

基于视频分析的奶牛呼吸频率与异常检测^{*}

赵凯旋 何东健 王思泽

(西北农林科技大学机械与工程学院, 陕西杨凌 712100)

摘要:为实现奶牛呼吸状态信息获取的自动化、智能化,在构建奶牛视频实时采集系统的基础上,研究并提出了奶牛呼吸频率与异常检测方法。用光流法计算视频帧图像各像素点的相对运动速度,根据各点速度,对像素点进行循环 Otsu 处理筛选出呼吸运动点,动态计算速度方向曲线的周期即可检测牛只呼吸频率,并根据单次呼吸耗时检测呼吸是否异常。对 72 头奶牛共进行 360 min 检测试验,结果表明,呼吸频率计算准确率为 95.68%,异常检测成功率为 89.06%,平均异常误检次数为 2.53 次/min。

关键词:奶牛 呼吸频率 呼吸异常 视频分析 光流速度场

中图分类号: TP277; S823.9⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)10-0258-06

引言

养殖环境的温度和湿度是影响奶牛生产性能和繁殖性能的重要因素^[1-2],当奶牛受环境胁迫时会产生呼吸急促症状,其呼吸频率的高低反映了养殖环境是否适宜^[3]。因此,及时获知牛只呼吸频率对于饲养管理具有重要意义。目前,牛只呼吸频率主要采用人工观察方式测定,不但浪费人力,而且对观察人员要求高、工作强度大,难以满足规模化养殖管理需求。

计算机智能视频监控是信息技术领域一个新兴的研究方向,正逐步应用于养殖业并实现管理的自动化、智能化^[4-8]。关于牛只行为视频分析的研究,国外以步态检测为研究重点^[9-12],通过检测牛只行走时背部曲线参数来识别其步态。对于呼吸频率的检测,纪滨等^[4]设计了猪脊腹线波动描述子,描述了猪呼吸过程,实现了猪呼吸急促症识别。但奶牛体型较猪庞大,呼吸时脊腹线变化不明显。因此,需要研究一种适应性广的基于视频的动物呼吸频率与异常检测方法,并定量描述呼吸过程。

本文基于牛只侧卧时腹部随着吸气与呼气呈规律性隆起和下降、其他部位基本保持静止这一观测现象,在构建牛只侧卧呼吸视频获取平台基础上,用光流法计算视频图像中各像素点相对于上一帧的运动速度,筛选出呼吸运动点,动态计算速度参数曲线的周期以得到呼吸频率,再根据单次呼吸耗时检测

呼吸是否异常,为动物呼吸频率与异常检测提供一种新的方法。

1 奶牛视频处理平台与供试样本

1.1 奶牛视频处理系统

为实现奶牛视频远程实时采集与处理,本研究构建了视频采集硬件系统,并设计了视频处理软件平台。硬件系统由网络摄像机、无线网桥和 VPN 服务器构成,如图 1 所示。

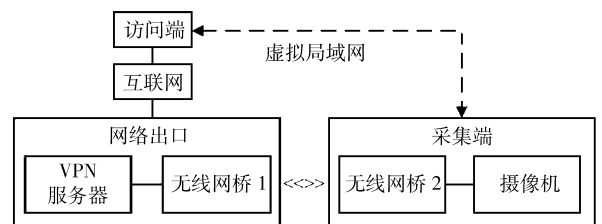


图 1 视频采集与传输平台示意图

Fig. 1 Sketch map for video transmission platform

在牛场网络出口处架设 VPN 服务器,养殖场摄像机通过无线网桥接入服务器,服务器用 ADSL 接入公网,并配置 DDNS 动态域名。访问端通过域名解析得到 VPN 服务器公网 IP 并接入服务器,服务器为访问端分配虚拟子网 IP,访问端与摄像机处于同一虚拟子网内,即可实现远程访问牛场子网内的摄像机^[13-14]。

采用海康威视 DS-2DM1-714 型网络球形摄像机,最高分辨率为 704 像素 × 576 像素,满帧速为 25 帧/s,本地存储空间为 32 GB。摄像机自带 RJ45

收稿日期: 2013-11-22 修回日期: 2014-01-07

^{*} 国家自然科学基金资助项目(60975007)

作者简介: 赵凯旋,博士生,主要从事动物行为视频分析方法研究,E-mail: zkx@nwsuaf.edu.cn

通讯作者: 何东健,教授,博士生导师,主要从事生物图像分析及识别、智能化检测与控制研究,E-mail: hdj168@nwsuaf.edu.cn

网络接口,上位机可以发送指令控制摄像机进行旋转,并设置焦距、光圈等参数。

开发了图像实时显示与处理软件平台,结合多线程编程技术,保证了图像接收的可靠性。并根据摄像机厂商提供的 SDK,实现了对摄像机的控制。

1.2 试验视频采集方法

视频采集于 2013 年 8 月晴天条件下,在陕西杨凌科元克隆股份有限公司的规模奶牛养殖场进行,拍摄对象为处于泌乳中期的美国荷斯坦奶牛。摄像机安装于牛只休息卧栏的侧上方,调整焦距和角度使牛只腹部占据视野的 70% ~ 80%,使头部和尾巴处于视野外。

牛只采食、饮水后进入卧栏休息时,即可开始获取视频。每头牛连续采集 5 min,对 72 头牛共获取了 360 min 的腹部视频。采集视频为 PAL 制式,分辨率为 704 像素 × 576 像素,每 24 头为一组分别用不同的视频帧率(帧/s)/码率(kb/s):25/2 000、18/500 和 12/300,采集时间为 8:00 ~ 18:00。

2 运动速度的计算及运动点筛选

奶牛侧卧呼吸时,腹部呈周期性隆起、下降,呼吸运动区域的运动速度与腹部起伏规律呈强相关性。因此,计算图像的光流速度场并筛选出呼吸运动点是提取呼吸过程特征值的前提和基础。

2.1 光流速度场计算方法

光流法是一种准确的、比较容易实现的图像中

运动目标像素级测速方法。光流场可以简单的理解为物体的速度矢量场,包括 x 方向速度分量 v_x 、 y 方向速度分量 v_y 。光流约束方程^[15]为

$$I_x v_x + I_y v_y + I_t = 0 \quad (1)$$

式中 I_x —— I 在 x 方向上的偏导数

I_y —— I 在 y 方向上的偏导数

I_t —— I 对时间 t 的偏导数

I_x 、 I_y 、 I_t 可以直接从图像序列中估算出来。要解得 2 个未知量 v_x 、 v_y ,需要另外的约束条件。本文采用 Horn - Schunck 约束算法^[16]的光流法计算图像的光流速度场,试验中迭代最大次数为 300 次,终止误差为 0.01。

2.2 运动点筛选

光流法计算得到每个像素点运动速度的 x 、 y 方向分量 v_x 、 v_y ,使用速度合成法便可得到速度大小与方向。光流速度场中对应的像素点可以分为 3 类:静止点、呼吸运动点和干扰点。静止点包括背景点和牛只呼吸时躯干上保持静止的像素点;呼吸运动点是牛只呼吸时腹部起伏区域的像素点;干扰点是由于图像噪声、光线变化等因素产生的系统误差点,以及高速运动的短时外来物(飞鸟、飞虫、头部、尾巴等)的像素点。经试验统计,光流场中各类像素点的数据特性如表 1 所示。由表 1 知,呼吸运动点的速度大小远小于干扰点,并大于静止点;同时其数量与静止点相当,并远大于干扰点,根据上述特点按图 2 所示方法筛选出呼吸运动点。

表 1 静止点、呼吸运动点与干扰点的数据特性

Tab.1 Data characteristics of rest points, moving points and interference points

类别	来源	速度大小	速度方向	数量	持续时长	性质
呼吸运动点	腹部起伏	中等	与呼吸相关	中等	呼吸时	有效
静止点	背景、静止区域	较小	随机	中等	整个视频	无效
干扰点	外来物闯入、系统误差	极大	不固定	极少	较短	无效

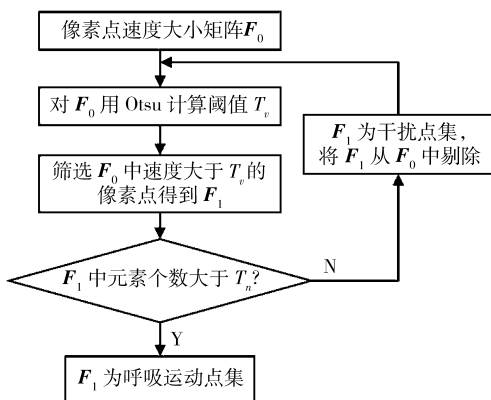


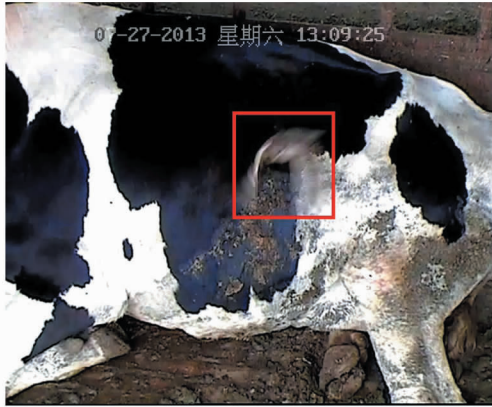
图 2 呼吸运动点筛选流程

Fig.2 Process of extracting breathing points

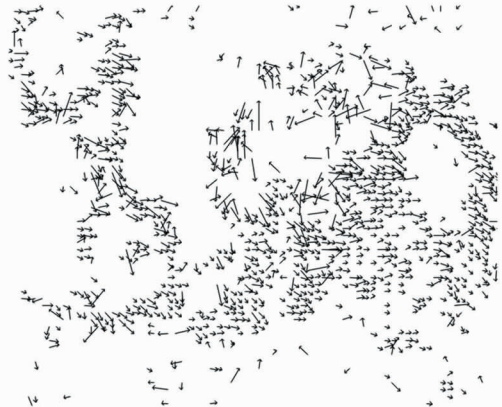
光流场中各像素点的速度大小构成矩阵 F_0 ,对

F_0 使用 Otsu 方法计算阈值 T_t ^[17],并从 F_0 中筛选出数值大于 T_t 的元素构成点集 F_1 。由于干扰点的速度远大于另外 2 类像素点,若图像中存在干扰点,则速度由大到小排序为:干扰点、 T_t 、呼吸运动点、静止点;若图像中不存在干扰点,则速度排序为:呼吸运动点、 T_t 、静止点。因此, F_1 为干扰点集或呼吸运动点集,通过计算 F_1 中元素的个数可以确定 F_1 的归属。令 T_n 为大于干扰点数量且小于呼吸运动点数量的某数值,若 F_1 中元素个数小于 T_n ,则说明 F_1 为干扰点集,从 F_0 中剔除干扰点后继续进行分割。若 F_1 元素个数大于 T_n ,说明检测到呼吸运动点集。当 $T_n = n/10$ (n 为图像像素点数量)时,既能剔除干扰点,又不会产生明显的过分割现象。

图3为飞鸟闯入时呼吸运动点的筛选结果,图3b中箭头的长度和指向分别表示速度的大小和方向。光流法计算的是前、后两帧图像的相对变化,故飞鸟在前、后两帧中的位置上均会产生速度较大的干扰点,其对光流场的影响区域大于飞鸟本身的大小。按图2流程处理后,仍然有部分干扰点未被



(a)



(b)

图3 飞鸟闯入时呼吸运动点的筛选结果

Fig.3 Result for extracting breathing points when bird intruding

(a) 外来物闯入帧 (b) 呼吸运动点的速度场

3 呼吸参数选取及频率计算

每个呼吸运动点包含4种数据: x 和 y 方向速度分量 v_x 和 v_y 、速度大小 v_m 、速度方向 v_a ,分别计算每帧图像所有呼吸运动点4种数据的平均值作为呼吸过程特征值。4种特征值随时间的变化曲线用来检测呼吸频率与异常。

3.1 参数选取

牛只呼吸时呼吸特征值随腹部起伏呈周期性波动,图4为光流法计算得到的呼吸特征值随时间的变化曲线(仅给出0~100帧)。

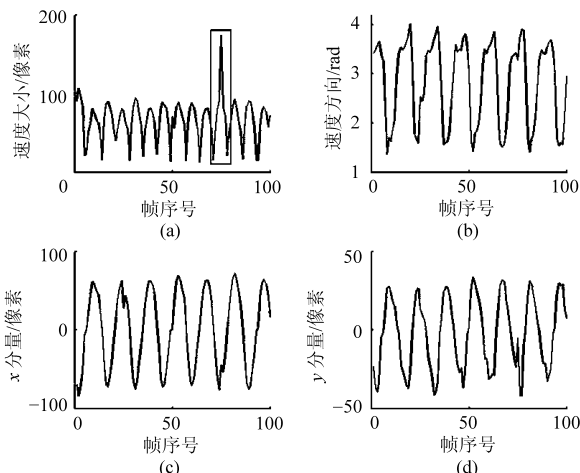


图4 呼吸特征值随时间变化曲线

Fig.4 Curve of breathing eigenvalue by time

试验发现,速度大小易受图像帧率、光线变化的影响(图4a第76帧处)而失去周期性;速度分量 v_x 、

剔除,但其数量远小于呼吸运动点。由于后续算法用所有呼吸运动点的参数平均值作为呼吸特征值,故可忽略小部分干扰点对检测结果的影响。奶牛黑色皮肤区域的灰度变化幅度小,其光流速度较小;黑白皮肤分界处的光流速度场与呼吸过程的相关性比较明显。

v_y 易受牛只位置的影响,当牛只呼吸运动点速度方向垂直于坐标轴时,该坐标轴上的速度分量将由噪声主导。速度方向对光线变化以及视频参数均具有较强的抗干扰能力,且不受牛只位置的影响,故用速度方向曲线计算呼吸频率。

3.2 频率计算

速度方向曲线的波动频率即为牛只呼吸频率。视频处理过程中,将新一帧图像的速度方向 v_a 保存到序列 H_a 末端。当序列 H_a 中最大值 m_a 与其两侧的单边最小值 m_1 、 m_2 的差异度均大于波峰-波谷差异阈值 T_a 时,表明序列中包含1个波动周期,周期判定式为

$$\begin{cases} (m_a - m_1)/m_1 > T_a \\ (m_a - m_2)/m_2 > T_a \end{cases} \quad (2)$$

速度方向曲线周期检测流程如图5所示。检测到周期后,记录周期完成时的帧序号,同时清空序列 H_a ,以便进行下一次检测。

经试验, T_a 取0.3时能准确检测出曲线周期,统计1min内周期的次数即为呼吸频率。

3.3 呼吸频率修正与异常检测

奶牛正常呼吸时,呼吸运动点的速度方向在一条直线上,每个周期内 v_a 的最大值与最小值的差值 E_m 接近 180° 。若 E_m 小于阈值 T_m ,则判定为误检周期,并修正呼吸频率。试验中 T_m 值设定为 90° 。

奶牛呼吸过程中,深呼吸和姿态调整是2种常见异常,均表现为单个呼吸周期的持续时长 L_i 增大。

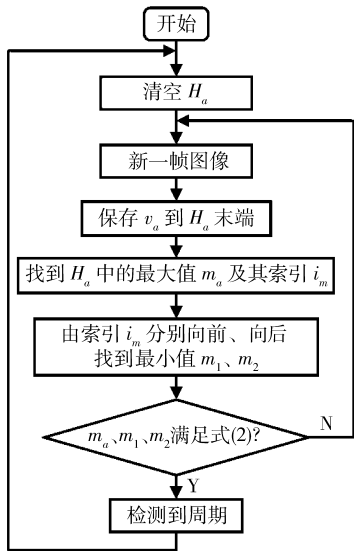


图 5 呼吸方向曲线周期检测流程

Fig. 5 Method to detect period from curve of velocity direction

故 L_i 大于正常呼吸时长 T_i 时,判定该周期为异常周期。由于奶牛呼吸频率跨度较大, T_i 必须根据当前奶牛的总体呼吸情况确定,由前一分钟的呼吸周期时长序列 H_i 确定 T_i 的方法如图 6 所示。检测到异常后,保存异常呼吸发生位置前后 2 个周期的图像序列,以供管理人员查证。

每分钟呼吸频率检测完成后,用姚焰础等提出的奶牛呼吸频率与环境指数的函数关系式^[3],计算出环境指数的估计值并显示。呼吸检测的结果输出界面如图 7 所示。

4 试验结果与分析

在 Visual Studio 2012 平台上用 VC++ 语言开发了《奶牛呼吸频率与异常检测》软件,并对 72 头牛进行了共计 360 min 的检测试验,结果如表 2 所示。由表 2 可见,呼吸频率识别准确率为 95.68%,呼吸异常识别成功率为 89.06%。

进一步分析表 2 知,在 3 种视频采集帧率/码率下,检测结果差异较小,呼吸频率平均误差最大值为 4.84%,异常检测成功率最小值为 86.26%;对于码率为 300 kb/s 的低质量视频也具有良好的检测效

表 2 呼吸频率与呼吸异常检测结果

Tab. 2 Detection result of breathing rate and abnormality

帧率/码率/ (帧·s ⁻¹)/(kb·s ⁻¹)	奶牛头数	时长/ min	呼吸频率检测结果			异常检测结果	
			最大误差/ %	平均误差/ %	平均准确率/ %	异常检测成功 率/%	平均 1 min 误检次数
25/2 048	24	120	18.63	4.84	95.16	86.26	2.13
18/500	24	120	17.19	3.94	96.06	87.79	2.60
12/300	24	120	20.69	4.18	95.82	93.13	3.15
合计	72	360	20.69	4.32	95.68	89.06	2.53

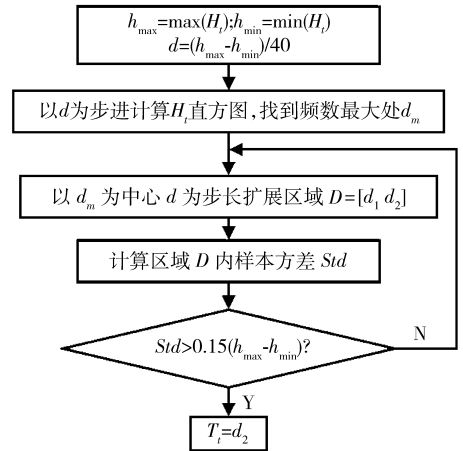


图 6 计算异常检测阈值流程

Fig. 6 Process of calculating threshold to detect abnormality

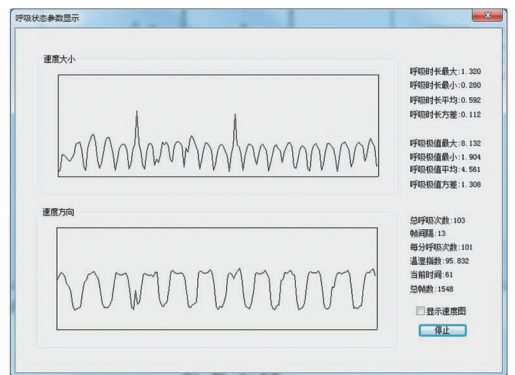


图 7 呼吸状态参数显示界面

Fig. 7 Interface of status parameter of breath

果,表明算法对视频参数具有较强的适应性。以 1 min 的视频段作为 1 个样本,样本比例与误差的关系如图 8 所示,图中曲线为积累样本比例 $F(x)$,条形图为落在误差等分区间内的样本比例。积累样本比例 $F(x)$ 的计算式为

$$F(x) = N(d_i \leq x) / n \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中 n —— 样本总数

d_i —— 第 i 个样本的检测误差

$N(\cdot)$ —— 计算满足条件的元素个数

由图 8 中积累样本比例曲线知,误差小于 10% 的样本占总样本的 90% 以上。随着误差的增大,落入等分区间内的样本数量依次减少。样本误差呈单

边正态分布,总体误差的平均值及标准差小,表明呼吸频率检测算法具有较高的稳定性、可靠性。

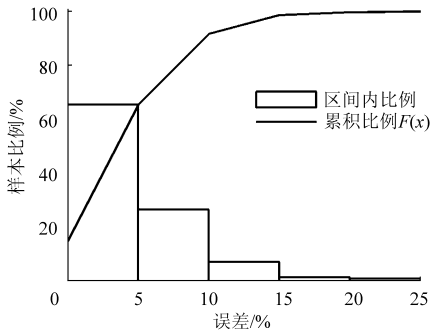


图8 误差-样本比例分布

Fig. 8 Curve of error vs ratio of sample

图9为呼吸频率计算值与人工计数值的拟合图,拟合直线决定系数 R^2 为0.9614, RMSE为4.1556,二者高度线性相关。样本中奶牛实际呼吸频率范围为29~125次/min,基本涵盖了奶牛常见呼吸状态,表明本文算法对于呼吸频率具有鲁棒性。

异常检测依赖于呼吸频率的检测结果,由于存在误差传递和累积,可能出现误检现象。平均每分钟误检次数与异常检测成功率呈负相关关系,改变异常检测算法中呼吸时长阈值 T ,能提高异常检测成功率,但平均每分钟误检次数也会增大。

本研究呼吸频率与异常检测过程中不需要进行背景检测与去除,且对短时外来物闯入、视频采集质量、光线明暗变化等干扰因素表现出较强的抵抗力,对于呼吸频率、牛只体型具有较好的鲁棒性。算法基于周期运动点的速度参数,不依赖奶牛体形特征,理论上适用于其他周期性运动目标的运动频率检测。采集与处理算法已编译成基于MFC的视窗程

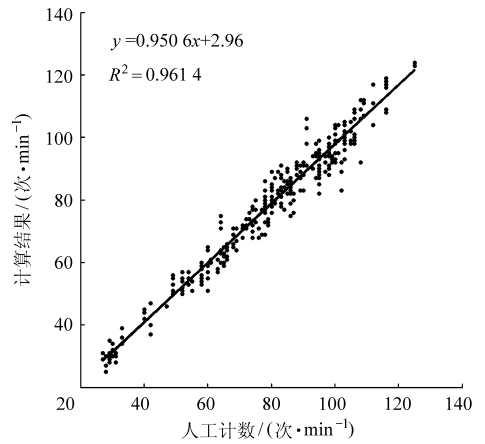


图9 呼吸频率计算值与人工计数值的关系

Fig. 9 Relationship of manual counts and calculated value of breathing rate

序,且平均检测率高,误检次数少,基本满足实用要求。

5 结论

(1)结合网络摄像机与VPN技术,提出了奶牛场远程实时视频采集与传输硬件设计方案,并设计实现了实时显示与处理软件平台。

(2)根据牛只呼吸时腹部起伏的特点,提出基于光流速度场的牛只呼吸频率与异常检测方法。试验结果表明,呼吸频率检测的平均误差为4.32%,检测值与人工计数值高度线性相关,其决定系数 R^2 为0.9614;呼吸异常检测成功率为89.06%,平均每分钟误检次数为2.53次。且算法对于外界干扰及牛只自身特征具有较强的鲁棒性。

(3)开发的实时检测软件基本达到实用要求,能够应用于规模奶牛养殖中牛只呼吸频率与异常检测。

参 考 文 献

- 魏学良,张家骅,王豪举,等. 高温环境对奶牛生理活动及生产性能的影响[J]. 中国农学通报,2005,21(5): 13-15.
Wei Xueliang, Zhang Jiahua, Wang Haoju, et al. Hot weather exercise's effect on physiological and performance of cow[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(5): 13-15. (in Chinese)
- West J W. Effects of heat-stress on production in dairy cattle[J]. Journal of Dairy Science, 2003, 86(6): 2131-2144.
- 姚焰础,江山,肖融,等. 热应激对荷斯坦奶牛体温和呼吸的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2012, 48(11): 59-62.
Yao Yanchu, Jiang Shan, Xiao Rong, et al. Effect of heat stress on body temperature and respiration of dairy cows[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2012, 48(11): 59-62. (in Chinese)
- 纪滨,朱伟兴,刘波,等. 基于脊腹线波动的猪呼吸急促症状视频分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 191-195.
Ji Bin, Zhu Weixing, Liu Bo, et al. Video analysis for tachypnea of pigs based on fluctuating ridge-abdomen[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 191-195. (in Chinese)
- 王玲,王超峰,郑奎. 基于ARM的蛋鸡养殖场网络视频监控系统设计[J]. 农业机械学报, 2012, 43(2): 186-191.
Wang Ling, Wang Chaofeng, Zheng Kui. Design and implementation of network video surveillance system for laying hens farm based on ARM[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(2): 186-191. (in Chinese)
- Cangar O, Leroy T, Guarino M, et al. 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.
- Bruyere P, Hetreau T, Ponsart C, et al. Can video cameras replace visual estrus detection in dairy cows? [J]. Theriogenology, 2012, 77(3): 525-530.
- Porto S, Arcidiacono C, Anguzza U, et al. A computer vision-based system for the automatic detection of lying behaviour of dairy

- cows in free-stall barns[J]. *Biosystems Engineering*,2013,115(2): 184 – 194.
- 9 Song X, Leroy T, Vranken E, et al. Automatic detection of lameness in dairy cattle-vision-based trackway analysis in cow's locomotion[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*,2008,64(1): 39 – 44.
- 10 Pluk A, Bahr C, Poursaberi A, et al. Automatic measurement of touch and release angles of the fetlock joint for lameness detection in dairy cattle using vision techniques[J]. *Journal of Dairy Science*,2012,95(4): 1738 – 1748.
- 11 Viazzi S, Bahr C, Schlageter-Tello A, et al. Analysis of individual classification of lameness using automatic measurement of back posture in dairy cattle[J]. *Journal of Dairy Science*,2013,96(1): 257 – 266.
- 12 Poursaberi A, Bahr C, Pluk A, et al. Real-time automatic lameness detection based on back posture extraction in dairy cattle: Shape analysis of cow with image processing techniques[J]. *Computer and Electronics in Agriculture*,2010,74(1): 110 – 119.
- 13 劳凤丹, 余礼根, 滕光辉, 等. 设施农业 3G + VPN 远程监控系统的设计与实现[J]. *中国农业大学学报*,2011,16(2): 155 – 159.
- Lao Fengdan, Yu Ligen, Teng Guanghui, et al. Design and implementation of 3G + VPN monitoring and control system for protected agriculture[J]. *Journal of China Agricultural University*,2011,16(2): 155 – 159. (in Chinese)
- 14 杨阔, 何东健. 基于 S3C6410 的田间视频监控系统的实现[J]. *计算机工程与设计*,2013,34(6): 1978 – 1982.
- Yang Kuo, He Dongjian. Implementation of filed video monitoring system based on S3C6410[J]. *Computer Engineering and Design*,2013,34(6): 1978 – 1982. (in Chinese)
- 15 马鹏飞, 杨金孝. 基于光流法的粒子图像测速[J]. *科学技术与工程*,2012,12(32): 8583 – 8587.
- Ma Pengfei, Yang Jinxiao. Particle image velocimetry based on optical flow[J]. *Science Technology and Engineering*, 2012, 12(32): 8583 – 8587. (in Chinese)
- 16 Bruhn A, Weickert J, Schnorr C. Lucas/Kanade meets Horn/Schunck: combining local and global optic flow methods[J]. *International Journal of Computer Vision*,2005,61(3): 211 – 231.
- 17 何东健. 数字图像处理[M]. 2 版. 西安: 西安电子科技大学出版社,2008: 84 – 85.

Detection of Breathing Rate and Abnormity of Dairy Cattle Based on Video Analysis

Zhao Kaixuan He Dongjian Wang Enze

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

Abstract: A real-time video capturing system for dairy was designed, and a detection method of breathing rate and abnormity in cows was studied based on the system to acquire the information in breathing. The optical flow method was used to calculate the velocity for each pixel. Breathing points were found out by looping Otsu operation according to the magnitude of velocity. The period was calculated from the curve of direction of velocity to get the breathing rate, and breathing abnormity was detected according the duration of each breath. 72 cows were detected for total 360 minutes to test the methods. The results demonstrated that the accuracy of calculated breathing rate and the recognition ratio of breathing abnormity were 95.68% and 89.06%, respectively, and the error detection of breathing abnormity was 2.53 times per-minute.

Key words: Dairy cattle Breathing rate Breathing abnormity Video analysis Optical flow