

利润。传感器是物联网应用项目建设最起码的投资，但中国 80% 的传感器芯片都依靠进口，因此成本问题的突破口还在于创新和自主研发的发展；（3）安全问题，物联网涉及的安全问题主要包括感知节点的本地安全问题、网络的传输与信息安全问题、业务的安全问题等。

相对于物流、公共安全等行业而言，物联网技术在畜牧业领域的应用尚处于起步阶段。展望未来，国家和政府已经明确提出了发展物联网“感知中国”的宏伟战略目标，随着相关理论、技术的进一步成熟，物联网必将深入社会的各个行业和角落。物联网技术应用于畜牧业，必将推动畜牧业的现代化进程，大大提高畜牧业信息化的水平和程度。

### 参考文献：

- [1] 比尔·盖茨. 未来之路[M]. 辜正坤, 主译. 北京: 北京大学出版社, 1996.
- [2] 侯赞慧, 岳中刚. 我国物联网产业未来发展路径探析[J]. 现代管理科学, 2010(2): 39-41.
- [3] 孙其博, 刘杰, 黎彝, 等. 物联网: 概念、架构与关键技术研究综述[J]. 北京邮电大学学报, 2010, 33(3): 1-9.
- [4] 游战清, 李苏剑. 无线射频识别技术(RFID)理论与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [5] 张绍钧, 叶志申, 黄仁泰, 等. 物联网关键技术及其应用[J]. 信息化研究, 2011, 37(4): 8-11.
- [6] 郑和喜, 陈湘国, 郭泽荣, 等. WSN RFID 物联网原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [7] 熊本海, 罗清尧, 杨亮. 家畜精细饲养物联网关键技术的研究[J]. 中国农业科技导报, 2011, 13(5): 19-25.
- [8] 傅润亭, 熊本海, 林兆辉. 动物标识及其产品溯源技术研究进展[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009.
- [9] 周仲芳, 游洪, 王彭军, 等. RFID 技术在活猪检验检疫监督管理中的应用研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 241-245.
- [10] 陆昌华, 谢菊芳, 王立方, 等. 工厂化猪肉安全生产溯源数字系统的实现[J]. 江苏农业学报, 2006, 22(1): 51-54.
- [11] 孙宏岭, 周行. 物联网在猪肉供应链管理中的应用研究[J]. 中国畜牧杂志, 2010, 46(18): 18-21.
- [12] 李道亮. 农业物联网导论[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [13] 李秀峰, 艾红波. 畜禽养殖物联网设计方案[J]. 农业网络信息, 2012, (8): 28-30.

## 物联网在奶牛养殖的应用现状及展望

赵 璞<sup>1,2</sup>，张建华<sup>1,2\*</sup>，吴建寨<sup>1,2</sup>，刘佳佳<sup>1,2</sup>，朱孟帅<sup>1,2</sup>

(1. 中国农业科学院农业信息研究所, 北京 100081; 2. 农业部农业信息服务技术重点实验室, 北京 100081)

**摘 要：**物联网在奶牛养殖的应用，不仅能有效优化奶牛养殖管理模式，而且为奶牛的精细化养殖提供有力手段，为提高奶牛年产奶量以及整个奶牛养殖产业的持续发展提供动力。目前，物联网技术在奶牛养殖方面的应用，主要集中在奶牛场生产环境监测、奶牛生理监测、奶牛精细饲喂、溯源信息采集四个方面，为奶牛的科学管理提供数据支持。展望未来，随着科技的不断进步，相关研究不断推进，物联网技术将会应用到奶牛养殖的各个环节，基于物联网的科学饲喂，实时监测，智能

作者简介：赵 璞(1990—)，男，山东聊城人，硕士研究生，研究方向为农业信息分析学，Email: zhaopuliufeng@163.com  
通讯作者：张建华，博士，Email: zhangjianhua@caas.cn

管理将是未来奶牛养殖产业的发展方向，它将进一步提高奶牛的产量和质量，加快奶牛养殖的现代化水平。

**关键词：**物联网；奶牛养殖；应用现状；展望

## 0 引言

伴随着时代的进步，我国奶牛养殖产业也在不断的发展。2013 年，我国牛奶产量达到 3531.42 万吨。奶制品销售额达 2831.59 亿元，占 2013 年第一产业增加值的 4.97%。奶牛养殖产业现已成为我国现代农业的重要组成部分。然而，随着我国经济增长、居民收入提高以及居民食物消费行为和消费方式的改变，乳制品的刚性需求仍将持续增加。如何发展奶牛养殖产业，以满足国内持续增加的需求，是我们当前面临的一个重要问题。

物联网技术与奶牛养殖的结合将为我国奶牛养殖产业带来一个新的契机。通过应用物联网技术，我们可以感知奶牛养殖的各个环节，从而获取奶牛生长环境信息、生理信息，监测奶牛发情，检测奶牛疾病，对奶牛进行精细饲喂等。物联网技术与奶牛养殖的结合，将使奶牛养殖更加科学化、智能化、现代化，从而极大的增加奶牛年产量，使奶牛养殖产业得到进一步发展。

## 1 物联网的概念

物联网(Internet of Things)最早是由麻省理工学院 MIT Auto-ID 中心主任 Kevin Ashton 教授 1999 年在研究 RFID 时提出。2003 年，SUN 公司发表文章介绍了物联网的基本工作流程并提出解决方案。<sup>[1]</sup>2008 年 11 月，IBM 提出“智慧地球”全球发展战略，次年，该构想受到奥巴马的公开肯定。2009 年 8 月，温家宝总理在无锡视察中科院无锡微纳传感网工程技术研发中心时提出，要在激烈的国际竞争中，迅速建立中国的传感信息中心，或者叫“感知中国”中心。“感知中国”的提出，使物联网在中国受到全社会极大关注，并被正式列为国家五大新兴战略产业之一，写入 2010 年政府工作报告。2012 年 10 月，习近平主席在参观中国农业大学会场农业物联网科研成果展示后指出，“农业物联网是农业生产方式变革的重要手段，是现代农业发展的方向，要让物联网更好地促进生产、走进生活、造福百姓。”

目前，公认的物联网定义是由国际电信联盟（ITU）在 2005 年发布的《ITU 互联网报告 2005：物联网》中提出的。该报告指出，物联网是通过射频识别（RFID）、智能传感器、激光扫描仪、全球定位系统（GPS）等设备与技术，按照约定的协议，把任何物品与互联网连接起来，进行信息交换和通信，以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种智能网络。<sup>[2]</sup>

## 2 奶牛养殖的物联网技术

物联网技术涉及多个领域，这些技术在不同的行业往往具有不同的应用需求。应用在奶牛养殖中的物联网技术包括信息感知技术和信息传输技术两类。

### 2.1 信息感知技术

信息感知技术是指利用传感器、RFID、条码等技术手段，获取奶牛生长环境信息、生理信息、行为信息等，实现对奶牛信息的全方位、多角度的感知，为奶牛养殖、生产、经营、管理、服务决策等提供可靠的信息来源。<sup>[3]</sup>

#### 2.1.1 传感器技术

传感器、计算机、通信三大技术被形象的比作人的感官、大脑、神经，它们共同构成电子信息技术的三大支柱。<sup>[4]</sup>由于计算机和通信技术的发展较为成熟，因此传感器技术在物联网产业的发展中占有举足轻重的作用，成为制约物联网发展的关键。

在奶牛养殖中，传感器主要用于采集温度、湿度、光照等环境指标参数；测定二氧化碳、氨气、硫化氢、氮气和一氧化碳等有害气体含量；采集奶牛体温、呼吸频率、运动量等生理参数；使用免疫传感器检测奶牛疫病。

#### 2.1.2 标识技术

物联网的标识技术是以 RFID 技术和条码技术为基础的。RFID (Radio Frequency Identification)，即射频识别技术，是一种非接触式的自动识别技术，它通过射频信号自动识别目标对象并获取相关数据。<sup>[5]</sup>条码技术，是集条码理论、光电技术、计算机技术、通信技术、条码印制技术于一体的一种自动识别技术。<sup>[1]</sup>条码主要包括一维条码和二维条码两种，现今在农业物联网领域主要应用二维条码。

标识技术在奶牛养殖中主要应用于奶牛跟踪与识别、数字化精细养殖、原料奶溯源等方面。

### 2.2 信息传输技术

信息传输技术是指将奶牛个体及环境相关信息通过感知设备接入传输网络中，借助有线或无线的通信网络，随时随地进行高可靠度的信息交互和共享。在物联网领域，信息传输技术可分为无线传感网络技术 (WSN) 和移动通信技术两类。<sup>[1]</sup>

## 2.2.1 无线传感网络技术

无线传感器网络 (WSN) 是一种由传感器节点构成的网络,能够实时地通过节点监测、感知和采集监测区域的各种信息,并对这些信息进行处理后通过无线网络发送给观察者。<sup>[6]</sup>蓝牙、Wi-Fi、Zig Bee 技术是 WSN 中常用的短距离无线通信技术。

## 2.2.2 移动通信技术

移动通信系统从 20 世纪 80 年代诞生以来,现已经历四代发展历程。3G 网络已普遍覆盖,4G 网络正逐步推广,移动网络以其完善的设施、相对低廉的价格和大量的用户基础逐渐成为农业信息远距离传输的支柱。移动通信技术在我国物联网发展中占有举足轻重的地位。

# 3 物联网在奶牛养殖中的应用现状

## 3.1 国外应用现状

国外发达国家把奶牛养殖产业的发展水平作为现代农业特别是畜牧业发展水平的重要标志。物联网技术已经在国外奶牛养殖中得到大量应用,大大提高了奶牛养殖的精准化、信息化水平,使奶牛养殖产业产生了质的飞越。

以色列奶牛养殖产业在世界上处于领先地位。1979 年,以色列的阿菲金公司推出世界上第一台牛奶计量器。1984 年,该公司又推出世界上第一个计算机牧场管理系统—阿菲牧 (AfiFarm)。<sup>[7]</sup>这是一套完整的奶牛场信息管理系统,它包括牛奶流量计量器、身份识别器、奶牛管理和分析软件以及饲喂系统。其子系统发情监测系统 (AfiAct),是一套专门用来监测母牛发情的监测系统,该系统由固定在牛腿上的计步器和固定在挤奶房里的感应器组成,通过记录奶牛的运动频率来了解母牛的发情,极大提高了母牛受孕率。

美国是一个畜牧经济强国,同时也是世界上科学技术最发达的国家。美国大多数农场的奶牛都配备一个感应识别器,传感器与计算机相结合,可供农场主对奶牛个体进行实时监控。美国国内有许多种类的奶牛管理系统,包括环境监控、疾病诊断、健康报告以及牛奶质量控制等等。美国在畜牧科技方面走在世界前列。<sup>[8-11]</sup>1967 年,Updike 和 Hicks 报道了用于测定生物组织和溶液中葡萄糖的第一支酶电极。该电极标志着生物传感器的诞生。<sup>[12]</sup>1990 年,Henry 等提出了免疫传感器的概念,现今已有用于诊断奶牛乳腺炎的免疫传感器问世。2004 年初,美国北达科他州立大学(NDSU)的科研人员就研究出了使用 RFID 技术来检测疯牛病的方法。2006 年,Matti Pasteil 等人研制出了具有奶牛身体健康检测功能的挤奶机器人。<sup>[13]</sup>

欧洲的奶牛养殖产业十分发达，其物联网技术应用较为普及。荷兰在 70 年代中期就开始采用基于奶牛编号的自动识别器，并按奶牛产奶量实施精饲料定量配给技术，是欧洲最早实现奶牛场管理自动化的国家之一。1998 年 9 月，英国提出了牛跟踪系统计划，英国政府规定，2000 年 7 月 1 日以后出生的或者进口的牛都必须采取数字识别，到 1999 年底，欧盟各成员国都实施了这项计划。<sup>[14-16]</sup>

日本利用自身的科技优势，开发了自己的挤奶管理系统。此系统与其它国家的最大区别是利用自动化极高的挤奶机器人来完成繁琐的挤奶作业。2010 年，Masato Futagawa 等人设计了基于电导率传感器和温度传感器的奶牛健康实时监测系统，为奶牛疾病的及时发现与治疗提供了依据。<sup>[17]</sup>

韩国 K.S.Seo 等人在 AFITA/WCCA2004 年会上介绍了基于 RFID 技术的牛可跟踪系统。<sup>[18]</sup>该系统目标是为耳标识别等提供 RFID 标准，为消费者提供真实可靠的肉产品溯源信息，支持农户进行系统的饲养管理，提供一个全国性的家畜管理系统平台。

### 3.2 国内应用现状

物联网技术在奶牛养殖方面的研究与应用在我国起步较晚。国内的研究主要集中在奶牛场生产环境监测、奶牛生理监测、奶牛精细饲喂、溯源信息采集四个方面。目前，国内研制的一些相关设备已在一些奶牛养殖示范基地开始运用，但大部分产品还处于中试阶段，产品性能仍需进一步提高，距产业化推广仍有一定距离。

奶牛场环境因素包括温度、湿度、光照度、有害气体浓度等。恶劣的环境条件会使奶牛生产能力下降，发病率和死亡率增加。因此，奶牛场的环境监测尤为重要。在奶牛场环境监测方面，2002 年，张广军和武晓利研制出了新型高性能红外二氧化碳传感器，有效提高了传感器的精度、实时性和有效性。2009 年，柳平增、毕树生等人研制了畜禽规模养殖环境智能调控系统，能有效控制养殖环境温度。<sup>[19]</sup>2012 年，陈大竟、雷声等人设计了一款大范围高灵敏度纳米尺度氨气传感器，<sup>[20]</sup>该传感器应用于奶牛养殖产业，能精确测定牛棚氨气含量。2014 年，韩静、王熙等人针对目前封闭牛舍内小气候变化对奶牛生产性能产生不利影响的问题，研制出一套全自动无线智能环境采控器。<sup>[21]</sup>该设备可对牛舍内多点温度、湿度、有害气体浓度及光照等信息进行采集，并在牛舍内的液晶显示屏上实时显示采集到的信息。闫磊研究与设计了畜禽舍环境监测系统，<sup>[22]</sup>该系统可对畜禽舍内环境进行实时监控，保证了畜禽在最适宜的环境中生长与繁殖。

奶牛生理因素包括体温、呼吸频率、运动加速度等。监测奶牛生理因素有助于监测奶牛发情期以便于奶牛受孕，检测奶牛身体疾病等。在奶牛生理监测方面，2006 年，柳平增、丁为民等人设计了奶牛发情期自动检测系统。<sup>[23]</sup>该系统根据奶牛发情期活动量明显增加的特点，设计了奶牛计步器来采集奶牛的活动信息，并通过无线传输形式将信息传输给管理机进行处理，帮助奶农监测奶牛发

情期以便于奶牛及时受孕。2009 年, 丁守强、谭勋在诊断奶牛隐形乳腺炎的电流感免疫传感器方面进行了研究, 并取得了初步的成果。<sup>[24]</sup>2010 年, 尹令、刘财兴等人设计了基于无线传感器网络的奶牛行为特征监测系统。<sup>[25]</sup>通过在奶牛颈部安装无线传感器节点, 使用各种传感器获取奶牛的体温、呼吸频率和运动加速度等参数, 传输给系统进行处理, 从而可以长时间监测奶牛的健康状态。2011 年, 刘秋明、张晋国等人设计了奶生产奶量自动检测系统。该系统通过超声波传感器和单片机控制和检测奶牛产奶量, 快速且准确。<sup>[26]</sup>2012 年, 范永存、张喜海和李建泽设计了奶牛体温监测系统数据采集终端。<sup>[27]</sup>该终端采用了较为先进的芯片及红外温度传感器, 使测量误差小于 0.24℃。

奶牛精细饲喂是指根据奶牛个体状况差异采用不同的日粮配方, 从而达到精确饲养、降低成本及提高奶牛产奶量的目的。在奶牛精细饲喂方面, 2005 年, 熊本海、钱平等人与实现了基于奶牛个体体况的精细饲养方案。<sup>[28]</sup>他们通过应用 RFID、PDA、无线局域网等技术, 采集奶牛个体体况信息, 并将信息与模型相结合进行处理, 从而设计出针对奶牛个体的日粮配方。方建军研究与开发了用于奶牛定量饲喂的饲喂机器人。<sup>[29]</sup>该机器人利用霍尔传感器和无线识别装置分别实现自身的精确定位以及奶牛的识别, 效率高, 成本低, 有利于提高奶牛产奶量。2007 年, 田富洋、李法德等人设计了奶牛采食量检测仪。<sup>[30]</sup>该仪器通过传感器准确地测量并计算出奶牛的吞咽次数, 然后根据奶牛吞咽时食团质量的大小计算出奶牛的采食量。2009 年, 倪志江、高振江等人设计了基于射频识别技术和单片机技术的智能化个体奶牛精确饲喂机, 实现了个体奶牛精饲料量的精确饲喂。<sup>[31]</sup>2013 年, 李文、冯兴帅等人设计出一种奶牛自动计量食槽。该装置能自动识别奶牛个体, 记录奶牛个体采食量。<sup>[32]</sup>其配套管理软件还能分析奶牛个体采食量变化情况、个体间采食量差异情况和饲料供应及消耗情况等。

奶牛信息溯源技术可使人们方便获取奶牛养殖各个环节相关信息, 从而实现对奶牛溯源性可控管理。在溯源信息采集方面, 2009 年, 耿立微、钱东平等人建立了一种基于射频技术的奶牛身份识别系统,<sup>[33]</sup>该系统采用瘤胃式电子标识, 通过采用 RFID 技术与单片机和 PC 机相结合, 对存储奶牛信息的电子标签进行远距离识别, 从而及时的实现对每头奶牛的监控与管理。郭卫、钱东平等人对奶牛身份射频识别系统的防冲突技术进行了深入研究,<sup>[34]</sup>并设计了一套奶牛身份识别系统方案, 大大提高了奶牛的识别效率。2010 年, 李泉辉、钱东平等人对奶牛场无线传感网络进行了研究, 设计出了高性能、低功耗的单片机 ATmega32L 和无线通信模块 CRM2400CNC。<sup>[35]</sup>2011 年, 庞超、何建东等人设计了一种基于 RFID 和 WSN 的奶牛养殖溯源信息采集与传输方法,<sup>[36]</sup>并将其应用于奶牛养殖信息溯源系统。蔡文青和梁斌设计了基于 RFID 技术的原料奶安全溯源管理系统,<sup>[37]</sup>从而达到了控制原料奶品质的溯源管理的目的。

## 4 挑战与展望

目前,国内在奶牛养植物联网应用方面做了大量的研究,但仍有一些问题需要进一步去探讨。主要包括以下几个方面:

(1) 对奶牛饮水、排泄行为的监测系统的设计与研究。当前,研究重点大多集中在对奶牛采食行为的研究上,对奶牛其他行为的研究却很少,因此,需要研究人员根据奶牛不同的行为开发出不同的传感器设备,以更全面的去监测奶牛信息。

(2) 对奶牛发出的音频信息的监测。我们可以通过一个人发出的声音判断其精神状态,近期的身体状况。同样,我们也可通过奶牛发出的音频信息判断奶牛近期的精神和身体状况。因此,如何准确的搜集、分析奶牛的音频信息,并根据分析结果构建模型来预测奶牛精神和身体状况,是我们当前面临的一个挑战。

(3) 对奶牛活动视频信息的监测。目前,世界上主要通过计步器等设备监测奶牛活动。在视频监测与分析方面研究较少。将奶牛活动视频信息与奶牛行为建立映射关系,进一步提高机器视觉无损检测,这需要我们进一步去研究与探讨。

(4) 奶牛生长环境智能调控。奶牛生长环境信息的监测是为了按需调节奶牛生长环境。目前,我国在奶牛生长环境信息监测方面研究较多,但后续应用方面研究较少。因此,需要设计与研究一系列配套的智能环境调控系统。调控系统需要综合考虑、调节各项环境信息因素到一个相对合理的水平。这不仅需要计算机专家、工程技术专家和奶牛养殖专家的通力合作,而且需要进行长期的试验积累,具有较强的挑战性。

(5) 智能挤奶器的研发。目前,国内应用的挤奶器械属半自动化产品。未来,挤奶器的研究应朝智能化方向发展。通过 RFID 自动识别奶牛信息,根据奶牛信息判断适宜的挤奶量。挤奶器自动定位奶牛乳头位置,智能控制挤奶量。在挤奶的同时自动分析牛奶营养成分,根据营养含量判断奶牛进食情况、设计奶牛日料配方等。

展望未来,随着科技的不断进步,性能更加优异、智能化程度更高的传感器将被研制出来,奶农将获得更加详细、准确的奶牛相关信息。无线传感网络技术和移动通信技术的不断发展,使互联互通更加全面,通信质量大大提高。信息处理水平不断提高,系统模型不断优化,奶农将获得更智慧化的服务。

农业物联网的发展为奶牛养殖产业带来了前所未有的机遇。科学地、有效地将物联网技术与奶牛养殖结合起来,将极大的提高奶牛养殖水平,促进奶牛养殖产业的飞速发展。未来,物联网技术将应用到奶牛养殖的各个环节,奶牛养殖将变得更加科学化、智能化、现代化。

### 参考文献:

- [1] 李道亮.农业物联网导论[M].北京:科学出版社,2012.
- [2] International Telecommunication Union. ITU Internet Reports 2005: The Internet of Things[R].Tunis: World Summit on the Information Society(WSIS),2005.
- [3] 胡永利,孙艳丰,尹宝才.物联网信息感知与交互技术[J].计算机学报,2012,6:1147-1163.

- [4] 吴亚林,王劲松等.物联网用传感器[M].北京:电子工业出版社,2012.
- [5] 王保云.物联网技术研究综述[J].电子测量与仪器学报,2009,23(12):1-7.
- [6] 马祖长,孙怡宁,梅涛.无线传感器网络综述[J].通信学报,2004,25(4):114-124.
- [7] Sarah Trickett.AfiFarm provides tailored cow management system[J].Farmers Weekly,2012,158(24):48-49.
- [8] 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.
- [9] Akyildiz I F.Wireless sensor network: a survey[J].Computer Networks,2002,38:393-422.
- [10] Jahns G.Call recognition to identify cow conditions-a call-recognizer translating calls to text[J].Computers and Electronics in Agriculture,2008,62(1):54-58.
- [11] Clapham M W,Fedders M J,Beeman K,et al.Acoustic monitoring system to quantify ingestive behavior of free-grazing cattle.Computers and Electronics in Agriculture, 2011,76(1): 96-104.
- [12] UPdike S J,Hicks G P.The Enzyme Electrode.Nature.1967,214:986-988.
- [13] Matti Pasteil,Anna-Maija Aisla,Mikko Hautala, et al.Automatic Cow Health Measurement System in a Milking Robot[C].American Society of Agricultural and Biological Engineers annual international meeting 2006,2009:4432-4439.
- [14] Philippos Tragas,Elias S.Manolakos.Traceability from "farm to fork" using RFID technology[C].2010 17th IEEE International Conference on Electronics,Circuits and Systems.2010:958-961.
- [15] Maria Vlad,Roxana Andreea Parvulet,Madalina Stefna Vlad,et al.A Survey of Livestock Identification Systems[C].Latest Advances in Information Science,Circuits and Systems.2012:165-170.
- [16] Stankovski S.,Ostojic G.,Senk I. et al.Dairy cow monitoring by RFID.[J].Scientia Agricola,2012,69(1):75-80.
- [17] Masato Futagawa,Taichi Iwasaki,Mitsuyoshi Ishida et al.A Real-Time Monitoring System Using a Multimodal Sensor with an Electrical Conductivity Sensor and a Temperature Sensor for Cow Health Control[J].Japanese journal of applied physics,2010,49:04DL12:1-04DL12:4.
- [18] 钱平,郑业鲁,熊本海,等.射频识别技术及其在农业上应用[J].农业图书情报学刊,2005,2:16-19.
- [19] 柳平增,毕树生,苗良,等.畜禽规模养殖环境智能调控系统的研制[J].计算机测量与控制,2009,7:1316-1319.
- [20] 陈大竞,雷声,王仁慧,等.大范围高灵敏度纳米尺度氨气传感器的制备[J].分析化学,2012,1:145-149.
- [21] 韩静,王熙,王福丽,等.规模化养牛场全自动无线智能环境采控器研究[J].农机化研究,2014,12:19-23.
- [22] 闫磊.畜禽舍环境监测系统设计与研究[J].机械工程与自动化,2014,3:156-157.
- [23] 柳平增,丁为民,汪小岳,等.奶牛发情期自动检测系统的设计[J].测控技术,2006,11:48-51.
- [24] 丁守强,谭勋.诊断奶牛隐性乳腺炎的电流型免疫传感器的研究--工作电极的自组装及性能表征[C].全国兽医病理学、动物病理生理学学术会议论文集,2009:337-339.
- [25] 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[J].农业工程学报,2010,3:203-208.
- [26] 刘秋明,张晋国,霍晓静,等.奶牛产奶量自动检测系统的设计[J].农机化研究,2011,2:76-79.
- [27] 范永存,张喜海,李建泽.奶牛体温监测系统数据采集终端设计[J].东北农业大学学报,2012,8:48-52.
- [28] 熊本海,钱平,罗清尧,等.基于奶牛个体体况的精细饲养方案的设计与实现[J].农业工程学报,2005,10:118-123.
- [29] 方建军.饲喂机器人的研究与开发[J].农机化研究,2005,1:158-160.
- [30] 田富洋,李法德,李晋阳,等.奶牛采食量检测仪的设计与技术研究[J].仪器仪表学报,2007,2:293-297.
- [31] 倪志江,高振江,蒙贺伟,等.智能化个体奶牛精确饲喂机设计与实验[J].农业机械学报,2009,12:205-209.
- [32] 李文,冯兴帅,郭予伟,等.奶牛自动计量食槽的开发[J].中国奶牛,2013,13:40-42.
- [33] 耿丽微,钱东平,赵春辉.基于射频技术的奶牛身份识别系统[J].农业工程学报,2009,5:137-141.
- [34] 郭卫,钱东平,王辉,等.奶牛身份射频识别系统的防冲突技术[J].农业工程学报,2009,11:222-225.
- [35] 李泉辉,钱东平,李建国,等.奶牛场无线传感器网络设计研究[J].农机化研究,2010,5:68-71.
- [36] 庞超,何东健,李长悦,等.基于 RFID 与 WSN 的奶牛养殖溯源信息采集与传输方法[J].农业工程学报,2011,9:147-152.
- [37] 蔡文青,梁斌.基于 RFID 技术的原料奶安全溯源管理的研究及实现[J].湖北农业科学,2011,7:1473-1475.