

基于加速度传感器的种公羊运动行为识别

张曦宇 武佩* 宣传忠 杨建宁 刘艳秋 郝敏

(内蒙古农业大学 机电工程学院/内蒙古自治区草业与养殖业智能装备工程技术研究中心,呼和浩特 010018)

摘要 为解决种公羊运动行为的识别依赖饲养员观察耗时耗力的问题,本研究设计了一种基于加速度传感器的种公羊运动行为识别系统。该系统利用无线加速度传感器节点采集种公羊的运动行为信息,对行为信息进行实时采集和无线传输,分析传感器4种部署方案下(背部、颈部、前腿、后腿)采集到的羊行为数据,并利用K均值聚类法和区间阈值分类法进行分类。试验表明传感器的4种部署方案中将传感器部署在种公羊的背部靠近前腿处得到的加速度数据最稳定。但K均值聚类法平均识别率为77.05%,识别效果差,因此又提出了区间阈值分类法,通过对加速度数据识别测试获得区间阈值,对静立、行走、奔跑行为的识别率分别达到95.96%、95.78%和96.89%,3种行为的平均识别率达到96.21%。本研究所获得的运动行为数据可应用于种公羊的运动量补充和健康状况监测。

关键词 种公羊;运动行为;加速度传感器;K均值聚类;区间阈值分类

中图分类号 TP274;S826

文章编号 1007-4333(2018)11-0104-11

文献标志码 A

Recognition of the movement behavior of stud rams based on acceleration sensor

ZHANG Xiyu, WU Pei*, XUAN Chuanzhong, YANG Jianning, LIU Yanqiu, HAO Min

(School of Mechanical and Electrical Engineering/Inner Mongolia Engineering Research Center for Intelligent Facilities in Grass and Livestock Breeding, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract In order to solve the problem recognizing stud rams' movement behaviors depends on feeders' observation is time consuming, a rams' movement behavioral identification system with acceleration sensor was designed. In the system, a triaxial acceleration sensor was employed to collect the rams' movement data in real time, and the data was wirelessly transmitted. The system also could obtain the characteristics of movement behaviors by analyzing the data collected under four deployment schemes of sensor (the sensor fixed on the back, neck, foreleg and hindleg of ram), and classify the movement behaviors by K-means clustering algorithm and interval threshold algorithm. The results showed that the sensor fixed on the back near the forelegs of ram could obtain the most stable acceleration data in four deployment scenarios. The average recognition rate of K-means clustering algorithm was 77.05% and its recognition was not good. So this research presented interval threshold algorithm. The interval threshold was obtained by indentifying and testing the acceleration data. The recognition rates of standing, walking and running were 95.96%, 95.78% and 96.89%, respectively. The average recognition rate for the three movement behaviors reached 96.21%, showing that the movement behaviors data obtained by analysis could be applied to guidance in supplement of stud rams' exercise and monitor their health condition.

Keywords stud ram; movement behaviors; acceleration sensor; K-means clustering algorithm; interval threshold algorithm

收稿日期: 2018-01-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(11364029);内蒙古自治区自然科学基金项目(2017MS0606)

第一作者: 张曦宇, 硕士研究生, E-mail: 348422386@qq.com

通讯作者: 武佩, 教授, 博士生导师, 主要从事农业工程测试与控制研究, E-mail: jdwp@imau.edu.cn

近年来,内蒙古自治区过度放牧的养羊方式导致草场生态环境严重恶化。为了恢复生态环境,国家制定了禁牧、休牧、轮牧等政策,规模化设施养殖方式成为了内蒙古自治区养羊业的发展趋势^[1]。在设施养殖模式下,羊的自发运动时间非常少,运动量明显下降,加之圈舍内通风不良和空气污浊,导致免疫力低下,极易患上肠胃方面的疾病^[2]。而羊对疾病的耐受能力强,患病初期发病症状表现不明显,但患病羊的精神状态、运动行为与健康羊存在区别,需要饲养员的细心观察。健康羊精神饱满,行动敏捷,喜爱游走,嬉闹时追逐奔跑;而患病羊精神萎靡不振,通常出现无目呆立,行动迟缓,病情严重时常卧倒在一旁^[3-6]。羊的静立、行走、奔跑 3 种运动行为的发生频次及持续时间可以反应羊的精神状态,从而预测其健康状况。在规模化养羊场,种公羊的数量少,个体价值高,一只进口的纯种公羊需要经过遥远的路途空运至此,单价高达几万元人民币,其好坏与提高羊群品质、外形、生产性能和繁殖育种有着密不可分的关系^[7-9]。由于舍饲的饲养方式使种公羊的运动量明显下降,导致种公羊性欲减退,精液质量下降,影响了种公羊的繁殖性能^[10]。通过人工方式监测种公羊的运动行为费时费力,而利用智能化方法对种公羊的静立、行走和奔跑行为进行监测:一方面可以实现对种公羊运动量的评估,根据需要人为增加或减少其运动量,从而使种公羊维持良好的生理机能,进一步提高其繁殖性能;另一方面通过自动化方法掌握种公羊的运动行为状态,在大大减轻饲养员工作强度的同时,可以根据种公羊 3 种运动行为的发生频次及持续时间的显著变化判断其生理状态,并及时采取适当的应对措施,以保证其拥有健康的生存状态。利用自动化方法对于种公羊的静立、行走、奔跑 3 种运动行为进行实时有效的监测和识别,对于提高养殖人员的工作效率、实现种公羊的健康状况监测、提高羊群品质具有重要意义,同时为实现羊的福利化精细化养殖提供了依据。

现有的动物运动行为识别方法主要有机器视觉法和传感器检测法^[11-15]。对于动物行为的机器视觉识别法,Cangar 等^[16]通过对 8 头临产母牛进行持续 24 h 的视频监控,分析获得顶视图几何中心点的横纵坐标、行走轨迹、行走距离、主轴的方向、身体的长宽比例等数据,对临产母牛的运动行为和姿态进行实时的监测研究,实现站立、躺卧、采食和饮水行为的分类识别。已有研究采用视频图像处理的相关技

术对猪的趴卧、行走、低头站立、抬头站立等姿态行为进行识别分类^[17-19]。相比机器视觉法,传感器监测方法更具灵活性。尹令等^[20-24]都利用三轴加速度传感器,采用无线数据传输的方式对牛和猪进行了运动行为的监测研究,将传感器佩戴在被测对象的颈部,对其走、静止、跑等基本的运动行为进行了识别和分类。Watanabe 等^[25-30]利用三轴加速度传感器对牛和猪的运动行为进行了监测,采用二次判别分析、分类树、多元动态线性模型及多进程卡尔曼滤波等多种数据分析处理方法对躺卧、站立、行走等运动行为进行了识别和分类。这些学者对家畜运动行为的识别,为提高家畜的健康养殖水平奠定了基础。

综上所述,国内外主要以牛和猪作为研究对象,未见种公羊的相关研究。机器视觉方法对监测环境要求严格,更注重对被测对象的形态、姿态、运动轨迹等细节方面的研究,对于大幅度动作的检测和记录,灵活性相对较差,若想实现对圈养模式下的家畜个体进行监测,需引入目标检测和跟踪识别等相关技术,实现难度较大。传感器监测方法更具灵活性,较易实现数据的实时连续采集,更适合对群养模式下的家畜个体进行大幅运动行为的监测。本研究拟以设施养殖的萨福克种公羊作为对象,利用三轴加速度传感器采集羊的行为数据(包括静立、行走、奔跑),为预测种公羊的健康情况和运动量补充提供运动行为数据。

1 试验设备与数据采集方法

1.1 试验总体方案

种公羊运动行为试验系统方案如图 1 所示。三轴加速度传感器采集种公羊的运动行为信息,通过 ZigBee 无线数据发送模块将数据发送至无线数据接收模块,再通过 USB 接口将数据传输至计算机,计算机对数据进行存储、分析处理,最终显示羊运动行为的识别结果。

1.2 试验设备设计

试验设备主要为三轴加速度传感器节点,该节点的设计是系统中的关键内容,其设计的好坏将直接影响到采集数据的质量。羊的警惕性较强,在受到外界刺激的情况下,较容易产生强烈的应激反应,若要实现实时、连续地采集群养模式下单个羊个体的运动行为,采集设备必须具备灵活、稳定、轻便的特点。为满足上述要求,本系统采用可穿戴式无线三轴加速度传感器采集羊的运动行为信息。将三轴

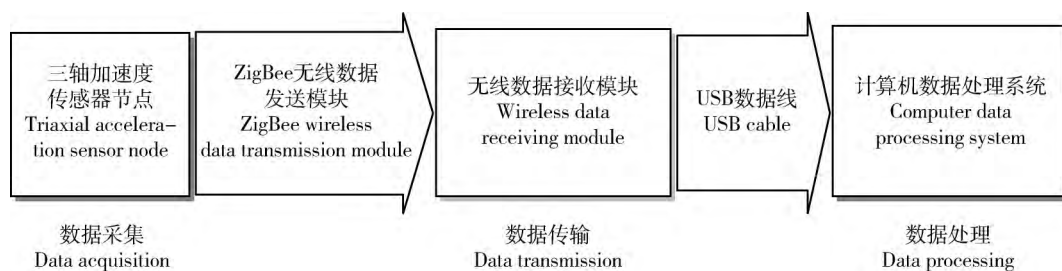


图1 种公羊运动行为试验方案

Fig. 1 Test scheme for movement behaviors of stud ram

加速度传感器模块、控制模块、数据存储模块以及供电模块集成在小而轻的盒子中,并利用绑带将传感器固定在羊的身上,实现运动行为信息的采集。

传感器节点设计如图2所示,由5 V锂电池供电,采用CC2530F256控制器,该控制器结合了RF收发器,增强型8051CPU以及ZigBee协议栈,同时具有256 KB的闪存,可以实现数据的实时采集、无线传输、快速存储,无障碍时最大传输距离为500 m,实际应用于羊场时,由于羊的身体等存在遮挡,传输距离约为150 m左右。三轴加速度传感器芯片采用ADXL325,其尺寸小、功耗低,可以测量种公羊静态和动态加速度,满量程加速度测量范围为 ± 5 g,冲击极限为1 000 g,精度6 mg,单电源供电1.8 V至3.6 V。三轴加速度传感器的采样频率为200 Hz,数据传输频率为60 Hz,当空旷地传输距离超过150 m时,有数据丢包现象发生,故为避免数据丢包情况,在试验过程中始终保持数据接收模块与发送模块的距离不超过150 m。本试验中ADXL325使用3.3 V供电电源,装入RT9161电源管理芯片,对5 V输入电源进行转化,使其输出3.3 V供电电源对ADXL325模块供电。加速度传感器节点的采集数据状态由指示灯提示,按下按钮,指示灯1常亮,传感器处于待采集状态;开始采集数据时,指示灯2处于闪烁状态。整个节点由密闭防水盒封装,最终固定在制作好的绑带上,形成可穿戴式数据采集节点。

1.3 数据采集方法

试验地点为内蒙古农业大学海流图科技园区的肉羊养殖基地,选取4只身体健康、体态相当的成年萨福克种公羊作为试验对象,其中随机选择2只作为试验组,其余2只作为对照组,用来判断萨福克种

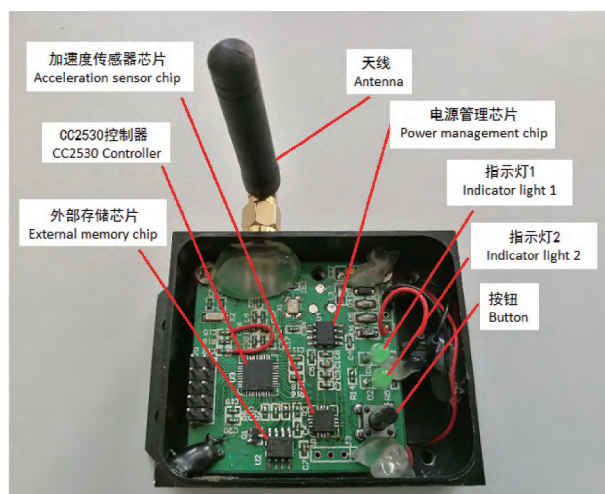


图2 传感器节点设计

Fig. 2 Design of sensor node

公羊在佩戴运动行为采集节点后,是否出现行为异常。固定传感器后前1 d作为羊的适应期,不进行采集数据,所有试验数据在固定传感器1 d后进行采集。

本系统利用加速度传感器采集种公羊的运动加速度数据,通过分析加速度数据对种公羊的运动行为进行识别和分类。所得不同行为加速度数据的准确性是正确监测和识别羊只运动行为的基础,加速度传感器的部署方案对于采集数据的可靠性起着决定性作用。本试验通过将传感器固定在同只萨福克种公羊的颈部、背部靠近前腿处、前腿、后腿4种部署方案,分别获取羊的静立、行走、奔跑3种行为的加速度数据,并对数据进行分析,对比4种部署方案获取数据的可靠性。将传感器固定在萨福克羊的颈部、背部靠近前腿处、前腿、后腿,固定方式和X、Y、Z轴指向见图3。

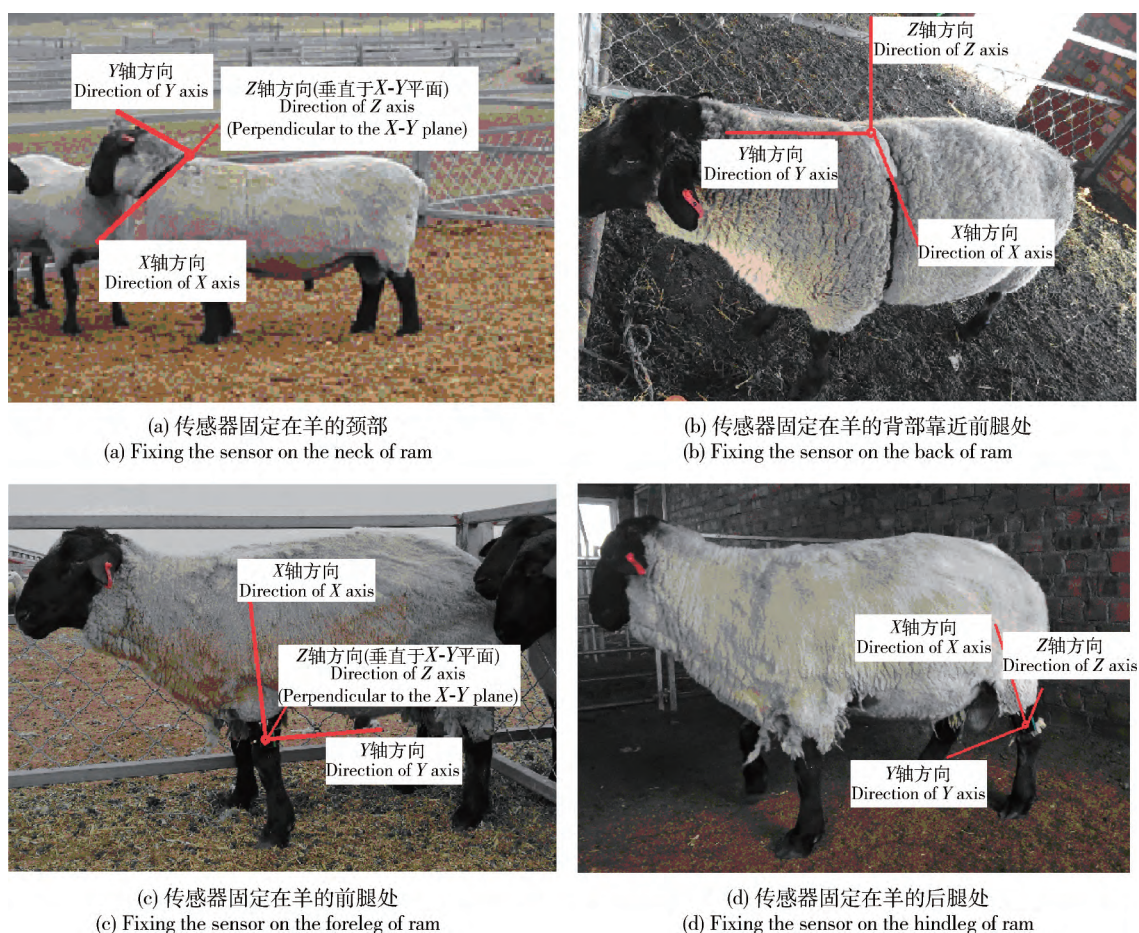


图 3 数据采集传感器的部署方案

Fig. 3 Deployment schemes of data acquisition sensors

通过试验观察,萨福克种公羊在佩戴运动行为采集节点初期,出现身体抗拒、踢腿、蹭栏杆等应激反应,佩戴传感器 4 h 左右,应激反应基本消除,但传感器佩戴于腿部时造成萨福克种公羊走路异常现象仍然存在,佩戴传感器 1 d 后,萨福克种公羊完全适应佩戴数据采集节点,所有应激反应及异常现象全部消除。

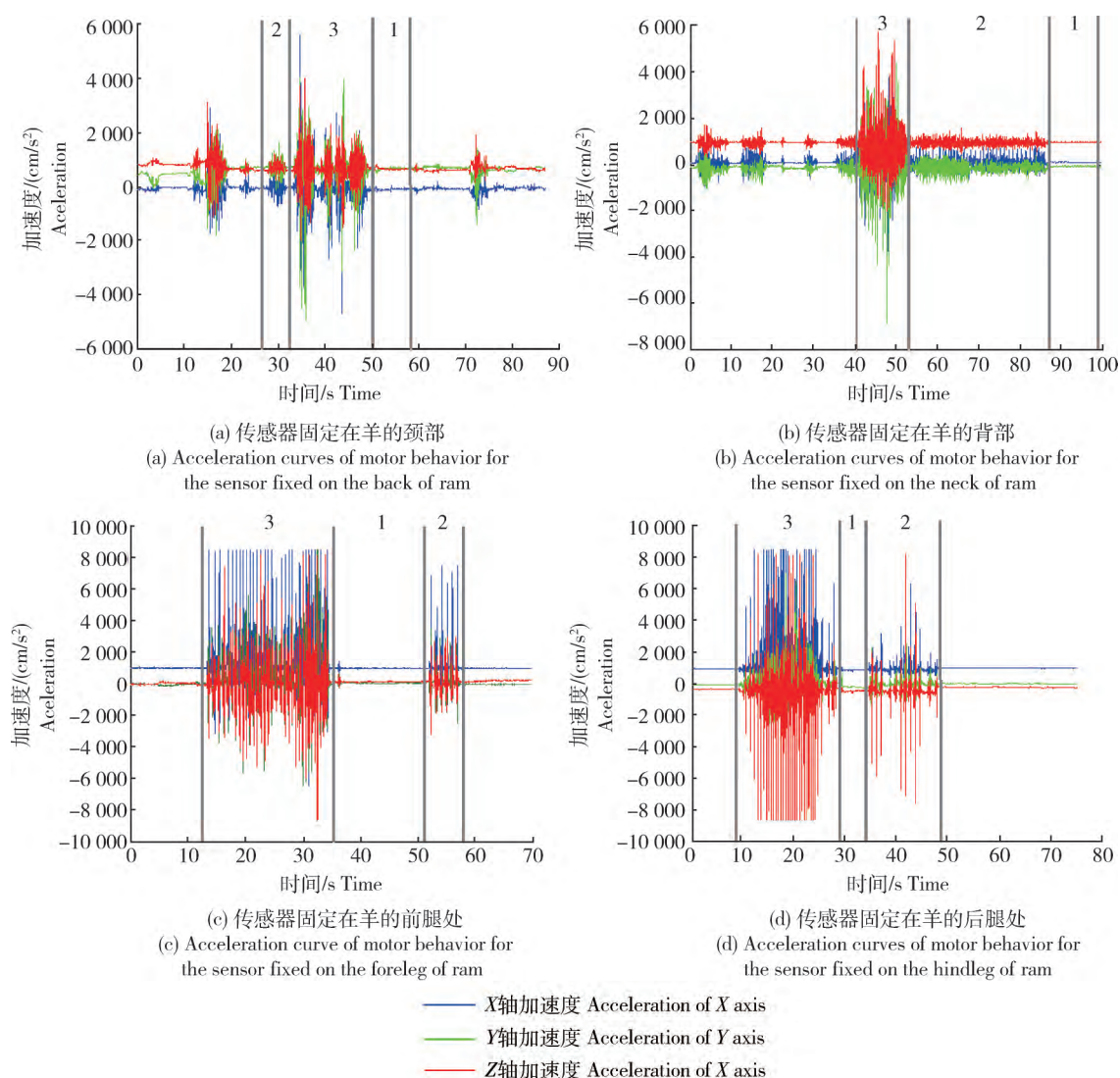
2 种公羊运动行为数据的处理

2.1 不同部署方案下传感器采集数据

传感器在羊的颈部、背部靠近前腿处、前腿和后腿 4 种部署方案下,采集到种公羊的运动行为三轴加速度数据分别见图 4。

总结 4 种部署方案的加速度数据采集过程,通过对比 4 种部署方案采集到的加速度数据可知,对

于传感器节点固定在种公羊的前腿和后腿处,对羊的应激较大,且行走和奔跑行为数据的特征差异不明显,程序识别难度大;相比之下背部靠近前腿处和颈部节点采集到的加速度数据相对平稳,但将传感器固定在颈部时,由于传感器倾斜固定,导致羊运动时在上下、前后、左右产生的加速度数据方向与传感器 X、Y、Z 轴的轴向存在一定的偏角,使得行走、奔跑行为加速度数据波动阈值小于实际范围,对识别精度产生了影响。背部靠近前腿处节点采集到的加速度数据平稳,对羊的应激最小,且传感器平直固定,羊在运动时产生的加速度数据方向与传感器三轴的方向基本重合,3 种行为加速度数据特征存在明显差异,数据采集效果较好,因此只保留传感器节点在种公羊背部靠近前腿处的试验数据。



1. 静立行为; 2. 行走行为; 3. 奔跑行为。

1. standing behavior; 2. walking behavior; 3. running behavior

图4 4种部署方案下运动行为加速度曲线

Fig. 4 Movement behavior acceleration curves of 4 deployment schemes

2.2 行为数据处理

本研究利用 MATLAB 软件, 以将加速度传感器部署在羊的背部靠近前腿处采集到的数据为基础, 对静立、行走、奔跑行为的加速度数据进行预处理, 3 种行为的加速度数据曲线分别见图 5。

2.2.1 求取合加速度

从图 5(a)可以看出, 根据背部靠近前腿处的传感器固定方式, 静立行为三轴加速度曲线的 Z 轴数据接近于 980 cm/s^2 , X 轴和 Y 轴加速度数据接近于 0 cm/s^2 。通过试验可知, 若传感器倾斜放置时, 即传感器采集到的运动行为加速度数据相对于 X、

Y、Z 轴的轴向存在倾角, 三轴加速度曲线将偏离理想位置。在试验过程中, 由于羊在不同时间点发生同种行为时会出现身体不同程度的微微倾斜, 造成同种行为的三轴加速度曲线位置在不同时间节点发生微小变化, 对行为识别造成影响。为了降低由传感器节点的部署问题对运动行为数据造成的影响, 将三轴加速度传感器采集到的 3 维数据合成为 1 维数据, 来反映种公羊运动的整体情况。用 A 表示合加速度值, A_X 、 A_Y 、 A_Z 分别表示 X、Y、Z 轴的加速度, 其计算公式为:

$$A = \sqrt{A_X^2 + A_Y^2 + A_Z^2} \quad (1)$$

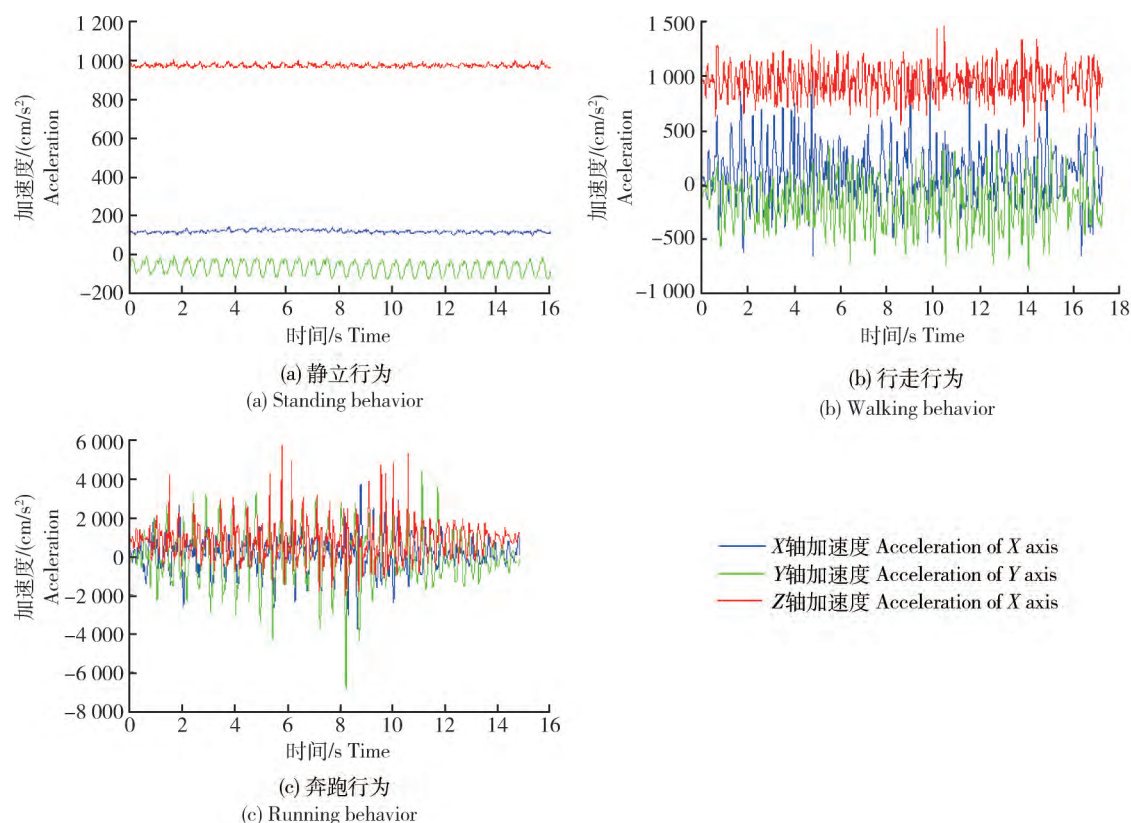


图 5 传感器固定在羊背部的运动行为加速度曲线

Fig. 5 Acceleration curves of movement behavior for the sensor fixed on the back of ram

2.2.2 降噪处理

由于羊的身体抖动、喘息等因素的影响,采集到的加速度数据包含相对于运动行为的干扰数据,为了提高识别效果,利用 MATLAB 软件,采用小波消噪法对采集到的加速度数据做降噪处理。

在降噪处理过程中,选择 sym 小波系作为小波基函数,通过测试,sym 7 小波的消噪效果最好。在小波分解中,分解层数选的越大,使得噪声信号和原始信号的特征越明显,更有利于消噪,但同时分解层数越大,在小波重构时越易失真,同时考虑以上 2 种因素,将小波的分解层数选为 3 层。根据信号特点,自动获取阈值后,进行阈值函数的选取,常用的阈值函数有硬阈值函数和软阈值函数,其中软阈值估计得到的信号整体连续性较好,不会使估计信号产生附加震荡,故选择软阈值函数,软阈值函数表达式如下:

$$w_{\lambda} = \begin{cases} [\text{sgn}(w)](|w| - \lambda) & |w| \geq \lambda \\ 0 & |w| < \lambda \end{cases} \quad (2)$$

式中: w 表示小波系数; λ 表示给定阈值。

2.2.3 轮廓线提取

根据所采集到的加速度数据特点,对数据添加滑动窗同时进行最大值提取,遍历所采集到的加速度数据,最终达到提取上部轮廓线的目的。滑动窗口的长度选择影响轮廓线提取的效果,窗口长度过长可能会包含 2 种运动行为加速度曲线的过渡段,导致丢失运动行为各自的特征幅值信息,长度过短则会包含最小幅值信息而达不到上部轮廓线提取的目的。通过试验观察,羊的 1 种自发运动行为持续时间最短为 1 s,加速度信息采样频率为 60 Hz,将窗口长度确定为 60,经试验证明,可以实现在保留各个运动行为特征幅值信息的同时提取上部轮廓线的目的。

通过以上数据分析与处理,得到将传感器部署在羊的背部获取的静立、行走、奔跑 3 种行为的数据处理结果分别见图 8。

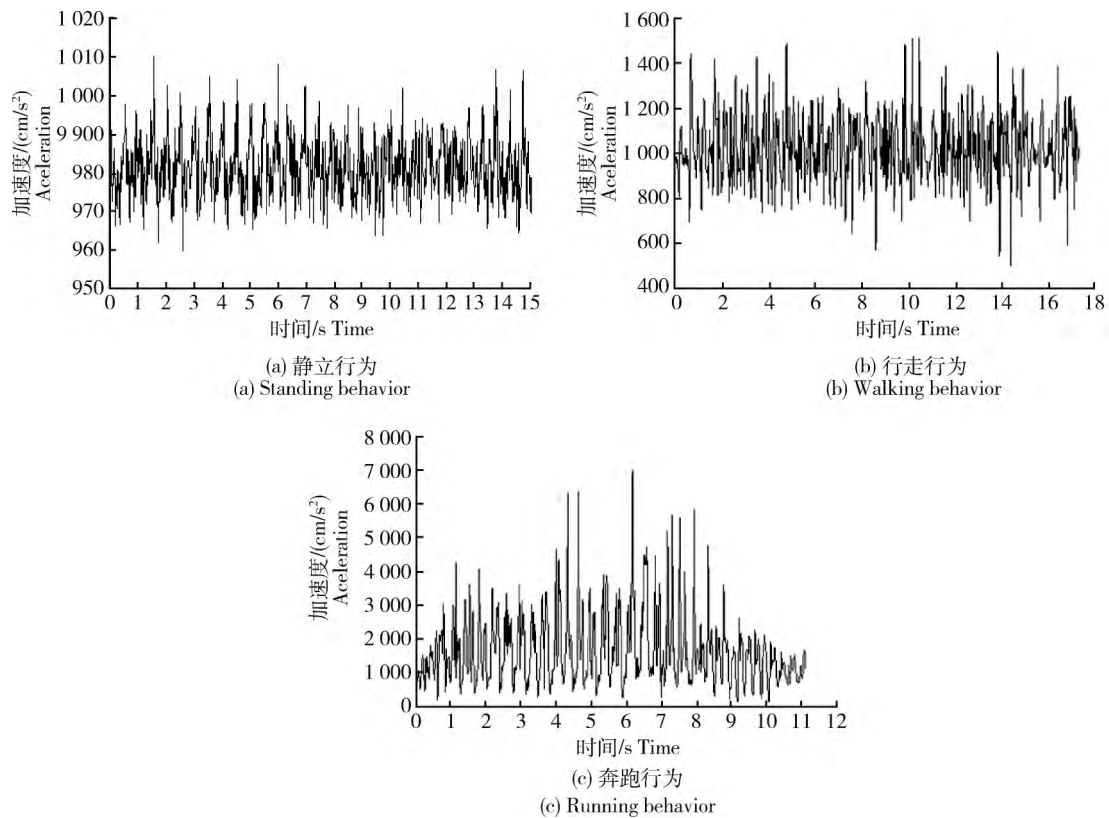


图6 3种行为合加速度数据曲线

Fig. 6 Acceleration curve of the 3 behaviors

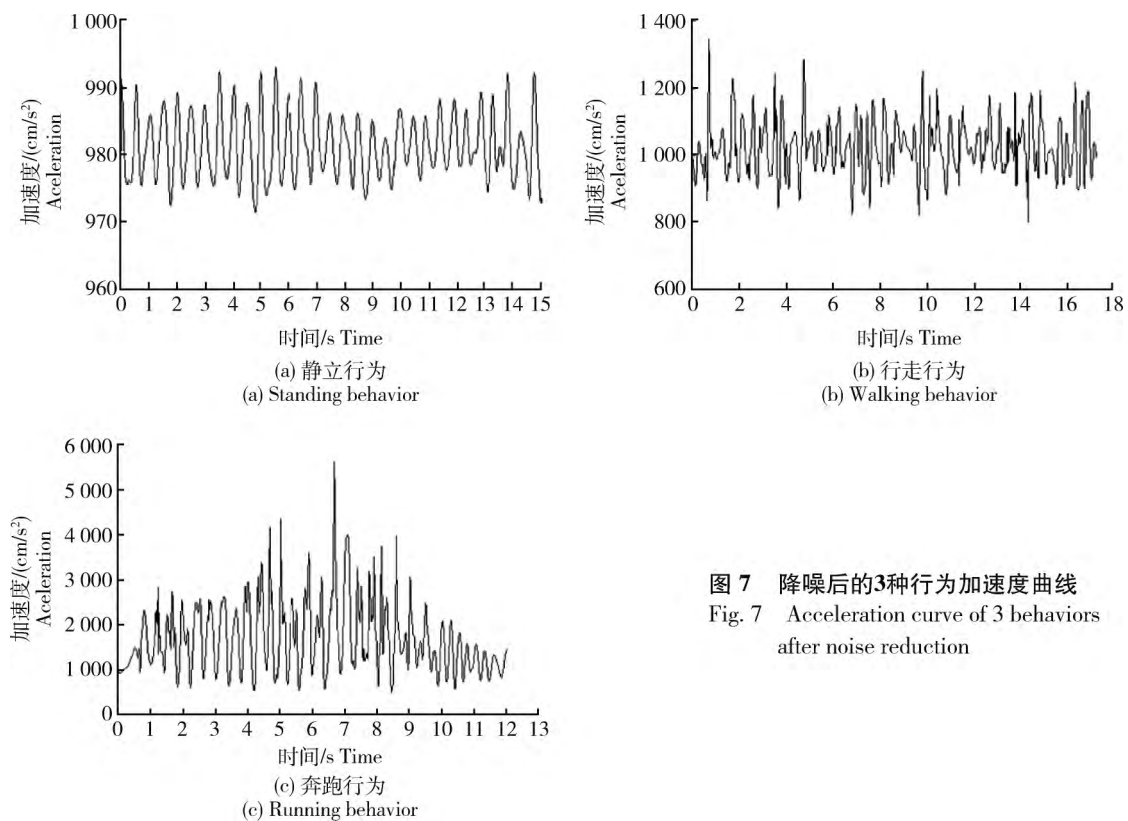


图7 降噪后的3种行为加速度曲线

Fig. 7 Acceleration curve of 3 behaviors after noise reduction

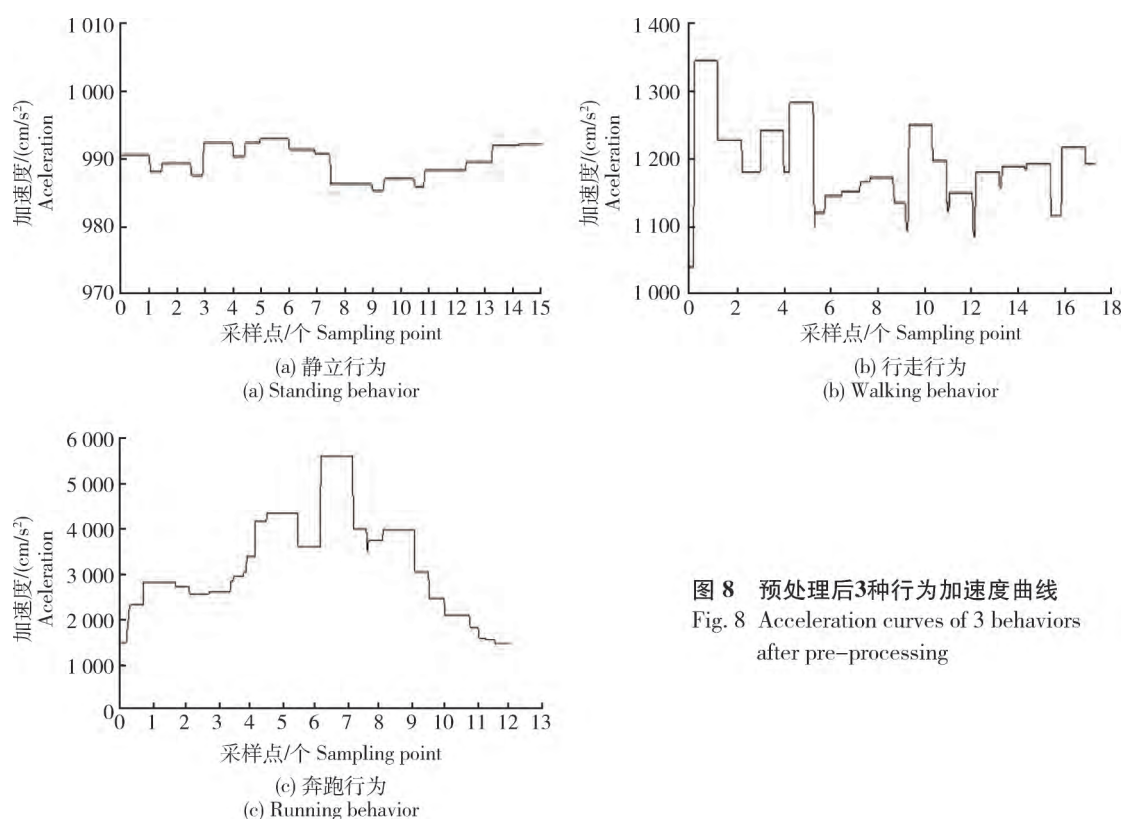


图 8 预处理后3种行为加速度曲线
Fig. 8 Acceleration curves of 3 behaviors
after pre-processing

3 种公羊运动行为的分类识别

3.1 基于 K 均值聚类的种公羊运动行为识别分类

K 均值聚类算法是根据样品空间相似性进行度量的一种聚类方法,它能够使聚类域中所有样品到聚类中心距离的平方和最小,从而将具有相似特征的样本聚为一类。具体计算流程如下:

1) 样本初始化:随机选取 k 个代表样本作为初始聚类中心, $C_{11}, C_{21}, \dots, C_{k1}$ (上标代表迭代次数, k 代表聚类中心的个数),根据动作发生的幅度大小分类,种公羊的日常运动行为主要有静立、行走、奔跑 3 种行为, $k=3$ 。

2) 样本初始划分:求取样本集中每个样本 X_i 与初始聚类中心的欧式距离 $D(X_i, C_{jm})$ 对样本进行初

始划分,若满足 $D(X_i, C_{jm}) = \min\{D(X_i, C_{km})\}$ (m 为迭代次数), $i = 1, 2, \dots, n$, 则该样本 X_i 属于聚类中心为 C_{jm} 的样本集和 S_{jm} , 即 $X_i \in S_{jm}$ 。

3) 重新计算聚类中心:在步骤 2 的划分集合的基础上,重新计算聚类中心,使得不同类别中每个样本到新的聚类中心的距离之和最小,其计算公式为:

$$C_j^{m+1} = \frac{1}{n_j} \sum_{X \in S_j^m} X \quad (j = 1, 2, \dots, k) \quad (3)$$

4) 如果经过步骤 3 计算得到的聚类中心满足 $C_{jm+1} = C_{jm}$, 则数据集已收敛,计算结束,否则继续执行步骤 2 和步骤 3,直到满足上式为止。

利用 K 均值聚类算法对背部靠近前腿处节点采集到的运动行为数据进行识别分类,采样频率为 60 Hz,分类结果见表 1。

表 1 基于 K 均值聚类算法的运动行为分类结果

Table 1 Results of the classification of motor behavior based on K-means clustering algorithm

行为类别 Behavior	采样点总数/个 Sampling number	正确识别点数/个 Correct recognition number	识别率/% Recognition rate	平均识别率/% Average recognition rate
静立 Standing	53 136	52 775	99.32	77.05
行走 Walking	43 850	22 784	51.96	
奔跑 Running	10 464	8 359	79.88	

从分类结果来看,根据本文的数据分析方法,基于 K 均值聚类算法进行运动行为的识别分类,对于静止行为具有较好的识别效果,识别率可达 99.32%,但对于运动行为的误判样本较多,识别率较低。可见, K 均值聚类算法对于行走和奔跑行为的识别效果不理想。

3.2 基于区间阈值分类的种公羊运动行为识别分类

本研究提出利用不同运动行为加速度数据的幅值特点,采用区间阈值分类方法对种公羊的运动行为进行分类^[31]。区间阈值分类,即将种公羊运动行为的识别与分类通过一个阈值区间判别器来实现。加速度信号经过一个判决器,通过与区间阈

值进行匹配,将运动行为分为静立、行走、奔跑 3 类,判决器中 3 种行为阈值区间的选择经过反复测试来确定。对于背部靠近前腿处部署方案,不同行为的加速度信号波动幅值存在明显差异。经过对数据进行分析处理得到加速度数据的上部轮廓线,3 种行为在具有明显幅值差异的基础上,表现出相对清晰的阈值界限,经处理后 3 种运动行为加速度信号见图 7。对大量数据进行反复测试试验,确定静立行为阈值区间为 $A \leq 1\ 050$,行走行为阈值区间 $1\ 050 < B \leq 1\ 800$,奔跑行为阈值区间 $C > 1\ 800$ (其中 A 、 B 、 C 分别表示静立、行走、奔跑行为的阈值区间)。

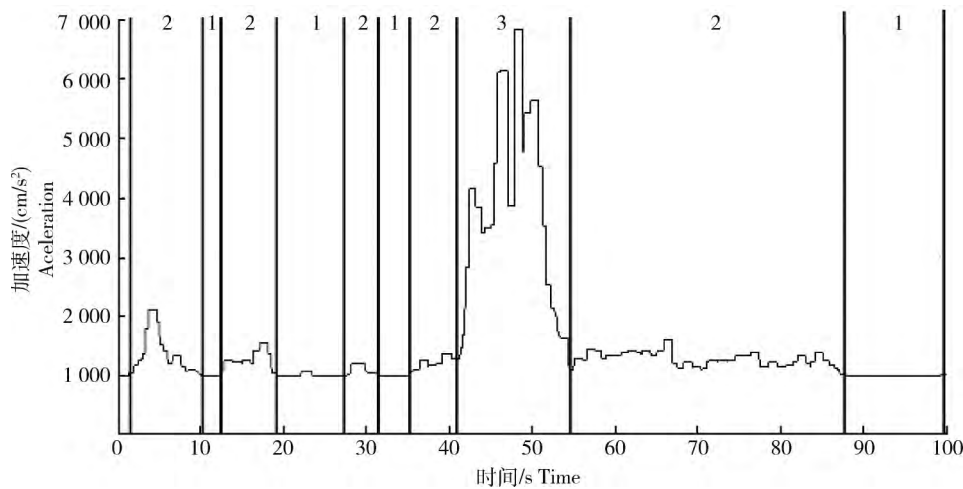


图 9 处理后 3 种运动行为加速度数据曲线

Fig. 9 Acceleration curves of motor behavior after treatment

本研究通过 MATLAB 软件实现对种公羊的运动行为进行区间阈值分类,区间阈值分类法在传感

器节点背部靠近前腿处部署方案下对于 3 种运动行为的分类结果见表 2。

表 2 基于区间阈值算法的运动行为分类结果

Table 2 The results of the classification of motor behavior based on interval threshold algorithm

行为类别 Behavior	采样点总数/个 Sampling number	正确识别点数/个 Correct recognition number	识别率/% Recognition rate	平均识别率/% Average recognition rate
静立 Standing	53 136	50 989	95.96	
行走 Walking	43 850	41 999	95.78	96.21
奔跑 Running	10 464	10 139	96.89	

由表 1 和表 2 的分类结果可知,对于传感器节点的背部靠近前腿处部署方案,基于区间阈值分类算法对于种公羊的静立、行走、奔跑行为具有较高的识别率,其 3 种行为的平均识别率高于 K 均值聚类结果的 19.16%。可见,将传感器部署在羊的背部

靠近前腿处采集到的运动行为数据最理想。

4 结 论

1) 本研究设计了一套基于三轴加速度传感器的种公羊运动行为识别与分类系统,为种公羊的运动

量补充和健康状况监测提供基础数据。

2) 考虑到种公羊的好动性及设施养殖区域的开阔性, 本试验采用人工拍摄视频及目测观察法实时记录种公羊的运动行为作为试验验证, 验证方法有待改进。

3) 在数据采集集中, 对比传感器的 4 种部署方案可得, 将传感器部署在种公羊的背部靠近前腿处, 在采集加速度数据时对羊的应激较小, 运动行为数据不易受到其他微动行为的干扰, 所得到的 3 种行为加速度数据特征差异明显, 经识别分类后, 准确率最高。对于大幅度运动行为的识别分类, 将传感器部署在羊的背部靠近前腿处是一种较好的部署方案。

4) 在数据分析中, 首先对数据进行预处理, 达到提取加速度数据上部轮廓线的目的, 然后分别采用 K 均值聚类法和区间阈值分类法进行行为分类。数据分析结果显示, K 均值聚类法对于静立行为具有良好的识别效果, 准确率可达 99.32%, 但对于行走与奔跑行为识别效果不理想; 区间阈值分类法对于静立、行走、奔跑行为的平均识别率可达 96.21%, 可以较好地实现种公羊运动行为的识别分类。

参考文献 References

- [1] 陈海燕, 肖海峰. 禁牧政策对我国养羊业的影响及对策[J]. 农业经济与管理, 2013(3): 62-68
Chen H Y, Xiao H F. Countermeasures and influence on sheep industry under grazing prohibition policy [J]. *Agricultural Economy and Management*, 2013(3): 62-68 (in Chinese)
- [2] 臧强, 李保明, 施正香, 赵亚军, 韩晶. 规模化羊场羊舍夏季环境与小尾寒羊的行为观察[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9): 183-185
Zang Q, Li B M, Shi Z X, Zhao Y J, Han J. Summer environment and behavior of Chinese little fat-tailed Han sheep on intensive sheep farm [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(9): 183-185 (in Chinese)
- [3] 尔古木支, 米高权, 吉拉卡机. 病羊的识别方法[J]. 山东畜牧兽医, 2013(7): 90-91
Ergumuzhi, Migaoquan, Jilakaji. Identification of sick sheep [J]. *Shandong Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*, 2013(7): 90-91 (in Chinese)
- [4] 梁振杰, 付晓林. 病羊与健康羊如何识别[J]. 中国动物保健, 2016, 18(11): 88-88
Liang Z J, Fu X L. How to identify sick sheep and healthy sheep [J]. *China Animal Health*, 2016, 18(11): 88-88 (in Chinese)
- [5] 宋志伟. 如何从外观识别病羊[J]. 河南畜牧兽医: 综合版, 2016, 37(2): 24-24
Song Z W. How to identify sick sheep from the outside [J]. *Henan Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2016, 37(2): 24-24 (in Chinese)
- [6] 杨章华. 试论病羊的简易识别及羊场疫病防控要点[J]. 甘肃畜牧兽医, 2016, 46(24): 98-99
Yang Z H. Discussion on the simple identification of diseased sheep and the main points of prevention and control of sheep disease [J]. *Gansu Animal and Veterinary Sciences*, 2016, 46(24): 98-99 (in Chinese)
- [7] 张晓娜, 李兴如. 舍饲羊群易出现的问题及其防治方法[J]. 养殖技术顾问, 2014(11): 34
Zhang X N, Li X R. Easily emerged problems and prevention methods of herding sheep [J]. *Technical Advisor for Animal Husbandry*, 2014(11): 34 (in Chinese)
- [8] 程岩. 浅议种公羊最佳使用策略[J]. 中国畜牧兽医文摘, 2012(11): 66
Cheng Y. Discuss on the best ram use strategies [J]. *Chinese Abstracts of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2012(11): 66 (in Chinese)
- [9] 冯秀丽. 种公羊饲养技术[J]. 畜牧与饲料科学, 2013, 34(3): 72-72
Feng X L. Ram breeding technology [J]. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2013, 34(3): 72 (in Chinese)
- [10] 臧强. 规模化养羊舍饲环境及工程设施与羊行为关系的研究 [D]. 中国农业大学, 2006
Zang Q. Study on sheep behavior's relationship with the feeding environment and engineering facilities of large-scale sheep raising [D]. *China Agricultural University*, 2006 (in Chinese)
- [11] 沈明霞, 刘龙申, 闫丽, 陆明洲, 姚文, 杨晓静. 畜禽养殖个体信息监测技术研究进展[J]. 农业机械学报, 2014(10): 245-251
Shen M X, Liu L S, Yan L, Lu M Z, Yao W, Yang X J. Review of monitoring technology for animal individual in animal husbandry [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014(10): 245-251 (in Chinese)
- [12] 闫丽, 邵庆, 席桂清. 家畜行为智能监测系统研究进展[J]. 家畜生态学报, 2014, 35(12): 6-10
Yan L, Shao Q, Xi G Q. Research progress of livestock behavior intelligent monitoring system [J]. *Acta Ecologiae Animalis Domastici*, 2014, 35(12): 6-10 (in Chinese)
- [13] 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]. 农业机械学报, 2016(5): 231-244
He D J, Liu D, Zhao K X. Review of perceiving animal information and behavior in precision livestock farming [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016(5): 231-244 (in Chinese)
- [14] 宣传忠, 马彦华, 武佩, 张丽娜, 郝敏, 张曦宇. 基于声信号特征加权的设施养殖羊行为分类识别[J]. 农业工程学报, 2016, 32(10): 1-10

- 2016,32(19):195-202
- Xuan C Z, Ma Y H, Wu P, Zhang L N, Hao M, Zhang X Y. Behavior classification and recognition for facility breeding sheep based on acoustic signal weighted feature [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016,32(19):195-202(in Chinese)
- [15] 宣传忠,武佩,马彦华,张丽娜,韩丁,刘艳秋. 基于功率谱和共振峰的母羊发声信号识别[J]. 农业工程学报, 2015,31(24):219-224
- Xuan C Z, Wu P, Ma Y H, Zhang L N, Han D, Liu Y Q. Vocal signal recognition of ewes based on power spectrum and formant analysis method [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015,31(24):219-224 (in Chinese)
- [16] Cangar O, Leroy T, Guarino M, Vrankena E, Fallone R, Lenehan J, Meed J, Berckmans D. Automatic real-time monitoring of locomotion and posture behaviour of pregnant cows prior to calving using online image analysis [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2008,64(1):53-60
- [17] Bin S, Xin H W. A real-time computer vision assessment and control of thermal comfort for group-housed pigs [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2008,62(1):15-21
- [18] Ahrendt P, Gregersen T, Henrik K. Development of a real-time computer vision system for tracking loose-housed pigs [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011,76(2):169-174
- [19] Khoramshahi E, Hietaoja J, Valros A, Yun J, Pastell M. Real-time recognition of sows in video: A supervised approach [J]. *Information Processing in Agriculture*, 2014,1(1):73-81
- [20] 尹令,洪添胜,刘迎湖,刘财兴. 基于无线传感器网络支持向量机奶牛行为特征识别[J]. 传感技术学报, 2011,24(3):458-462
- Yin L, Hong T S, Liu Y H, Liu C X. Cow behavioral features recognition using binary decision tree support vector machines based on wireless sensor network [J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2011,24(3):458-462(in Chinese)
- [21] 尹令,刘财兴,洪添胜,周皓恩. 基于无线传感器网络的奶牛行为特征监测系统设计[J]. 农业工程学报, 2010,26(3):203-208
- Yin L, Liu C X, Hong T S, Zhou H E. Design of system for monitoring dairy cattle's behavioral features based on wireless sensor networks [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010,26(3):203-208 (in Chinese)
- [22] 刘龙申,沈明霞,姚文,陆明洲,杨晓静,柏广宇. 基于加速度传感器的母猪产前行为特征采集与分析[J]. 农业机械学报, 2013,44(3):192-196
- Liu L S, Shen M X, Yao W, Lu M Z, Yang X J, Bai G Y. Acquisition and analysis of sows' behavior before farrowing based on acceleration sensor [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013,44(3):192-196 (in Chinese)
- [23] 高云. 基于无线传感器网络的猪行为监测系统研究 [D]. 武汉:华中农业大学,2014
- Gao Y. Research on pork sports behavior monitoring system based on wireless sensor network [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014 (in Chinese)
- [24] 沈维政,郑爽,初永良,孔庆明. 基于 ADXL345 的奶牛活动量采集系统设计[J]. 东北农业大学学报, 2014(10):80-85
- Shen W Z, Zheng S, Chu Y L, Kong Q M. Design of cow activity data acquisition system based on ADXL345 [J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2014(10):80-85(in Chinese)
- [25] Watanabe N, Sakanoue S, Kawamura K, Kozakai T. Development of an automatic classification system for eating, ruminating and resting behavior of cattle using an accelerometer [J]. *Grassland Science*, 2008,54(4):231-237
- [26] Robert B, White B J, Renter D G, Larson R L. Evaluation of three-dimensional accelerometers to monitor and classify behavior patterns in cattle [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2009,67(1/2):80-84
- [27] Cornou C, Lundbye-Christensen S. Classifying sows' activity types from acceleration patterns: An application of the multi-process Kalman Filter [J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 2008,111(3):262-273
- [28] Cornou C. Classification of sows' activity types from acceleration patterns using univariate and multivariate model [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2010,72(2):53-60
- [29] Cornou C, Lundbye-Christensen S. Modelling and monitoring sows' activity types in farrowing house using acceleration data [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011,76(2):316-324
- [30] Cornou C, Kristensen A R. Monitoring individual activity before, during and after parturition using sensors for sows with and without straw amendment [J]. *Livestock Science*, 2014,168(168):139-148
- [31] Mathie M J, Celler B G, Lovell N H, Coster A C. Classification of basic daily movements using a triaxial accelerometer [J]. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 2003,42(5):679-687

责任编辑:杨爱东