

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.03.035

# 基于加速度传感器的母猪产前行为特征采集与分析\*

刘龙申<sup>1</sup> 沈明霞<sup>1</sup> 姚文<sup>2</sup> 陆明洲<sup>1</sup> 杨晓静<sup>3</sup> 柏广宇<sup>1</sup>

(1. 南京农业大学工学院, 南京 210031; 2. 南京农业大学动物科技学院, 南京 210095;

3. 南京农业大学农业部动物生理生化重点开放实验室, 南京 210095)

**摘要:** 针对目前大规模集约化养殖对母猪分娩时间判断主要靠饲养员对母猪产前行为连续观察, 存在工作繁重, 可能由于疏忽而造成仔猪死亡等问题, 设计了一种基于三轴加速度传感器和无线传感网络的母猪产前行为特征实时监测系统。该系统利用无线加速度传感器节点采集母猪产前运动信息, 根据不同行为的加速度曲线波动性不同, 基于 K 均值聚类算法对行为特征进行识别分析, 并进行实时显示和 3G 无线传输。试验表明: 系统能够快速采集和传输母猪运动信息, 正确检测出母猪躺卧、站立、吃料、筑窝等典型行为, 正确率为 87.93%, 工作稳定。

**关键词:** 母猪产前行为 无线传感器网络 加速度传感器 K 均值聚类算法

**中图分类号:** S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)03-0192-05

## Acquisition and Analysis of Sows' Behavior before Farrowing Based on Acceleration Sensor

Liu Longshen<sup>1</sup> Shen Mingxia<sup>1</sup> Yao Wen<sup>2</sup> Lu Mingzhou<sup>1</sup> Yang Xiaojing<sup>3</sup> Bo Guangyu<sup>1</sup>

(1. College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China

2. College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

3. Key Lab of Animal Physiology and Biochemistry, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** According to the existing problem of breeder continuous observing sows' behavior for sow farrowing judgment, working hard, piglet death due to negligence, monitoring system of sows' behavior before farrowing based on three axis acceleration sensor and WSN was designed. Sows' activities information was collected by using wireless acceleration sensor node. According to different acceleration curve volatility, behavior type was classified by K-means clustering algorithm, displayed real time and wireless transferred by 3G. The experiments showed that the system could acquire and transfer sows' activities information in no time, and the typical behaviors consist of lying, standing, eating and nesting were detected correctly. The accuracy was 87.93%. The system worked stably.

**Key words:** Sows' behavior WSN Acceleration sensor K-means clustering algorithm

### 引言

随着规模化、集约化养殖业的发展, 自动化养猪将成为养猪业的发展趋势。母猪分娩是养猪生产过程中关键环节之一, 准确、实时地监测母猪产前行为对判断母猪分娩时间具有重要意义。传统养殖方式中主要依赖饲养员连续观察来判断母猪分娩时间,

人力负担繁重, 工作效率低, 容易出现因疏忽而造成仔猪死亡, 另外, 人与猪接触增大了人畜共患病的传播机率。

国外已经开展了通过监测母猪的筑窝行为和体温变化来自动判断母猪分娩时间的研究。Cornou 和 Lundbye-Christensen<sup>[1-2]</sup> 提出了采用加速度传感器和蓝牙技术对群养模式下每头母猪的行为进行分

收稿日期: 2012-08-28 修回日期: 2012-10-11

\* 公益性行业(农业)科研专项资助项目(201003011)和南京农业大学青年科技基金资助项目(KJ2011021)

作者简介: 刘龙申, 博士生, 主要从事信息检测与无线传输研究, E-mail: liulongshen99@163.com

通讯作者: 沈明霞, 教授, 博士生导师, 主要从事机器视觉和信息农业研究, E-mail: mingxia@njau.edu.cn

类,但蓝牙模块功耗大,传输距离小,采用4节5号干电池供电,体积大,不适合安装在母猪身上。Oliviero<sup>[3]</sup>等利用地毯式的压力传感器监测母猪的走动行为,同时在产床0.6 m高处安装光电传感器监测母猪的站立或躺卧行为,综合判断母猪分娩时间。Cornou<sup>[4-5]</sup>等利用布带把三轴加速度传感器和蓝牙模块固定在母猪颈部,进行运动信息采集并无线传输到PC,采用多进程卡尔曼滤波方法对母猪行为进行分类,判断母猪分娩时间。国内已经开展了基于无线传感网络的奶牛行为特征监测系统的研究<sup>[6]</sup>,用于判断奶牛发情和疾病状况。目前国内尚未有利用三轴加速度传感器和无线传感网络进行母猪产前行为特征实时监测的报道。

本文提出利用三轴加速度传感器、无线传感网络和嵌入式系统对母猪产前行为进行实时监测,具有体积小、功耗低等特点。采用K均值聚类算法对行为特征进行识别分析,为分析母猪分娩前行为变化规律,建立母猪分娩时间预测模型提供基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

在江苏省金坛市永康农牧科技有限公司进行现场试验,选用12头长白母猪为试验对象,试验母猪均是距预产期一周左右并已转入分娩限位栏的经产母猪,猪栏床面为铸铁漏缝地板。母猪可自由饮水,06:00和14:00分别喂一次饲料。试验母猪分为2组,其中8头为试验组,用松紧带在颈部下方佩戴加速度传感器节点(图1);另4头为对照组,用于比较母猪是否因佩戴节点而有异常反应。

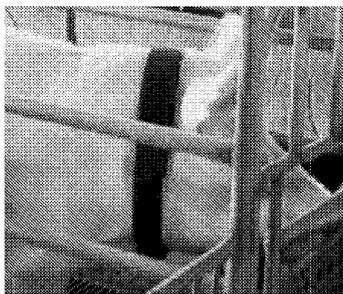


图1 佩戴传感器节点的试验母猪

Fig.1 Experimental sow with sensor node

松紧带要足够紧以防止节点晃动,又不能太紧使母猪感到不适。实测母猪脖子周长为1 m左右,松紧带制作规格如图2所示。在每头试验猪的正上方安装监控摄像头和节能灯,记录母猪全天行为信息。母猪颈部安装的加速度传感器节点,三轴加速度的指向分别为x轴指向母猪左方,y轴指向猪尾方向,z轴指向地面。

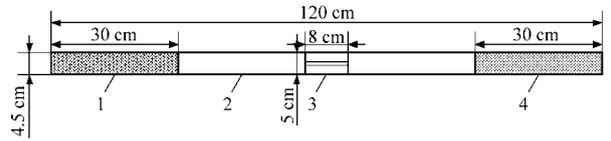


图2 松紧带结构图

Fig.2 Chart of elastic

1. 粘扣带刺面(缝在松紧带反面)
2. 黑色松紧带
3. 宽松紧带(包在松紧带外面,呈口袋状)
4. 粘扣带毛面(缝在松紧带正面)

### 1.2 数据采集

设计了母猪产前行为特征实时监测系统,进行数据采集,总体结构如图3所示。系统利用加速度传感器采集母猪产前运动信息,通过无线传感网络传输到网关,网关采用Android系统把加速度数据存入SQLite数据库,同时通过GPRS/3G网络与服务器数据库同步,服务器对数据进行处理分析,实时更新母猪产前行为状态,供饲养员通过网络或手机查询。

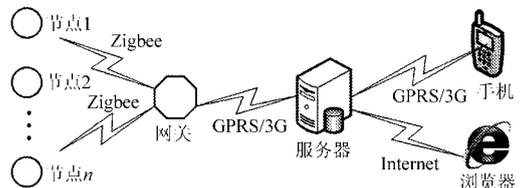


图3 系统总体结构框图

Fig.3 System chart

#### 1.2.1 节点设计

加速度传感器节点的功能是现场采集和传输母猪运动信息,要求节点体积尽量小而薄,便于佩戴;功耗低,转入分娩限位栏后分娩前无需更换电池;母猪饮水进食会使节点浸水或与料槽发生碰撞,因此需采取防水等措施使节点工作稳定;产房尺寸为40 m × 8 m(长 × 宽),节点无线传输距离要适当,在保证传输距离的同时尽量降低功耗。

根据以上要求,节点采用三轴加速度传感器MMA7361进行信息采集,采用CC2430进行无线传输。MMA7361尺寸为3 mm × 5 mm × 1 mm,工作电流为400 μA,休眠模式为3 μA。CC2430集成了MCU、存储器和射频收发器,体积小,工作电流为25 mA,休眠模式为0.9 μA。MMA7361的x、y、z分别连接到CC2430的P0.5、P0.6、P0.7脚。

节点软件设计主要有A/D转换、数据处理、三轴加速度标定、数据传输等步骤。A/D转换方式为软A/D,转换精度为14位。数据通过Z-Stack协议栈进行传输,发送频率为10次/min。数据格式为: N01x + 0001y + 0002z - 0003, N01表示节点编号,+0001、+0002、-0003分别表示x、y、z三轴方向的加速度值。

由于 MMA7361 焊接不平,不同纬度重力加速度值不同等原因,需要用软件对三轴加速度传感器的坐标系和基准值进行校正。校正方法(以  $x$  轴为例)是把节点沿  $x$  轴正向和反向分别摆放在水平尺上,得到  $x$  轴朝上和朝下的值  $X_{up}$  和  $X_{down}$ ,校正方法为

$$X = X_0 - \frac{X_{up} + X_{down}}{2} \quad (1)$$

式中  $X$ ——校正后的  $x$  轴加速度值

$X_0$ ——原始值

### 1.2.2 网关设计

网关的功能是汇聚各节点传输的数据,提取出  $x、y、z$  三轴方向的加速度值,并记录开始接收每组数据的时间,存入数据库的相应字段,同时利用 GPRS/3G 网络实时上传到服务器,并接收服务器对数据处理的结果,将母猪行为实时显示在触摸屏上。

网关采用 Cortex A8 处理器和 Android 2.3 操作系统,在 Android 系统上利用 SQLite 数据库进行数据管理。射频收发模块采用 CC2430,远距离通信模块采用华为 EM770W 无线模块。CC2430 与 Cortex A8 通过串口通信,波特率为 57 600 b/s。网关与远程服务器采用 Socket 通信进行数据传输。

### 1.3 母猪产前行为特征分析

母猪在分娩前 24 ~ 36 h 内有明显的生理和行为特征,包括体温上升<sup>[7-8]</sup>、呼吸速率加快<sup>[9]</sup>和行为变化<sup>[10-11]</sup>,其中最明显的行为变化是频繁转换站卧姿势、分娩前筑窝行为和筑窝前不吃料。

通过视频记录了 8 头母猪产前行为录像,统计分析了母猪产前 7 d 和产后 3 d 每天行为变化的次数,行为平均变化次数如图 4 所示。

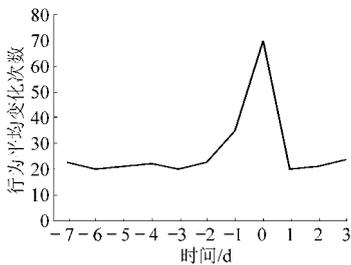


图 4 产前行为平均变化次数

Fig. 4 Averaged number of behavior changes before farrowing

由图 4 可以看出母猪产前 36 h 内行为变化次数明显增加。另外通过向饲养员了解和视频观察得知母猪产前 24 h 左右开始不吃料。

### 1.4 母猪产前行为的加速度数据分析

为了分析利用加速度区分母猪产前典型行为的可行性,本文采集了躺卧、站立、吃料、筑窝等行为所产生的加速度数据,加速度数据曲线如图 5 所示。

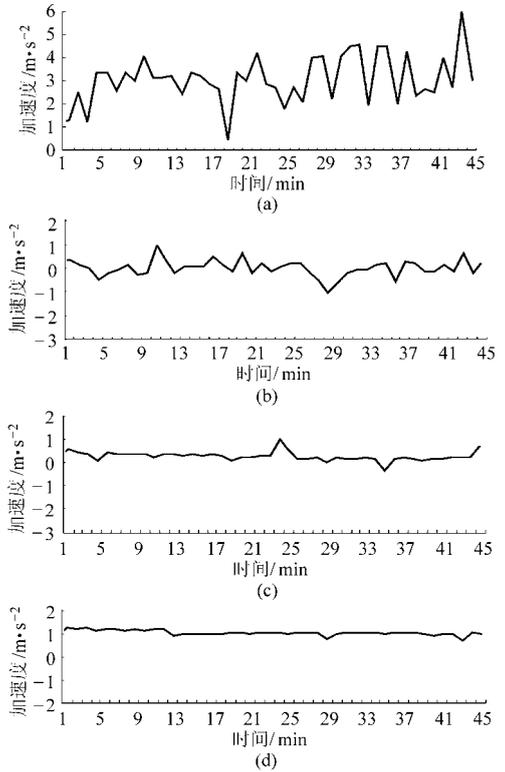


图 5 典型行为加速度曲线

Fig. 5 Curve of typical behavior acceleration

(a) 筑窝行为 (b) 吃料行为 (c) 站立行为 (d) 躺卧行为

由图 5 可以看出由于母猪产前行为的动作幅度不同,母猪躺卧、站立、吃料、筑窝行为的加速度曲线的波动性明显不同。本文根据不同行为的加速度数据波动性不同,结合行为发生的时间和三轴加速度方向变化进行行为判断。

### 1.5 基于 K 均值聚类的母猪产前行为识别方法

母猪行为的加速度用  $a = (a_x, a_y, a_z)$  表示。由于筑窝行为的运动方向是随机的,所以方向不是判断筑窝行为的必要条件,本文采用合加速度  $a$  来表示母猪各行为的加速度大小。

合加速度  $a$  计算公式为

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (2)$$

K 均值聚类算法的中心思想是最小化总的类内距离,方法是重复调整  $c$  个聚类的质心  $m_j$ ,并将各个样本分配到最近的质心所在的类别中去<sup>[12]</sup>,本文采用 Matlab 实现算法

$$E = \sum_{j=1}^c \sum_{x_i \in \omega_j} \|x_i - m_j\|^2 \quad (3)$$

式中  $E$ ——聚类时的误差

$x_i$ ——样本个体

$\omega_j$ ——一个聚类

用两个数据距离表示加速度曲线的波动性,样本个体的取值为

$$x_i = \sqrt{(a_i - a_{i-1})^2} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

式中  $a_i$ —— $i$  时刻的合加速度

利用 K 均值聚类算法把加速度曲线波动性相近的样本进行聚类, 具体步骤如下:

(1) 根据动作幅度大小分类, 母猪的行为主要有躺卧、站立或慢走、吃料和筑窝行为 4 种, 设定 4 个质心  $m_j^{(k)}$  ( $k=1, 2, \dots, n$ )。

(2) 将每个  $x_i$  分配到与之相距最近的那个质心  $m_j^{(k)}$  代表的聚类中去。

(3) 计算分配后新的质心  $m_j^{(k+1)}$  以及误差值  $E^{(k+1)}$ 。

(4) 重复步骤 (2) 和 (3) 直到  $k$  达到最大迭代次数或满足  $\|E^{(k+1)} - E^{(k)}\|$  小于最小偏差阈值为

止。

## 2 结果与分析

将系统获取的加速度样本数据分为两类: ①训练样本, 用于训练 K 均值聚类算法中最大迭代次数、最小偏差阈值和初始质心, 样本容量为 4 000 个。②试验样本, 用于对 K 均值聚类算法进行母猪产前行为识别效果试验, 样本容量为 2 000 个。

### 2.1 母猪产前行为特征识别

利用基于 K 均值聚类的母猪产前行为识别方法对母猪行为进行判断, 训练样本数据和数据聚类结果如图 6 所示。

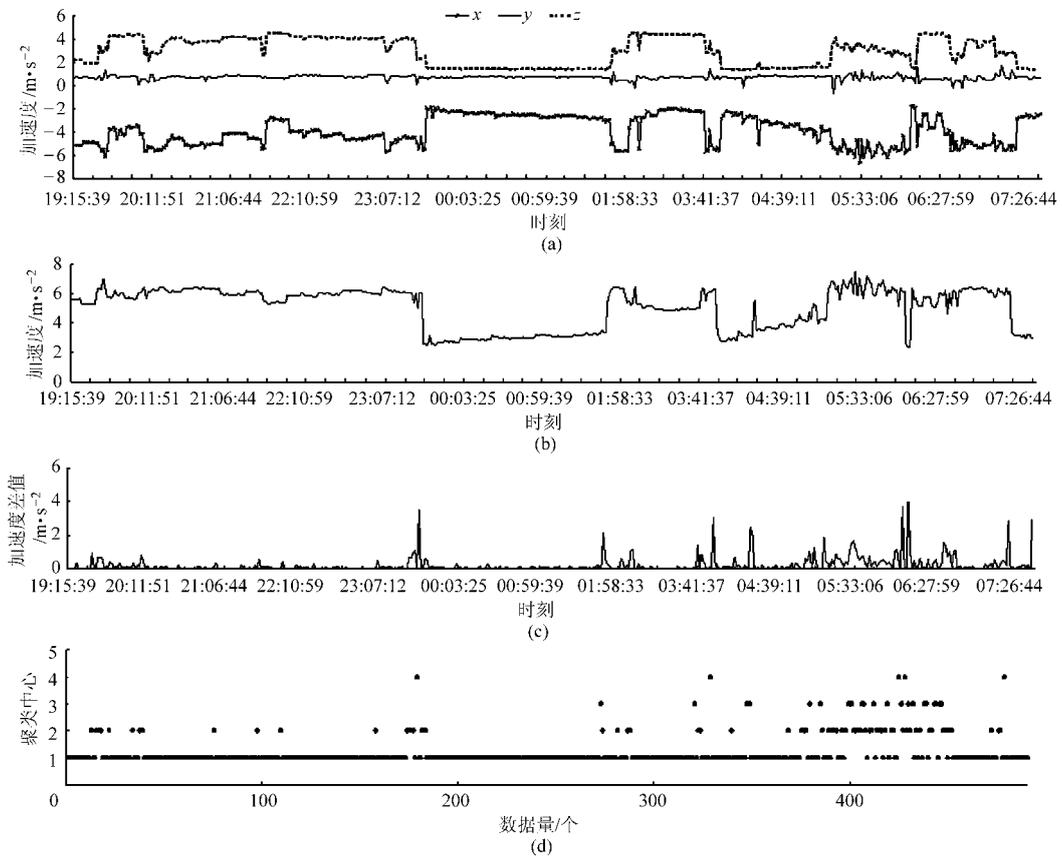


图 6 训练样本数据和结果

Fig. 6 Data and results of training

(a) 初始加速度数据 (b) 合加速度 (c) 加速度曲线波动性数据 (d) K 均值聚类结果

通过样本数据的反复训练, 利用 K 均值聚类算法的最大迭代次数为 6 次, 得到最终的聚类中心可作为实测时的初始聚类中心, 4 个聚类中心分别为 0.01、0.07、0.17 和 0.34。

由图 6 可以看出, 基于 K 均值聚类的母猪产前行为识别方法按照动作幅度大小可以把样本数据分为 4 种, 但不能直接表示母猪的 4 种行为, 还要结合动作发生的时间综合判断母猪行为。通过观察发现, 在 3 min 内连续发生 4 次以上动作为一个行为

判定, 吃料行为发生在设定的时间范围内 (5:30 ~ 6:30 和 13:30 ~ 14:30)。

### 2.2 母猪产前行为识别效果试验

根据上述行为判定方法, 利用试验样本对 K 均值聚类算法进行母猪产前行为识别效果试验, 试验中把 2.1 节得出的聚类中心作为初始聚类中心, 最大迭代次数减少为 4 次, 提高了算法效率。通过观察录像统计对行为识别效果进行验证, 试验与验证结果如图 7 所示。

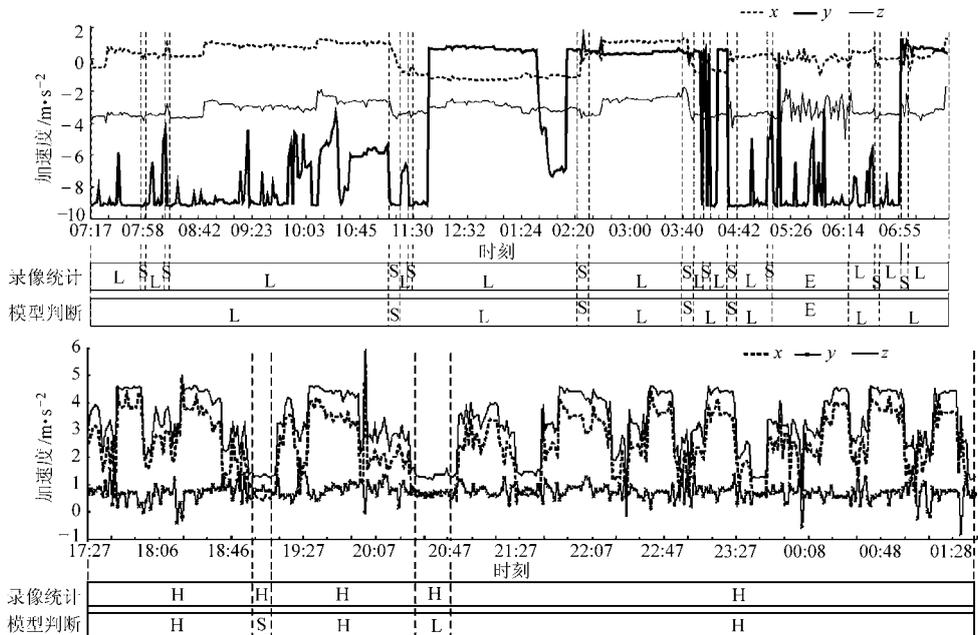


图7 母猪产前行为试验结果

Fig.7 Result of sows' behavior judgment before farrowing

图中 L:躺卧,S:站立,E:吃料,H:筑窝。从图7中可以看出,根据不同行为的加速度曲线的波动性不同,利用基于K均值聚类的母猪产前行为识别方法可以判断出不同的行为类型。判断结果与通过观察录像统计的行为情况对比,系统能够正确地识别出母猪躺卧、站立、筑窝和吃料行为,2000个样本数据中,母猪实际发生行为变化为58次,本文建立的方法正确判断出51次,正确率达87.93%。产生误差的原因主要是不同母猪的行为特性有一定差异,各种行为的姿态和动作也有所不同,反映出的加速度数据比较接近造成误判,另外由于磨蹭或其他行为使加速度传感器节点位置移动而引起误判。

### 2.3 佩戴传感器节点对母猪的影响

松紧带由饲养员在母猪转入分娩限位栏时套上,母猪基本无应激反应。通过观察两组录像进行对比,没有发现两组母猪存在行为差异,佩戴传感器节点的8头母猪均没有出现早产、摇头或者往猪栏

上蹭的现象。试验表明,佩戴传感器节点对母猪产前行为没有影响。

### 3 结论

(1) 设计了一套基于加速度传感器和无线传感网络的母猪产前行为特征实时监测系统,能够快速采集和传输母猪运动信息,用于判断母猪分娩时间,系统工作稳定。

(2) 佩戴传感器节点对母猪产前行为没有影响,母猪基本无应激。

(3) 节点由一块2000 mA电池供电,发送频率为10次/min,能够连续工作30 d,可以满足实际生产中需求。

(4) 系统能较好地地区分不同动作幅度的4种典型行为特征,正确率为87.93%,因此还需对行为识别的智能性做进一步研究。

### 参 考 文 献

- 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.
- Cornou C, Lundbye-Christensen S. Classification of sows' activity types from acceleration patterns using univariate and multivariate models[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010, 72(2):53~60.
- Oliviero C, Pastell M, Heinonen M, et al. Using movement sensors to detect the onset of farrowing[J]. Biosystems Engineering, 2008, 100(2):281~285.
- 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):316~324.
- 尹令,刘财兴,洪添胜,等.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 Ling, Liu Caixing, Hong Tiansheng, et al. 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)

- Agriculture, 2008, 60(1): 18 ~ 30.
- 11 Gruber J K, Guzman J L, Rodriguez F, et al. Nonlinear MPC based on a Volterra series model for greenhouse temperature control using natural ventilation[J]. Control Engineering Practice, 2011, 19(4): 354 ~ 366.
- 12 Wang Rui, Xu Hui, Ma Jian, et al. CFD analysis of airflow distribution in greenhouse with pad and fan cooling system[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(6): 250 ~ 255.
- 13 Fidaros D K, Baxevanou C A, Bartzanas T, et al. Numerical simulation of thermal behavior of a ventilated arc greenhouse during a solar day[J]. Renewable Energy, 2010, 35(7): 1 380 ~ 1 386.
- 14 王健,汪小昂,丁为民,等. 风压通风的单栋温室内流场的ANSYS CFD模拟[J]. 农业机械学报, 2007, 38(3): 114 ~ 116, 121.  
Wang Jian, Wang Xiaochan, Ding Weimin, et al. ANSYS CFD simulation of air flow distribution in a tunnel greenhouse under wind driven situation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(3): 114 ~ 116, 121. (in Chinese)
- 15 沈明卫,郝飞麟. 内遮阳网对连栋温室内自然通风流场影响的稳态模拟[J]. 农业机械学报, 2007, 38(2): 120 ~ 124.  
Shen Mingwei, Hao Feilin. Steady simulation of the effect of inner solar-shading screen on airflow distribution inside multi-span plastic greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(2): 120 ~ 124. (in Chinese)
- 16 陈教料,胥芳,张立彬,等. 基于CFD技术的玻璃温室加热环境数值模拟[J]. 农业机械学报, 2008, 39(8): 114 ~ 118.  
Chen Jiaoliao, Xu Fang, Zhang Libin, et al. CFD-based simulation of the temperature distribution in glass greenhouse with forced-air heater[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 114 ~ 118. (in Chinese)
- 17 吴飞青,张立彬,胥芳,等. 机械通风条件下玻璃温室热环境数值模拟[J]. 农业机械学报, 2010, 41(1): 153 ~ 158.  
Wu Feiqing, Zhang Libin, Xu Fang, et al. Numerical simulation of the thermal environment in a mechanically ventilated greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(1): 153 ~ 158. (in Chinese)
- 18 程秀花,毛罕平,伍德林,等. 自然通风玻璃温室热环境时空分布数值模拟[J]. 农业机械学报, 2009, 40(6): 179 ~ 183.  
Cheng Xiuhua, Mao Hanping, Wu Delin, et al. Numerical simulation of thermal profiles in spatial and temporal field for natural ventilated glasshouse[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(6): 179 ~ 183. (in Chinese)
- 19 程秀花,毛罕平,倪军. 温室环境-作物湿热系统CFD模型构建及预测[J]. 农业机械学报, 2011, 42(2): 173 ~ 179, 157.  
Cheng Xiuhua, Mao Hanping, Ni Jun. Numerical prediction and CFD modeling of relative humidity and temperature for greenhouse-crops system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2): 173 ~ 179, 157. (in Chinese)
- 20 李永博,周伟,李鹏飞,等. 基于CFD模拟模型的温室温度场均匀性控制[J]. 农业机械学报, 2012, 43(4): 156 ~ 161.  
Li Yongbo, Zhou Wei, Li Pengfei, et al. Temperature distribution control of greenhouse based on CFD simulation model[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(4): 156 ~ 161. (in Chinese)
- 21 Fluent Inc. FLUENT 6.3 documentation[M]. Fluent Inc., 2006.
- 22 Li Yongbo, Li Pengfei, Wang Xiaochan. The randomness of the wind and its impact on greenhouse CFD simulation[C] // Proceedings of the 2nd International Conference on Electric Information and Control Engineering, 2012: 2 361 ~ 2 364.
- 23 Li Yongbo, Lou Enping, Wang Xiaochan. Greenhouse temperature model analysis based on CFD technology[C] // Proceedings of the 3rd International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, 2012: 862 ~ 865.

(上接第196页)

- 6 刘龙申,沈明霞,孙玉文,等. 基于FPGA的农田图像采集与3G无线传输系统设计[J]. 农业机械学报, 2011, 42(12): 186 ~ 190.  
Liu Longshen, Shen Mingxia, Sun Yuwen, et al. Acquisition system and wireless transmission by 3G for farmland image based on FPGA[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(12): 186 ~ 190. (in Chinese)
- 7 King G J, Willoughby R A, Hacker R R. Fluctuations in rectal temperature of swine at parturition[J]. Canadian Veterinary Journal, 1972, 13(1): 72 ~ 74.
- 8 Elmore R G, Martin C E, Riley J L, et al. Body temperatures of farrowing swine[J]. Journal of the American Veterinary Medical Association, 1979, 174(4): 620 ~ 622.
- 9 Hendrix W F, Kelley K W, Gaskins C T, et al. Changes in respiratory rate and rectal temperature of swine near parturition[J]. Journal of Animal Science, 1978, 47(1): 188 ~ 191.
- 10 Hartsock T G, Barczewski R A. Prepartum behaviour in swine: effects of pen size[J]. Journal of Animal Science, 1997, 75(11): 2 899 ~ 2 903.
- 11 Bradshaw R H, Broom D M. A comparison of the behaviour and performance of sows and piglets in crates and oval pens[J]. Animal Science, 1999, 69(2): 327 ~ 333.
- 12 J P Marques de Sa. 模式识别:原理、方法及应用[M]. 吴逸飞,译. 北京:清华大学出版社, 2002.