YU Tianyi, HE Dongjian, LIU Chang, et al. Design of wireless sensor system for cow behavior monitoring based on ZigBee [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2018, 40(9): 74-80. (in Chinese)
- [6] ANDERSSON L M, OKADA H, MIURA R, et al. Wearable wireless estrus detection sensor for cows [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2016, 127: 101-108.
- [7] LEES A M, LEES J C, LISLE A T, et al. Effect of heat stress on rumen temperature of three breeds of cattle [J]. International Journal of Biometeorology, 2017, 62: 207-215.
- [8] 张磊, 董茹月, 侯宇, 等. 奶牛体温评价指标及测定方法研究进展 [J]. 动物营养学报, 2020, 32(2): 548-557.
- [9] METZNER M, SAUTER L C, SEEMUELLER A, et al. Infrared thermography of the udder surface of dairy cattle: characteristics, methods, and correlation with rectal temperature [J]. Veterinary Journal, 2014, 199(1): 57-62.
- [10] 沈明霞, 陆鹏宇, 刘龙申, 等. 基于红外热成像的白羽肉鸡体温检测方法 [J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(10): 222-229.
SHEN Mingxia, LU Pengyu, LIU Longshen, et al. Infrared thermal imaging-based white feather broiler body temperature detection method [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(10): 222-229. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20191025&flag=1&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.10.025. (in Chinese)
- [11] 刘又夫, 周志艳, 田麓弘, 等. 红外热成像技术在农业中的应用 [J]. 农业工程, 2019, 9(11): 102-110.
LIU Youfu, ZHOU Zhiyan, TIAN Luhong, et al. Application of infrared thermal imaging technology in agriculture [J]. Agricultural Engineering, 2019, 9(11): 102-110. (in Chinese)
- [12] HOFFMANN G, SCHMIDT M, AMMON C, et al. Monitoring the body temperature of cows and calves using video recordings from an infrared thermography camera [J]. Veterinary Research Communications, 2013, 37(2): 91-99.
- [13] GEORGE W D, GODFREY R W, KETRING R C, et al. Relationship among eye and muzzle temperatures measured using digital infrared thermal imaging and vaginal and rectal temperatures in hair sheep and cattle [J]. Journal of Animal Science, 2014, 92(11): 4949-4955.
- [14] 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.
- [15] 张鲜. 基于红外热成像技术的奶牛热应激诊断方法的研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2016.

- ZHANG Xian. Study on diagnosis method of heat stress in dairy cow based on infrared thermal imaging technology [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2016. (in Chinese)
- [16] 张旭东, 康熙, 马丽, 等. 基于热红外图像的奶牛乳房炎自动检测方法[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(增刊): 248-255. ZHANG Xudong, KANG Xi, MA Li, et al. Automatic detection method of dairy cow mastitis based on thermal infrared image [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(Supp.): 248-255. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=2019s039&flag=1&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.S0.039. (in Chinese)
- [17] SANTOS D D D, VIVIAN F, MUNCHEN A E P, et al. Infrared thermography as a method for evaluating the heat tolerance in dairy cows[J]. Revista Brasileira De Zootecnia, 2017, 46(5): 374-383.
- [18] 于天河, 郝富春, 康为民, 等. 红外图像增强技术综述[J]. 红外与激光工程, 2007, 36(增刊2): 335-338. YU Tianhe, HAO Fuchun, KANG Weimin, et al. Summarization on the infrared image enhancement technology[J]. Infrared and Laser Engineering, 2007, 36(Supp.2): 335-338. (in Chinese)
- [19] JORQUERA-CHAVEZ M, FUENTES S, DUNSHEA F R, et al. Modelling and validation of computer vision techniques to assess heart rate, eye temperature, ear-base temperature and respiration rate in cattle[J]. Animals, 2019, 9(12): 1089-1106.
- [20] SATHIYABARATHI M, JEYAKUMAR S, MANIMARAN A, et al. Infrared thermal imaging of udder skin surface temperature variations to monitor udder health status in *Bos indicus* (Deoni) cows[J]. Infrared Physics & Technology, 2017, 88(Supp.1): 239-244.
- [21] 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.
- [22] 周丽萍, 陈志, 陈达, 等. 基于改进 Otsu 算法的生猪热红外图像耳根特征区域检测[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(4): 228-232. ZHOU Liping, CHEN Zhi, CHEN Da, et al. Pig ear root detection based on adapted Otsu [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(4): 228-232. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160430&flag=1&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.04.030. (in Chinese)
- [23] 倪伟传, 许志明, 刘少江, 等. 复杂环境下的自适应红外目标分割算法[J]. 红外技术, 2019, 41(4): 357-363. NI Weichuan, XU Zhiming, LIU Shaojiang, et al. Adaptive infrared target segmentation algorithm in complex environment [J]. Infrared Technology, 2019, 41(4): 357-363. (in Chinese)
- [24] ZHAO K X, HE D J. Target detection method for moving cows based on background subtraction[J]. International Journal of Agricultural & Biological Engineering, 2015, 8(1): 42-49.
- [25] 李国强. 基于骨架特征的奶牛肢体分解方法研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017. LI Guoqiang. Decomposing of cow's body parts based on skeleton feature [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2017. (in Chinese)
- [26] 郑加宽. 基于骨架特征的形状识别方法研究[D]. 南昌: 南昌航空大学, 2014. ZHENG Jiakuan. Research on shape recognition method based on skeleton features [D]. Nanchang: Nanchang Hangkong University, 2014. (in Chinese)
- [27] 叶福玲. 一种改进的图像骨架提取算法[J]. 西昌学院学报(自然科学版), 2018, 32(3): 91-93. YE Fuling. An improved image skeleton extraction algorithm [J]. Journal of Xichang College (Natural Science Edition), 2018, 32(3): 91-93. (in Chinese)
- [28] 孟垂哲. 基于骨架特征点跟踪的动态手势识别[D]. 天津: 天津大学, 2018. MENG Chuizhe. Dynamic gesture recognition based on skeleton feature point tracking [D]. Tianjin: Tianjin University, 2018. (in Chinese)
- [29] 雷煜卿. 图像识别中骨架提取及描述方法相关研究[D]. 北京: 华北电力大学(北京), 2009. LEI Yuqing. Research on skeleton extraction and description methods in image recognition [D]. Beijing: North China Electric Power University (Beijing), 2009. (in Chinese)
- [30] BAI X, LATECKI L J, LIU W Y. Skeleton pruning by contour partitioning with discrete curve evolution [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2007, 29(3): 449-462.
- [31] 谢新华, 梁栋, 张香倩, 等. 基于图像处理的目标物体最大内接矩形面积的检测[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(17): 193-197.
- [32] 黎琳, 韩丽, 徐建国, 等. 融合语义与几何特征的人体模型结构分割[J]. 计算机应用研究, 2016, 33(1): 316-320. LI Lin, HAN Li, XU Jianguo, et al. Structural segmentation of human models based on semantic and geometric characteristics [J]. Application Research of Computers, 2016, 33(1): 316-320. (in Chinese)
- [33] HE X, YUNG N H C. Corner detector based on global and local curvature properties[J]. Optical Engineering, 2008, 47(5): 47-59.
- [34] 宋怀波, 姜波, 吴倩, 等. 基于头颈部轮廓拟合直线斜率特征的奶牛跛行检测方法[J]. 农业工程学报, 2018, 34(15): 190-199. SONG Huaibo, JIANG Bo, WU Qian, et al. Detection of dairy cow lameness based on fitting line slope feature of head and neck outline [J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(15): 190-199. (in Chinese)