

Research on Theories,
Methods and Key Technologies of
“IoT for Animal Farming”

“物联牧场” 理论方法与关键技术

刘继芳 张建华 吴建寨 等/著



科学出版社

“物联牧场”理论与关键技术

刘继芳 张建华 吴建寨 等 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书全面阐述了“物联网牧场”的理论、方法、技术、设备与应用情况。从“物联网牧场”构建的理论和架构方面入手,介绍了“物联网牧场”的关键技术、主要内容和应用进展;分析了“物联网牧场”关键技术的研究进展,预测了农业物联网技术发展方向,构建了“物联网牧场”在农业全产业链中应用水平评估指标体系及模型,从感知、传输、处理控制3个方面详细介绍“物联网牧场”共性关键技术;并围绕家禽、生猪和奶牛3个品种展开了“物联网牧场”技术集成与装备设计,涉及畜牧生产中的饲喂、环控、疫病、动物福利、繁育等环节控制,以及生产环境控制模型和大数据的架构设计与处理研究;涵盖了家禽、生猪、肉牛和奶牛等品种的“物联网牧场”示范与推广,全面阐述了未来发展面临的机遇挑战与对策建议。

本书适合从事畜牧养殖及农业信息化建设工作的各级行政人员、科研工作者和相关企业人员阅读,也可供在校学生和对物联网牧场感兴趣的人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

“物联网牧场”理论与关键技术/刘继芳等著. —北京:科学出版社, 2018.3

ISBN 978-7-03-056792-5

I. ①物… II. ①刘… III. ①互联网络-应用-牧场管理 ②智能技术-应用-牧场管理 IV. ①S812.95-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第048775号

责任编辑:王 倩/责任校对:彭 涛

责任印制:张 伟/封面设计:无极书装

版权所有,违者必究。未经本社许可,数字图书馆不得使用

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年3月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018年3月第一次印刷 印张:16 1/4

字数:380 000

定价:150.00 元

(如有印刷质量问题,我社负责调换)

编写委员会

主 笔 刘继芳 张建华 吴建寨

副 主 笔 韩书庆 张 晶 孔繁涛

编写成员 曹姗姗 彭 华 沈 辰 周向阳

朱孟帅 李俊杰 王雍涵 张宏宇

孙 伟 李 凯 李斐斐 丁娇娇

赵益祯 葛章明 阮怀军 尚明华

熊本海

序

畜牧业从远古走来，带着历史的烙印，和农业的分离便成就了人类的第一次社会大分工。恩格斯认为，“有些最先进的部落——雅利安人、闪米特人，也许还有图兰人——，其主要的劳动部门起初就是驯养牲畜，只是到后来才是繁殖和看管牲畜。游牧部落从其余的野蛮人群中分离出来——这是第一次社会大分工。”第一次社会大分工有力地促进了生产力的发展，带来了更多的劳动产品，并由此产生了第二次、第三次社会大分工，进而形成城乡分工、脑体分工，加速了人类社会从原始到现代、从野蛮到文明的发展历程。畜牧业从原始畜牧业，发展到传统畜牧业，直到目前的现代畜牧业，一直是农业生产力，甚至是社会生产力发展水平的重要标志，代表着生产力发展的方向。近年来，我国畜牧业持续稳定健康发展，2016年肉类、禽蛋、牛奶产量分别为8540万t、3095万t、3602万t，分别位居世界第一、第一、第三位，畜牧业占农业总产值的28.3%，逐渐成为农业经济发展的支柱产业，成为农民增加收入的重要渠道，成为乡村振兴战略的永续动力。

当古老的畜牧业一路走来，历经沧桑岁月的洗礼，与摩尔定律效应下的现代信息技术不期而遇，必将淬火成钢，不断焕发出新活力、新驱动、新机遇。当今世界，信息技术日新月异、突飞猛进，在自觉与不自觉的过程中正在改变着、颠覆着人类生活、生产和思维方式，正在引发新一轮科技革命和产业变革，彰显出强大动力和无限生机。物联网、云计算、大数据、人工智能、机器深度学习等新技术驱动网络空间从人人互联向万物互联演进，人、机、物将融为一体，数字化、网络化、智能化服务将无处不在。从社会发展史看，人类经历了农业革命、工业革命，正在经历信息革命，对信息化发展的迫切需求达到前所未有的程度。信息化代表新的生产力和新的发展方向，已经成为引领创新和驱动转型的先导力量。

习近平总书记强调：“网信事业要发展，必须贯彻以人民为中心的发展思想。”“要适应人民期待和需求，加快信息化服务普及，降低应用成本，为老百姓提供用得上、用得起、用得好的信息服务，让亿万人民在共享互联网发展成果上有更多获得感。”以物联网为代表的现代信息技术，运用于畜牧生产实际，产生了良好的融合效应，形成了畜牧业与物联网的交叉学科研究方向。伴随着物联网技术的迅猛发展，物联网在畜牧业中的应用持续深入，正在融入畜牧业生产、市场流通与畜禽产品消费的各个环节，成为畜牧业发展新的增长点和催化剂，不断推动畜牧业由传统向现代的转变，不断提高畜牧业资源利用率和劳动生产率，不断催生畜牧业提质增效的新动能。加快畜牧业物联网技术研究，是建设畜牧业现代化发展的必然选择，是加快畜牧业供给侧结构性改革的重大课题，是实现创新、协调、绿色、开放、共享五大发展理念的基本路径。

信息化建设永远在路上，畜牧业物联网技术研究永无止境。在畜牧业信息化建设进程中，我们欣喜地看到，中国农业科学院农业物联网创新团队，面向世界农业科技前沿、

面向国家重大需求、面向现代农业建设主战场，以建设“双一流”为导向，将物联网技术等信息技术与畜牧业现代化发展有机地结合起来，不断开拓创新，坚持有决心、有恒心、有重心，创新性地提出了“物联牧场”理论方法和技术体系。该书系统阐述了“物联牧场”的基本理论与技术架构，深入分析了“物联牧场”的传感技术、传输技术、处理技术以及集成技术，重点研究了基于“物联牧场”家禽、生猪和奶牛的关键技术、装备设计与示范应用，并分析预测了“物联牧场”的未来发展趋势。

读罢书稿，掩卷深思，感悟颇多，惟愿作者学术研究百尺竿头更进一步，为我国畜牧业现代化、信息化建设做出新的更大的贡献，遂欣然提笔作序。

李名扬

2018年1月

前言

物联网被誉为继计算机、互联网之后的第三次信息技术科技革命，已成为世界各国竞相聚焦的战略性高地。在人类史上，没有一个时代曾经见证物联网对科技民生、城市发展、节能环保、农业生产等方面产生爆炸性的影响和作用，万物互联有力地把人与周围的物相互有机连接，实现对物品与过程的感知、识别与控制，助推着“信息随心至，万物触手及”时代的到来，使得人们生活、生产更加智慧化与智能化。当今，物联网蕴育着巨大的创新潜力，正以强大的驱动力引领着世界的变革，推动着人类社会创新发展。

农业物联网作为物联网领域的重要分支，它是物联网与农业生产实际紧密结合的技术产物，也是物联网与农业相融合的创新表达。党的十八大以来，我国早已确定了农业物联网在农业领域的战略性地位，国家《物联网“十二五”发展规划》将农业列为物联网重点应用领域，进一步明确提出要在农业领域实现物联网的试点示范应用。农业部在农业领域物联网应用总体设想中明确指出，物联网技术是发展现代农业的重要支撑。2014年中央1号文件、农业部印发的《农业物联网区域试验工程工作方案》和《全国农业农村信息化发展“十二五”规划》均对农业物联网产业的发展提出指导和规划，为农业物联网技术研发与应用提供政策保障，要让农业物联网更好促进农业生产、改造传统生产、发展现代农业。

畜牧业是农业的重要支撑，是人类获得动物性食物的主要来源，在国民经济发展中占有重要地位，畜牧业产值占农业总产值的比例可以作为衡量一个国家人民生活水平高低的重要指标。伴随我国社会经济发展新常态化，在市场拉动和政策引导下，畜牧业综合生产能力持续上升，生产方式加快转变，产业地位不断提升，整体趋向规模化、集约化、标准化，我国畜牧业正处在从传统养殖方式向现代养殖方式过渡的关键阶段。物联网技术为传统畜牧业改造提供了新路径，将物联网技术应用于畜牧生产、经营、管理和服务各环节，对牧场产前、产中、产后全过程进行实时监控，实现牧场的人、机、物一体化互联，是发展标准化、规模化养殖，建成现代畜牧业的基本走向。

发达国家于20世纪90年代开始在设施养殖场广泛应用物联网技术，起步早、发展迅速，形成了“畜牧业工厂化生产+自动化、智能化物联网技术发达+农民文化程度高”的集约化模式。在一批致力于畜牧业物联网技术基础研究的科研院所、创新型研发企业的推动下，我国“物联牧场”技术的理论研究与应用实践也取得了一定成果，从家畜个体的编码与标识，生产过程的数据采集与传输，家畜个体的精细饲养控制，到畜产品全程质量安全溯源等环节，制定了相应的标准与规范，研发了相应技术产品与网络控制智能平台，这些技术在具有一定信息化基础的畜牧企业得到了示范应用。“物联牧场”技术引领我国畜牧业发展走向精细化、智能化。

本书全面阐述“物联牧场”的研究进展、核心技术、应用系统、集成框架、应用示

范等内容。主要反映了近 5 年来本研究团队承担国家重大研发计划、国家科技支撑计划、国家自然科学基金、北京市自然基金、农业部软科学等项目取得的科研成果，主要有国家重大研发计划“畜禽现代化饲养关键技术研发”（编号：2017YFD0502006）、国家科技支撑计划课题“基于物联网技术的农业智能信息系统与服务平台”（编号：2012BAH20B00）、国家自然科学基金项目“蔬菜价格时空传导机理及异地关联预警研究”（编号：71573263）、农业部农业信息监测预警研究任务等相关研究成果。

全书共 10 章，分别从“物联牧场”的理论、技术和实践等方面进行阐述。第一章从“物联牧场”构建的理论和架构方面入手，介绍“物联牧场”构建的关键技术、主要内容和应用进展；第二章全面介绍“物联牧场”关键技术的研究进展，分析预测农业物联网技术发展方向，介绍“物联牧场”在农业全产业链中应用水平评估指标体系及模型构建；第三章从感知、传输、处理控制 3 个方面详细介绍“物联牧场”共性关键技术，阐述物联牧场技术集成与装备设计；第四～六章分别介绍了“物联牧场”家禽、生猪和奶牛关键技术与装备设计；第七章分别介绍“物联牧场”家禽、生猪和奶牛生产环境控制模型；第八章详细介绍“物联牧场”大数据架构、数据标准化处理方法，物联牧场信息平台、信息管理系统和移动终端程序；第九章分别介绍家禽、生猪、肉牛和奶牛“物联牧场”示范与推广；第十章全面介绍“物联牧场”发展面临的机遇与挑战、发展需求与趋势以及发展对策与建议。

“物联牧场”建设是复杂的系统工程，涉及电子、信息通信、计算机、畜牧兽医等若干学科和领域的交叉和集成，信息感知、信息传输、处理和控制技术飞速发展，限于作者的视野与经验上的限制，书中难免存在不足之处，我们很高兴听到读者提出的任何批评与建议。

作 者
2018 年 1 月

目 录

序

前言

第一章 “物联牧场”理论与架构	1
一、“物联牧场”研究背景	1
二、“物联牧场”基本内涵	2
三、“物联牧场”研究价值	3
四、“物联牧场”研究目标	5
五、“物联牧场”体系架构	7
六、“物联牧场”关键技术	8
七、“物联牧场”应用进展	10
八、本章小结	13
参考文献	13
第二章 研究现状与预测分析	14
一、“物联牧场”感知技术研究进展与性能分析	14
二、基于文献分析的农业物联网技术发展方向预测研究	24
三、基于专利分析的农业物联网技术发展方向预测研究	32
四、农业物联网前沿技术分析与预测研究	39
五、农业物联网在农业全产业链中应用水平评估指标体系及模型构建	44
六、本章小结	50
参考文献	51
第三章 “物联牧场”共性技术研制与装备设计	56
一、“物联牧场”感知技术	56
二、“物联牧场”传输技术	70
三、“物联牧场”处理技术	73
四、“物联牧场”技术集成与装备设计	77
五、本章小结	84
参考文献	84
第四章 “物联牧场”——家禽关键技术与装备设计	87
一、蛋鸡物联网技术与装备设计	87
二、肉鸡物联网技术与装备设计	96
三、肉鸭物联网技术与装备设计	105
四、本章小结	116
参考文献	117

第五章 “物联牧场”——生猪关键技术与装备设计	118
一、生猪环境控制技术与装备设计	118
二、生猪生产管理技术与装备设计	131
三、生猪状态监控技术与装备设计	141
四、本章小结	151
参考文献	151
第六章 “物联牧场”——奶牛关键技术与装备设计	153
一、奶牛养殖控制技术与装备设计	153
二、奶牛挤奶监测技术与装备设计	162
三、奶牛个体状态检测与评估装置	166
四、本章小结	183
参考文献	183
第七章 “物联牧场”生产环境控制模型	185
一、家禽生产环境控制模型	185
二、生猪生长环境控制模型	191
三、奶牛生长环境控制模型	195
四、本章小结	198
参考文献	198
第八章 “物联牧场”大数据技术研究	199
一、“物联牧场”大数据架构设计	199
二、“物联牧场”数据标准化处理	208
三、“物联牧场”信息平台	211
四、“物联牧场”信息管理系统	216
五、“物联牧场”移动终端程序	218
六、本章小结	220
参考文献	221
第九章 “物联牧场”示范与推广	222
一、家禽“物联牧场”示范与推广	222
二、生猪“物联牧场”示范与推广	231
三、肉牛及奶牛的“物联牧场”示范与推广	236
四、本章小结	241
参考文献	242
第十章 结论与展望	243
一、“物联牧场”发展面临的机遇与挑战	243
二、“物联牧场”发展需求与趋势	245
三、“物联牧场”发展对策与建议	246
四、本章小结	248
参考文献	248

第一章 “物联牧场”理论与架构

畜牧业是农业的重要组成部分、农民就业增收的重要途径。将物联网技术应用于畜牧养殖，建立“物联牧场”，对牧场的生产、经营、管理、服务的全要素、全过程和全系统进行实时监测和智能管理，改善畜禽生长环境、健康状态、动物福利，提高畜禽产品产量，减轻畜禽养殖对环境的影响，促进畜禽养殖产业现代化发展，是我国农业现代化建设的重要内容。

一、“物联牧场”研究背景

20世纪中后期以来，信息技术取得了迅猛的发展，并广泛应用于人类经济和社会的各个领域，其中，农业是主要的应用领域之一。作为新一代信息技术的重要内容，物联网表现出强劲的发展势头，并深入渗透到农业领域的各个方面。“物联牧场”就是物联网技术在牧场生产、经营、管理和服务中的集中应用，它的发展对促进传统畜牧业转型及建设现代农业具有重要意义。

（一）“四化同步”为发展“物联牧场”提供了历史机遇

党的十八大报告指出，要“促进工业化、信息化、城镇化、农业现代化同步发展”。其中，信息化是推进其他“三化”的关键技术手段。积极促进现代信息技术与农业的融合，将成为实现农业现代化的必然选择。国家对信息化的高度重视将为信息化发展打开新的空间，为物联网技术发展增添新的活力。因此，作为物联网技术在现代畜禽生产和管理领域中的应用，“物联牧场”面临难得的历史机遇。

（二）物联网已经成为我国新兴的战略支柱产业

当前，物联网受到世界各国的高度重视，我国政府也将物联网确定为加快培育和发展的新兴战略性支柱产业。在国家《物联网“十二五”发展规划》中，农业被列为物联网重点应用的领域；国务院进一步明确提出，要在农业领域实现物联网的试点示范应用，做好典型应用示范工程。畜牧业是农业的主要组成部分，“物联牧场”具有广阔的发展前景。

（三）物联网技术为传统畜牧业改造提供了新路径

当前，我国畜牧业正处在从传统养殖方式向现代养殖方式过渡的关键阶段，传统畜牧业改造对物联网技术存在重大需求。“物联牧场”综合运用各种先进感知设备，实时采集畜禽的饲养环境及生长体征等信息，科学分析各类信息，实现对牧场生产的全

程监控、实时服务与科学决策。它的发展将为畜牧业良种繁育、饲养管理、质量控制、疫病防治和生长环境监测等方面带来重大变革，为传统畜牧业的转型升级提供新的手段和路径。

二、“物联牧场”基本内涵

（一）物联网

物联网是通过智能传感器、无线射频识别（radio frequency identification, RFID）、激光扫描仪、全球定位系统（global positioning system, GPS）和遥感等信息传感设备及系统与其他基于机器对机器通信模式（machine to machine, M2M）的短距无线自组织网络，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、监控和管理的一种巨大智能网络^[1]。

物联网的概念于 1999 年由美国麻省理工学院自动标识中心提出，旨在把所有物品通过 RFID 标签等信息传感设备与互联网连接，实现物品的智能化识别和管理。随着技术和应用的不断发展，物联网的内涵也不断拓展，已不局限于 RFID 技术，而是泛指通过 RFID 红外感应器、GPS 和激光扫描器等信息传感设备，按约定的协议，把任何物品与互联网相连接，进行信息交换和通信，以实现物品的智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。物联网为畜牧全产业链的转型升级提供了机遇。

（二）农业物联网

经过十几年的发展，物联网技术与农业领域应用逐渐紧密结合，形成了农业物联网的具体应用。农业物联网是物联网技术在农业生产、经营、管理和服务中的具体应用。首先，运用各类传感器、RFID 和视觉采集终端等感知设备，广泛地采集大田种植、设施园艺、畜禽养殖、水产养殖及农产品物流等领域的现场信息；其次，通过建立数据传输和格式转换方法，充分利用无线传感器网络、电信网和互联网等多种现代信息传输通道，实现农业信息的多尺度的可靠传输；最后，将获取的海量农业信息进行融合、处理，并通过智能化操作终端实现农业的自动化生产、最优化控制、智能化管理、系统化物流、电子化交易，进而实现农业集约、高产、优质、高效、生态和安全的目标^[2]。

（三）物联牧场

牧场是经营畜牧业的生产单位，也是包含畜牧、自然、经济和人类活动的复杂系统。因此，“物联牧场”必须遵循农业物联网中的全要素、全过程和全系统的“三全”化发展理念，才能确保其科学持续性发展。

“物联牧场”是将物联网技术应用在牧场的生产、经营、管理和服务中，运用养殖环境监测传感器、生理体征监测传感器和视频信息采集传感器等设备感知饲料、水、生命体、生产器械、能源动力、运输及劳动力等生产要素，通过无线传感网络、互联网与智能化处理等现代技术，构建包含牧场正常运转所涉及的自然、社会、生产和人力资源

等的复杂系统,形成人机物一体化的闭环系统及畜牧养殖的智慧管理技术体系,实现牧场产前、产中、产后的过程监控、科学决策和实时服务,达到牧场人机牧一体化,进而实现畜牧养殖的高产、优质、集约化和精细化的目标。

三、“物联牧场”研究价值

畜牧业现代化可以简单地概括为养殖方式集约化、饲养管理自动化、质量控制追溯化、疫病防治即时化、养殖环境清洁化和畜禽品种良种化,而养殖方式的转变、饲养管理的科学、质量控制的监管、疫病防治的即时、养殖环境的清洁、品种改良的先进都需要现代“物联牧场”技术的支撑。

(一)“物联牧场”研究与应用,能够促进畜禽养殖产业现代化发展水平

改革开放以来,我国畜禽养殖方式发生了根本性的改变,即由分散饲养向规模化饲养转变,由家庭副业向支柱产业转变,由粗放饲养向集约饲养转变,由劳动密集型向技术、资金密集型转变,由传统畜牧业向现代畜牧业转变。根据国家统计局统计,生猪年出栏 50 头以下养殖户比重由 2003 年的 71.60%下降至 2012 年的 32.08%,而年出栏 500 头以上养殖户比重由 2003 年的 10.60%增加至 2012 年的 38.00%;肉牛年出栏 10 头以下养殖户比重由 2003 年的 68.50%下降至 2012 年的 56.24%;羊年出栏 30 头以下养殖户比重由 2003 年的 56.60%下降至 2012 年的 45.04%。养殖方式的根本性转变,迫切需要“物联牧场”技术进行实时监测,减少人力物力的投入,提高生产的规模效益。

(二)“物联牧场”研究与应用,能够加快畜牧业的提质增效和转型升级

适应养殖方式规模化、集约化的发展,单纯地依靠传统的人力饲养,很难满足精准饲喂、自动喂养、科学管理的需要。在“物联牧场”中,通过畜禽个体传感器(如压力传感器和红外传感器等),实时传输畜禽个体生理状态数据,监测畜禽个体数据异常情况,并将数据及时反馈生产者,同时,通过对不同个体生理状态的监测,结合专家系统,对畜禽饲料进行科学配比、精细饲喂,既能保证畜禽生长所需能量,又能节约生产成本,是自动化饲养的核心内容。目前,我国肉鸡、蛋鸡、规模养猪的自动化程度相对比较高,而肉牛、肉羊、绵羊的自动化程度和国外相比仍有较大的差距。根据国家统计局,2010 年我国奶牛养殖量为 1258 万头,产奶量为 3600 万 t,而美国奶牛养殖量仅为 910 万头,产奶量却高达 8750 万 t,是中国的 2.43 倍,按每头奶牛年产奶量计算,美国是中国的 3.36 倍。澳大利亚和新西兰的奶牛单产分别是中国奶牛单产的 2.02 倍和 1.26 倍。世界发达国家普遍使用了奶牛群体改良(dairy herd improvement, DHI)技术,实施奶牛牛群改良,而我国只是在个别地方才应用。DHI 是以物联网技术为基础,测定奶牛个体单产数据、牛群基础资料,综合评定奶牛生产性能和遗传性能,是世界公认的饲养管理的科学手段。

(三)“物联牧场”研究与应用,能够保障畜牧养殖质量安全可追溯

畜禽及产品质量安全,涉及畜牧业的持续、稳定、健康发展,涉及人民群众的身体健

康和生命安全,已经成为国家安全的重要组成部分;但目前,畜产品质量安全事件频频发生,成为社会 and 人民群众关注的焦点问题。畜禽产品质量安全问题主要包括动物疫病、兽药残留、加工流通过程中的二次污染,是覆盖从“牧场到餐桌”的关键问题。近年来,随着信息技术的迅猛发展,利用物联网的 RFID、条形码和电子“药丸”等技术,对畜禽生产、加工、流通和消费实施全过程监管,对发现的问题产品进行追踪溯源,实现全过程、全环节、全方位的可追溯,是有效防止畜禽产品安全事件发生的重要手段。在“物联牧场”中,畜产品物联网溯源平台已经基本完善,每一种产品都可以通过标识在“物联牧场”的溯源平台中查到其产地、销地,并通过溯源系统对其质量进行严格把关。

(四)“物联牧场”研究与应用,能够提升畜牧重大疫病预警与防治水平

重大动物疫病(如高致病性禽流感、口蹄疫、新城疫、猪瘟,以及其他流行性动物疫病)不仅关系到畜牧业的发展,而且关系到农民增收和人民群众健康。近年来,世界各地多次发生动物疫情失控事件,对畜牧业的发展产生了灾难性的影响,造成了严重的经济损失,如何及时有效地开展监测预警工作、进行动物疫病防治,是一直以来困扰畜牧业发展的难题。将以物联网技术为代表的信息化运用于畜禽生产实际,为动物疫病防治工作提供了广阔的空间。物联网技术可以感知畜禽个体及群体的生理变化和行爲特征(如温度、采食量、活动量等数据),结合历史数据,及时监测畜禽个体的差异性,见微知著、防患未然,进而有效防控动物疫病的产生、发展和蔓延。

(五)“物联牧场”研究与应用,能够促进畜牧业健康养殖和绿色发展

用循环经济的理念发展现代畜牧业,通过资源利用节约化、生产过程清洁化和废物利用再生化等环节,减少畜禽生产污染物排放、控制畜禽养殖环境,以达到改善畜禽产品质量的目标,是实现畜禽清洁化生产的重要途径。畜牧业生长环境是影响畜禽产品产量和质量的关键因素,传统畜禽养殖环境很难做到精确控制,畜禽产品产量和质量都难以保证,物联网技术为畜禽生长环境的自动控制提供了条件。通过传感器采集牧场环境信息(光照、温度、湿度、二氧化碳和硫化氢等),并将信息通过无线传输技术(GPRS^①与 ZigBee^②等)传输到服务器,应用程序通过将收集到的数据与标准数据库中的数据相比较,结合专家系统,科学准确地计算畜禽养殖环境的数据,并通过自动控制技术(温度控制器、光照强度控制器与二氧化碳发生器等)等对畜禽生长环境进行精确控制,为畜禽提供一个更加良好的生长环境。

(六)“物联牧场”研究与应用,能够带动畜禽品种良种化和精品化

畜禽良种是畜牧业发展的物质基础,是和畜牧业现代化同步发展的生产要素,属于技术密集型产业。正在兴起的生物信息学是研究生物信息的采集、处理、存储、传播、分析和解释等各方面的学科,它通过综合利用生物学、计算机科学和信息技术而揭示大量而复杂的生物数据所赋有的生物学奥秘。在分子水平上,进行畜禽品种的选择、培育,

① 通用分组无线服务(general packet radio service, GPRS)。

② ZigBee(也称紫蜂)是一种低速短距离传输的无线网络协议。

是现代育种的重要方式。利用物联网技术，通过监测发情期母畜生理变化情况和仔畜生长发育情况，对畜禽良种选择具有重要意义。以奶牛为例，发情期的奶牛，其活动量和步行数等都远大于其他奶牛，通过对奶牛行为进行监测，可以实时了解奶牛的发情状况，科学预测奶牛发情时间，及时进行人工授精，保证奶牛产奶质量。

四、“物联牧场”研究目标

“物联牧场”是一个包含畜牧、自然、经济和人类活动的复杂系统，必须找准重点进行系统研究，才能突破发展瓶颈，提升物联牧场发展水平。物联牧场研究重点包括研究领域和技术研发两个方面。研究领域主要集中在环境、饲养、疫病、繁育等畜牧养殖关键环节方面，通过物联网与现代信息技术，提高畜牧养殖环境的清洁、促进饲料喂养的精细化、降低疫病防治的滞后性、加快畜禽优良品种的推广。技术研发主要集中在传感器技术、传输技术与智能装备上，在“物联牧场”发展中，传感器技术仍然是发展的关键，是否能研发出低成本、高精端、高灵敏度的传感设备，将直接制约“物联牧场”发展的水平，光纤、红外、生物等新型传感器的研发，以及自动化智能化兼具可远程操控装备的研制，将为“物联牧场”的发展奠定技术基础。

在物联网技术快速发展的今天，动物及其产品在繁育、环境、饲养、疫病、质量追溯等各个方面都发生了革命性的变化，以“物联牧场”为代表的现代畜牧业，正向着更智能、更高效的方向发展。“物联牧场”的结构示意图，如图 1.1 所示。

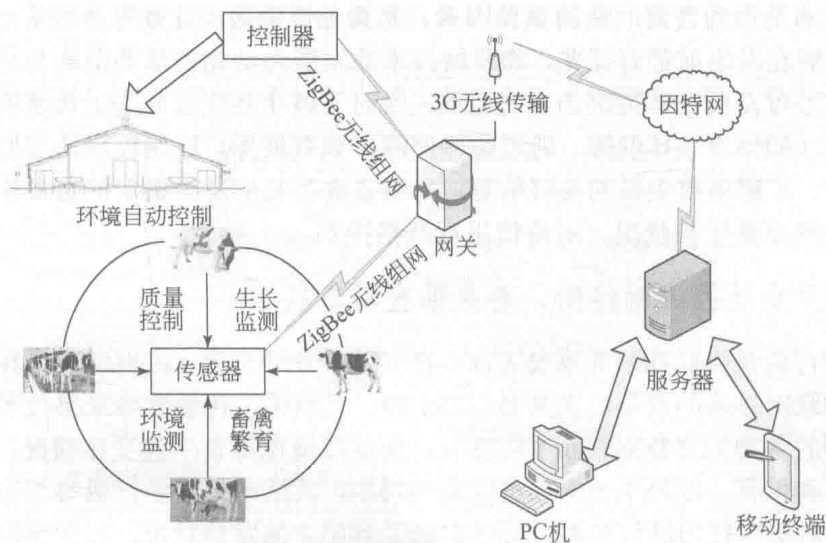


图 1.1 “物联牧场”的结构示意图

（一）光温水气自动控制，生长环境精确模拟

畜禽的生长环境对畜禽产品产量和质量的影响尤为重要。我国现阶段大部分养殖场都无法做到对畜禽养殖环境进行精确控制，因此难以进一步提高畜禽产品的产量和质

量；而物联网技术为畜禽生长环境的自动控制、精确模拟提供了必要的路径。通过光照、温湿度、气体传感器等采集牧场环境信息，将采集到的信息通过无线传输技术（WSN）和移动通信技术，如蓝牙、Wi-Fi、ZigBee、3G 技术等传输到服务器，应用程序将收集到的数据与数据库中的标准数据进行对比，集合专家系统、畜禽生长模型等模型系统，科学准确地计算出畜禽养殖环境数据，然后将指令发往终端设备，通过自动控制技术（温度控制器、光照强度控制器、CO₂发生器等）对畜禽生长环境进行精确控制，从而提供一个良好的畜禽生长环境，促进畜产品产量和质量提高。

（二）生长状态实时反馈，畜禽生长精细饲养

畜禽在生长过程中，其个体的生长状态（如身高、体重、年龄、体温等）会发生巨大的变化，针对不同的个体生长状态，采用适合不同个体生长的饲料配方，对畜禽进行精细化饲养管理，才能更有效地促进畜禽生长，进而提高畜禽产品产量和质量。在物联牧场中，通过畜禽体征指标传感器，如压力传感器、红外传感器，实时搜集畜禽个体生理状态数据，并将数据及时传输到服务器，集合畜禽精细饲喂模型，对畜禽饲料配方进行科学配比，从而保证畜禽生长所需各种营养成分，节约生产成本，提高畜禽产品产量和质量；同时，监测畜禽个体数据异常情况，将数据及时反馈给生产者，做到实时监测、实时反馈、实时处理。

（三）动物疫病实时监测，疫情预警严格控制

动物疫病是影响畜禽产量的重要因素，尤其是传染病，对畜禽养殖是一个极大的威胁。动物疫病在发生前都有征兆，物联网技术的发展为动物疫病的监测与预警提供了技术支撑。通过对畜禽个体情况的实时监测，及时了解个体生长状态，传感器将畜禽个体的生理数据（如体重、体温等）通过传输网络传到数据库，应用程序通过监测数据库中的实时数据，了解畜禽生长的实时信息，并将畜禽生长信息与最新的畜禽疫病数据相对比，及时监测畜禽生长状况，对疫情进行严格控制。

（四）母畜数据实时传输，畜禽繁育动态监测

畜禽繁育是畜牧业养殖的重要方面，在养殖产业环节中，占据着一个相当重要的地位。随着物联网技术的发展，尤其是以 RFID、二维码、传感器等采集技术的进步，母畜在发情期的各种生理数据都会发生变化，通过发情期母畜生理变化情况，科学地对畜禽进行配种和生育。以奶牛为例，发情期的奶牛，其活动量、步行数等都远远大于其他奶牛，通过对奶牛行为进行监测，可以实时了解奶牛的发情状况，科学预测奶牛发情时间，及时进行人工授精，提高奶牛受孕率。在奶牛怀孕期，通过对奶牛身体状态进行监测，及时了解奶牛生长状况，保证奶牛顺利产仔。

（五）质量管理精确控制，产品溯源可持续化

随着经济生活的发展，尤其是近几年食品安全事件频发的影响，农产品溯源技术越来越受到重视，物联网技术的进步，极大提高了农产品溯源技术的水平。在物联牧场中，

以二维码和 RFID 技术为主的个体标识技术已经得到了广泛的应用，畜牧业物联网溯源平台已经基本完善。物联牧场生产的每一种产品，都可以通过标识在物联牧场的溯源平台中查到其产地、销地，并通过溯源系统对其质量进行严格把关。

五、“物联牧场”体系架构

“物联牧场”的体系架构可分为感知层、传输层和应用层三个层次，分别用以畜牧养殖场的信息感知、传输与处理，实现牧场现代化管理的一体化物联网技术体系与系统架构（图 1.2）。

一是感知层，即利用 RFID、传感器和二维码等随时随地获取物体的信息。主要是研发不同类型的传感器感知畜禽个体标识、畜禽养殖环境参数、畜禽体型参数、畜禽生命体征和畜禽行为。畜禽个体标识主要是指 RFID 电子标签。畜禽养殖环境参数主要包括气象环境参数（如温度、湿度、风速、风向、降雨量、光照强度）和气体环境参数（如硫化氢、二氧化碳、氨气、甲烷、氧气和一氧化碳等）。畜禽体型参数主要包括体重、身体尺寸和体型得分等。畜禽生命体征主要包括体温、呼吸频率和瞳孔对光反射等。畜禽行为主要包括采食、饮水、排泄、叫声、步态和攻击行为等。

二是传输层，采用无线传输技术（ZigBee）或无线公网（2G/3G/4G 网络^①）将感知层采集到的畜禽个体标识、畜禽养殖环境参数、畜禽体型参数、畜禽生命体征和畜禽行为等数据远程传输到服务器。对监控视频等数据量比较大的数据则通过以太网传输到服务器。传输层的研究主要侧重在无线传感网络技术在畜禽养殖中的推广应用。



图 1.2 “物联牧场”体系架构

三是应用层，把感知层得到的信息进行处理，实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理等实际应用。典型的应用包括通过开发手机 APP，实现对畜禽养殖环境和畜禽各

① 第二代手机通信技术（2-generation wireless telephone technology, 2G），第三代移动通信技术（3-generation wireless telephone technology, 3G），第四代手机移动通信技术（4-generation wireless telephone technology, 4G）。
② 无线宽带（wireless-fidelity, Wi-Fi）。