

奶牛精量饲喂系统

关键技术研究与应用

范永存 李 珂 / 著



科学出版社

奶牛精量饲喂系统关键技术 研究与应用

范永存 李珂 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书针对奶牛精细养殖过程中精饲料的精量调控和体温的实时监测问题,介绍了以射频识别技术为基础的奶牛个体识别模块和基于单片机的给料装置及其控制器设计方案,以及基于红外温度传感器和无线传感器网络技术的奶牛体温监测系统设计方案,分析了无线传感器网络高效方法,介绍了用 VB.net 开发的监控中心程序设计。

本书从实际应用的角度,提供了完整的低成本奶牛精量饲喂和体温监测方案,并给出较为详细的理论分析,可供农业工程领域精细养殖系统开发人员和其他技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

奶牛精量饲喂系统关键技术研究与应用 / 范永存, 李珂著. — 北京: 科学出版社, 2018.9

ISBN 978-7-03-058774-9

I. ①奶… II. ①范… ②李… III. ①肉牛-饲养管理 IV. ①S823.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 208096 号

责任编辑: 张 展 杨悦蕾 / 责任校对: 黄 嘉

责任印制: 罗 科 / 封面设计: 墨创文化

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>

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年9月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2018年9月第一次印刷 印张: 8 1/2

字数: 171 千字

定价: 69.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

奶牛养殖业是我国农业产业结构中最具发展潜力的行业之一。当前，奶牛规模化养殖迅速发展，把现代科学技术用于奶牛的精细化养殖，是规模化奶牛养殖取得良好效益的重要途径。在不同的生长时期和泌乳期各阶段，奶牛对营养需求有所不同，养殖中的饲喂策略也要相应调整。精饲料对提高奶牛产奶量作用很大，但成本较高，而且过量摄入精饲料会改变奶牛的进食习惯，影响奶牛健康。因此，在奶牛养殖中针对奶牛个体情况适当调控精饲料的饲喂量非常重要。奶牛体温等生理参数是判断奶牛健康状况和发情情况的重要依据，实时监测奶牛体温的相关数据对科学地进行奶牛养殖管理具有重要意义。

作者查阅了大量的文献资料，掌握了相关领域研究、应用情况及发展趋势，提出了当前我国在奶牛精细养殖中存在的具体问题，并详细叙述了研究涉及的相关概念、理论和方法。以此为基础，设计研究了奶牛精量饲喂系统，用于奶牛养殖过程中精饲料的精量调控和奶牛体温的实时监测。

本书以奶牛个体为研究对象，较为系统地介绍了奶牛精量饲喂系统的原理、结构和各部分的设计方案，旨在为读者提供精细饲喂系统开发的全面认识和参考。全书共 6 章，第 1 章主要介绍了奶牛精量饲喂系统研究的背景、目的及意义。第 2 章主要介绍基于射频识别的奶牛个体识别系统的基本原理、组成结构和设计方案，并介绍了射频识别系统的主要影响因素和测试方案。第 3 章主要介绍了饲喂系统给料装置的组成和设计原则，以及给料装置主要参数确定的方法与过程。第 4 章主要介绍了给料称重系统的组成、动力学模型分析和相关控制策略，论述了给料称重主控制器的设计方案和给料实验分析。第 5 章主要介绍了奶牛体温的变化规律和监测方法、无线传感器网络相关知识和奶牛体温监测系统的设计方案，此外，还针对提高无线传感器网络能效性的目标，讨论了应用改进路由算法和压缩感知技术的相关研究。第 6 章主要介绍了系统监控中心软件功能结构以及通信、数据处理、饲喂量决策等各模块的设计方案。

本书第 5 章中无线传感器网络设计与压缩感知技术研究等相关内容由西南科技大学信息工程学院李珂博士完成，其余内容由西南科技大学信息工程学院范永存完成。

本书得到了四川省科技支撑计划重点研发项目(2017GZ0346)、绵阳市科技计划应用基础研究项目(17YFDZ001)和西南科技大学博士研究基金项目(17ZX7110)的资助。

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请广大读者批评、指正。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 研究的背景	1
1.2 研究的目的与意义	2
1.2.1 研究的目的	2
1.2.2 研究的意义	3
1.3 国内外研究动态和趋势	4
1.3.1 国外相关研究情况和趋势	4
1.3.2 国内相关研究情况和趋势	5
1.4 本书研究的主要内容	6
第2章 奶牛个体识别系统研究	8
2.1 奶牛个体识别技术介绍	8
2.1.1 传统动物标识方法	8
2.1.2 条形码标识方法	8
2.1.3 RFID方法	9
2.2 RFID系统的组成	11
2.2.1 电子标签	11
2.2.2 读写器	12
2.2.3 天线	13
2.3 奶牛个体识别系统设计	13
2.3.1 RFID系统方案	13
2.3.2 影响奶牛个体识别系统工作的主要因素	14
2.3.3 电子标签与读写器的选择	15
2.3.4 读写器通信接口设计	18
2.4 奶牛个体识别系统测试	20
2.4.1 奶牛个体识别系统测试方案	20
2.4.2 奶牛个体识别系统测试结果与分析	20
第3章 奶牛精量饲喂给料装置设计	23
3.1 常见给料方式介绍	23

3.2	给料装置的组成及设计原则	24
3.2.1	奶牛精量饲喂给料装置的组成	24
3.2.2	给料装置的设计原则	25
3.3	给料装置主要参数的确定	26
3.3.1	螺旋给料机生产能力的确定	26
3.3.2	螺旋给料机临界转速的计算	27
3.3.3	螺旋叶片直径的确定	28
3.3.4	料仓的设计	30
3.3.5	驱动功率计算	32
第4章	给料称重系统及其控制研究	34
4.1	给料称重系统的组成	34
4.2	称重系统的动力学模型分析	36
4.3	给料称重系统传感器和仪表选择	37
4.3.1	传感器的选择	38
4.3.2	称重仪表的选择	39
4.4	给料称重控制策略研究	39
4.4.1	常用给料称重速度分段控制方式	40
4.4.2	给料称重系统简化模型	41
4.4.3	自适应模糊PID控制器设计	42
4.5	给料称重主控制器设计	47
4.5.1	给料称重主控制器通信管理模块设计	48
4.5.2	给料称重主控制器控制模块设计	50
4.5.3	GPRS 及其数据终端选型	52
4.6	给料称重系统过冲量预估	54
4.7	给料称重控制系统实验与分析	55
第5章	奶牛体温监测系统的研究	58
5.1	奶牛体温的变化规律与监测方法	58
5.1.1	奶牛体温的变化规律	58
5.1.2	奶牛体温的监测方法	59
5.2	无线传感器网络的综述	61
5.2.1	无线传感器网络结构	62
5.2.2	无线传感器网络的特点	64
5.2.3	ZigBee 介绍	64
5.3	奶牛体温监测系统的无线传感器网络设计	66

5.3.1	奶牛体温监测系统的结构	66
5.3.2	奶牛体温监测系统的开发环境	67
5.3.3	奶牛体温监测系统的温度传感器选型	68
5.3.4	数据采集终端设计	69
5.3.5	中心节点的设计	73
5.3.6	奶牛体温监测系统的通信测试	76
5.4	奶牛体温监测系统的网络路由设计	78
5.4.1	ZigBee 网络路由分类	78
5.4.2	LEACH 路由算法机制	79
5.4.3	应用 LEACH 路由算法的网络节点能耗分析	80
5.4.4	LEACH 路由算法的改进	82
5.4.5	改进 LEACH 路由算法仿真	85
5.5	奶牛体温监测系统无线传感器网络高能效数据压缩方法	87
5.5.1	无线传感器网络中的数据压缩技术	88
5.5.2	压缩感知技术	90
5.5.3	自适应压缩感知算法介绍	93
5.5.4	针对自适应压缩感知算法的改进	97
5.5.5	改进的压缩感知算法仿真	98
第 6 章	监控中心软件设计	103
6.1	监控中心软件功能结构	103
6.2	网络通信模块设计	104
6.2.1	Socket 程序设计技术分析	104
6.2.2	网络通信模块程序流程	106
6.3	数据处理模块设计	107
6.3.1	应用程序对数据库的访问	108
6.3.2	数据处理模块的功能及实现	109
6.4	饲喂量决策模块设计	111
6.4.1	知识表示方法	112
6.4.2	系统决策规则实现与推理机设计	114
参考文献	117
附录	123
索引	127

第 1 章 绪 论

1.1 研究的背景

我国是一个农业大国，农业生产是国民经济的基础，关系到国家经济安全和社会稳定。尽管近年来随着工业、服务业等二、三产业的逐步兴起，农业作为第一产业在国民经济中的比重逐渐下降，但其在国民经济中的地位仍是最为重要的。目前，我国还不是农业强国，农业生产的机械化、自动化程度不高，“三农”（农业、农村、农民）问题非常突出，农民的平均生活水平在全国处于最底层。中国社会的发展很大程度上取决于农村的发展，可以说“三农”问题是直接关系到中国发展的大问题。在 2005 年底和 2006 年初先后出台的《中共中央国务院关于推进社会主义新农村建设的若干意见》与《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》中都明确指出：建设社会主义新农村，解决好“三农”问题是各级党委和政府工作的重中之重。

从农业生产的产值对比来看，乳业在现代农业产业结构中是效益最高的产业。在农业发达国家，乳业产值一般占农业总产值的 20% 左右，我国目前的乳业发展情况同发达农业国家相比还非常落后，产值仅占农业总产值的 3% 左右。2007 年 9 月出台的《国务院关于促进奶业持续健康发展的意见》对促进乳业持续健康发展提出了明确要求，指出了大力发展乳业对我国农业结构的优化、改善居民膳食结构和增强国民体质具有重要意义。在保证粮食安全的前提下，如何积极调整农业产业结构，快速发展乳业等高产值的农业生产已经成为当前农业产业结构调整的首要问题。从系统构成上看，乳业主要由原料奶生产、乳制品加工和市场营销三大系统组成。奶牛养殖业是原料奶生产系统的一部分，是乳业发展的前提。奶牛养殖业的生产过程主要包括奶牛培育、奶牛饲养、疫病防治和原奶生产 4 个环节。其中，奶牛饲养是指包括奶牛饲养的组织形式和饲养方式在内的奶牛的饲喂和管理，是奶牛养殖的基础环节^[1]。

随着科学技术的发展，传统的畜牧养殖方式正逐步向现代的数字畜牧业精细养殖生产方式转变。数字畜牧业是数字农业的重要组成部分，其概念是在“十五”期间启动的“863 计划重大专项——数字农业技术与示范”中正式提出的。所谓数字农业就是用数字化技术，按人类需要的目标，对农业所涉及的对象和生产

全过程进行数字化和可视化的表达、设计、控制、管理。数字农业包含的理论、技术和工程都能应用在动物养殖的整个过程中。所谓精细养殖，既指在养殖过程中利用高新技术对养殖过程中的各个环节加以精确调控，也包含针对养殖的个体情况不同，施以特定养殖方式方法，其根本目的是提升畜产品品质，提高养殖效率和产值^[2, 3]。

目前，物联网技术正以前所未有的发展态势逐步进入包括农业在内的社会生活的各个领域。所谓物联网，就是通过传感器、射频识别、全球定位系统等技术，实时采集任何需要监控、连接、互动的物体或过程的相关信息，通过各类可能的网络接入，实现物与物、物与人的泛在连接，实现对物品和过程的智能化感知、识别和管理。物联网技术与农业生产相结合，就产生了农业物联网的概念，其实质就是物联网技术在农业生产和经营管理中的具体应用，利用操作终端及传感器采集各类相关数据，通过无线传感器网、移动通信网和互联网实现信息传输，通过操作终端实现农业生产过程监控。农业物联网技术的产生与发展为数字畜牧业的发展提供了更加广阔的空间。

奶牛养殖业发展空间很大，在大力发展奶牛养殖业的新形势下，特别是规模化奶牛养殖过程中，以奶牛个体信息为基础的精细饲养是现代奶牛科学饲养的主要研究方向。

1.2 研究的目的是与意义

1.2.1 研究的目的

奶牛在生长发育的不同时期和泌乳期的各阶段对营养需求不同，因而相关饲喂策略也有所不同。饲养重点要注意围生期、泌乳高峰期、泌乳后期、干奶前期等几个阶段。奶牛现期营养水平对产奶量和乳的成分有较大影响，饲养实践证明，为提高泌乳量和乳脂率，奶牛日粮中以精料占 40%~60%，粗纤维占 15%~17% 为宜。采取奶牛营养专家提供的饲喂策略，对奶牛进行精饲料补饲可以提升奶牛产奶量。奶牛精饲料的合理饲喂量与奶牛产奶量有一定关系，一般每产 2.5~3kg 牛奶，增加 1kg 精饲料。每头奶牛每天精饲料饲喂量不能超过 12kg，同时为减缓瘤胃酸度上升，精饲料量大时应该增加饲喂次数。由于精饲料成本较高，并且过量摄入精饲料会引起奶牛瘤胃酸度升高，影响奶牛健康^[4-7]。因此，针对奶牛个体情况，对精饲料饲喂量的适当调控，可以显著提高饲料报酬，节约成本，提升产能。在养殖过程中，奶牛健康状况是最受关注的问题之一。奶牛身体状态和健康情况通常会由各项生理参数反映出来，其中最具有代表性的生理参数就是体温。

奶牛正常体温为 37.5~39.5℃，疾病(如牛瘤、大叶肺炎、牛败血症等)、热应激等原因会使奶牛体温上升，出现发烧的症状。这不仅影响奶牛正常的采食活动，还会使奶牛产奶量降低，更严重的可能危害奶牛健康，甚至导致死亡。另外，在奶牛发情阶段，体温也会出现升高的现象，对奶牛体温进行监测也是判断奶牛发情的主要手段之一^[8]。传统测量奶牛体温是采用直肠测温的人工方法，这种方法不仅效率低下，而且测温时间较长，很难实时准确地获取每一头奶牛的体温数据，不适合规模化养殖奶牛采用。基于以上原因，在现代规模化奶牛养殖过程中，切实有效地对奶牛精饲料饲喂进行调控，并实时准确地获取奶牛生理参数信息为饲养管理服务，成为迫切需要解决的问题。

传统的奶牛养殖采用粗放饲养模式，主要利用养殖人员的经验对奶牛的饲喂过程、健康状况和发情进行判断和处理，效率十分低下。目前，我国奶牛养殖专业技术人员严重不足，相关自动饲喂装置落后，已经成为制约奶牛养殖业发展的巨大障碍^[9]。本书的目的是利用高新科技手段，结合领域专家的专业知识，针对奶牛个体不同阶段进行精饲料饲喂调控，并且将实时获取的奶牛采食量和奶牛体温等相关信息通过无线通信方式上报给监控中心，实现奶牛精饲料精量饲喂和奶牛体温信息的远程实时监控，为生产管理者针对奶牛个体进行精细养殖提供数据支持和判断依据。

1.2.2 研究的意义

我国对农业战略性的结构调整将畜牧业作为重点扶持的产业，而畜牧业中，乳业起步相对较晚，发展潜力巨大，成为畜牧业中优先发展的产业。近年来，我国奶牛养殖业取得了长足的发展，2015年奶牛存栏达到1507万头，较2006年增长40.97%。2015年后，上游乳企开始主动淘汰低产乳牛，引进效率更高的品种，供给收缩明显，2016年国内奶牛存栏量增速显著下降，存栏出现负增长，同比减少6.2%，预计2017年存栏量会继续下降。

中国奶牛养殖业起步较晚，传统的奶牛养殖以散养和小规模家庭养殖(规模低于20头)为主，商业化程度较低。随着中国乳品加工业的快速发展，传统的养殖模式越来越不适应发展要求。在“三聚氰胺”事件后，上游乳企大幅新建与扩建规模化牧场，奶牛养殖规模开始发生重大变化，小规模养殖的比例在逐渐下降，而以养殖小区、奶牛合作社和自有牧场为组织形式的规模化养殖方式比例在快速提高。在奶牛养殖规模化发展的新形势下，如何利用现代高新技术手段，提高养殖产值和产品质量成为首要问题。由于奶牛的生产过程比较复杂，其繁殖、营养、管理、改良等工作技术性都较强，在实践中经常会遇到奶牛种质参差不齐、奶牛饲养管理技术不规范等问题^[10]。

在规模化奶牛饲养过程中,利用快速发展的高新科技,可以精确控制奶牛饲料饲喂量,提高饲料报酬,节约生产成本。同时,结合奶牛采食活动情况,对奶牛体温等主要生理参数进行监测,有助于养殖者判断奶牛健康状况和发情情况,为奶牛配种繁育和疾病的早期判断提供可靠的依据。利用传感器技术、自动控制技术、无线通信技术、软件编程技术、专家系统等高新科技,研究设计奶牛精量饲喂系统服务于奶牛养殖,可以实现对奶牛个体精饲料补饲过程中的饲喂量调控,并对奶牛个体的采食量数据、奶牛体温等生理参数进行远程实时监控,对提高奶牛养殖的生产效率和提升奶牛养殖业的产能具有十分重要的意义^[11]。

1.3 国内外研究动态和趋势

1.3.1 国外相关研究情况和趋势

发达国家对奶牛精细养殖的相关研究开始较早,研究成果的推广很快,应用效果良好。20世纪80年代,荷兰就已经建立了数字化奶牛场,对奶牛养殖过程中的各种相关数据进行自动记录,并通过计算机软件的运算分析,给出奶牛所需的饲料量,进行精细化饲养。保加利亚的专家在20世纪90年代也研制出了能够进行自动饲喂的计算机控制系统,该系统能够按照事先设定的每头奶牛的需要来投放饲料,系统依靠奶牛项圈上的微型无线电发射器识别奶牛个体。澳大利亚的学者利用传感器、无线发报机和计算机设计了奶牛综合监控系统,该系统能够实时获取每头奶牛的体重、牛奶产量、产奶期、怀孕期生理参数等相关情况,并能计算出每头奶牛获得最佳效益所需的最佳饲料量,将饲料投入每头奶牛的饲喂位置处。以色列由于可供放牧的场所极少,因此其奶牛饲喂自动化系统的应用较早,技术水平也相当高。以色列推出的阿菲金牧场管理系统,集成了流量计、奶牛身份识别器、计步器、管理和分析软件、奶牛分类系统、奶牛称重系统和自动化个体喂料系统。此系统已经销售到几十个国家和地区,在国内也有多家牧场使用,效果良好。

德国霍恩海姆大学的研究人员研制成功一套先进的全自动化奶牛饲养系统。利用这套系统,可以对奶牛的采食行为进行监控,精饲料的饲喂量可根据奶牛的体重、产奶量、乳脂率等几个指标来确定,粗饲料由奶牛自由采食,从而提高了饲料利用率。据美国农业部统计,美国有20%以上的奶牛场在使用IT技术养牛,利用蓝牙、Wi-Fi和射频识别(radio frequency identification, RFID)等技术监测并记录牛栏里牛的活动情况,利用生化传感器测量每头牛的活动量以及繁殖时的体温和早期病症。美国Tenxsys公司研制了形状像一粒药片的“Smart Bolus”温度传感器,放在牛的瘤胃里,对奶牛体温数据进行监测^[12]。

此外,日本、加拿大等农业发达国家都已经把计算机技术、自动化技术和信息技术与奶牛饲喂的营养调控模型相结合,应用于奶牛饲喂和管理环节。采用以奶牛个体信息情况为对象的精细养殖技术和措施,使这些国家的奶牛养殖场整体生产水平比传统管理模式有了很大提高。目前,国外农业发达国家的奶牛精细养殖技术呈现出高集成、低成本、模块化、通用化和网络化的特点。

1.3.2 国内相关研究情况和趋势

我国在奶牛精细养殖领域研究的起步较晚,官方正式提出数字农业与精细养殖的概念是在2003年。近年来,随着政府和社会各界对该领域的重视和奶牛养殖生产的实际需要,我国的科研工作者做了大量的研究,奶牛精细养殖发展迅速。柳平增、谭春林等分别对奶牛个体自动识别和奶牛自动给料装置的相关技术进行了试验研究,取得了一定进展^[13, 14]。王中华等在数字技术在奶牛生产过程中的应用方面做了较为深入的研究,并设计了奶牛数字化精准饲养装置。该装置由单片机系统控制的给料装置、称重系统组成,并采用有线方式与上位机连接。供料机构通过电磁机构控制出料闸板的开启与关闭,饲料的投放量由称重传感器精确计量。投料结束后,门禁栏杆开启,奶牛进入饲喂区从饲喂槽中采食饲料,实现奶牛个体的数字化精细饲养^[15]。熊本海等采用CORBA和JAVA/XML技术建立了奶牛精细饲养综合技术平台,实现了分布式跨平台的远程信息处理。该平台可以使用网络浏览器或手持PDA等方式进行奶牛生产数据输入,由构架在远程服务器上的主程序进行运算,提供特定养殖问题的解决方案。系统的设计为实现奶牛精细饲养提供了具有重要意义的参考方案。方建军采用管控一体的设计思想,利用单片机控制技术,提出了吊装在轨道上的自动饲喂机器人的设计方案^[16]。花俊国等开发了由微处理器控制的自动饲喂系统,采用RFID系统对奶牛的编号和身份进行自动识别,通过系统总线与奶牛饲喂控制台通信,由奶牛饲喂控制台发出给料信号,按预定的给料量自动下料,供奶牛采食^[17]。

国内很多养殖企业也积极进行奶牛精细养殖技术的研发和成果的推广。广州和上海的两个奶牛场,于20世纪90年代率先引进了美国、加拿大的奶牛管理软件来指导生产。随后上海益民软件公司推出中文版本的乳业之星软件包应用于广州市华美牛奶公司,我国奶牛养殖业从此走进网络化管理时代。2004年,北京市饲料科学技术研究所与北京市粮食科学研究所联合开发了9WAFM-II型奶牛精准饲喂系统,该系统采用奶牛无源自动识别技术,自动识别奶牛个体。主机以“维持”和“产奶”两种方式决定补饲配合精料量,可大大提高饲料的利用率,充分发挥奶牛的生产性能。贾北平通过18B20温度传感器检测奶牛体温等生理参数,系统通信采用了无线射频通信技术和有线通信相结合的方式^[18]。沈阳农业大学杨勇运用模糊数学理论建

立奶牛发情识别数学模型，设计了奶牛发情监测系统。随着研究的深入，在奶牛发情检测、自动挤奶、奶牛疾病自动化监测等相关领域的研究成果也陆续出现。

大部分国内研究都以给料装置或软件平台的形式来实现奶牛的精细养殖，这样就存在着饲喂调控策略相对固定、调控策略执行相对滞后等问题，无法在线进行饲喂策略的执行和更改。而且大部分系统都是将饲料投放量作为奶牛采食量，若投放的饲料并未被奶牛全部进食，则可能造成奶牛实际采食量数据的偏差。绝大多数给料装置只能获取奶牛采食数据，不能实现数据的远程实时监控，并且无法同时获取奶牛体温等生理参数，这都不利于奶牛养殖过程的管理和调控。这些不足之处，正是今后奶牛精细养殖领域急需解决的问题^[19]。

1.4 本书研究的主要内容

奶牛精量饲喂系统采用分布式设计方案，综合运用自动控制技术、农业物联网技术、通用分组无线服务(general packet radio service, GPRS)网络技术、Internet网络通信技术和专家系统技术，针对奶牛养殖过程中精饲料的补饲环节，根据不同生长阶段的奶牛个体饲喂策略，实现对奶牛精饲料饲喂量的调控，提高饲料报酬，增加奶牛养殖产能。同时，系统还对奶牛个体的体温这一重要生理参数进行实时监控，并将体温数据和采食数据通过无线通信方式上传给远程的监控中心计算机，为奶牛养殖管理提供实时准确的数据信息。奶牛精量饲喂系统总体设计结构如图 1-1 所示。

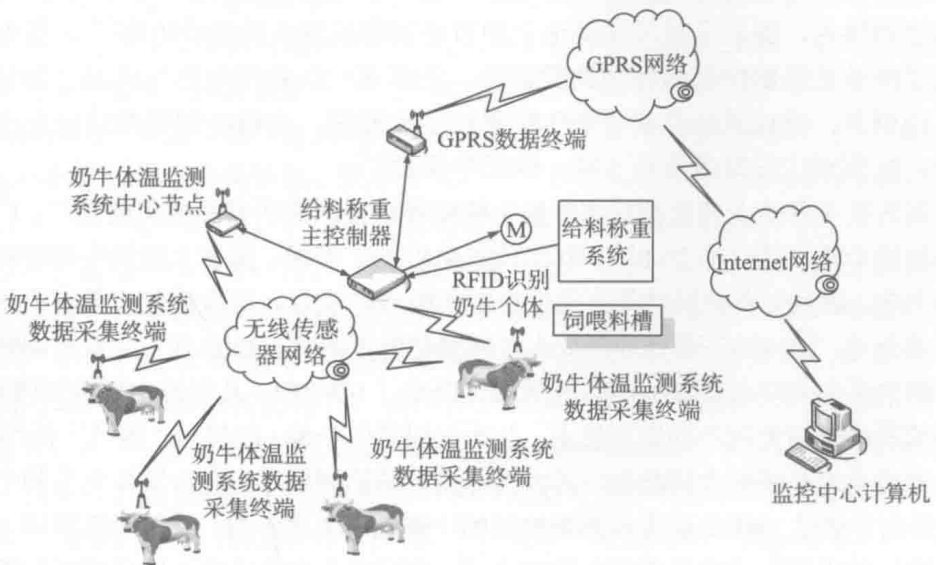


图 1-1 奶牛精量饲喂系统总体结构图

奶牛精量饲喂系统的主要工作过程是利用 RFID 技术识别出佩戴电子标签的奶牛个体,通过 GPRS 网络和 Internet 网络将奶牛身份信息传递给远端的监控中心计算机。监控中心计算机上运行的监控软件接收到奶牛身份信息数据后,利用推理机程序在相应知识库中搜索相关知识,形成饲喂规则,确定精饲料饲喂量,并对给料称重系统发送相关指令进行定量给料。奶牛采食结束后,给料称重系统称量剩余饲料量,并结合饲料投放量计算出奶牛实际采食量传送给监控中心计算机。奶牛体温监测功能运用农业物联网技术,由红外温度传感器和以 ZigBee 为核心技术的无线传感器网络实现。红外传感器位于奶牛体温监测系统数据采集终端,该终端设备佩戴在奶牛颈部,实时监测奶牛体温数据。监测到的奶牛体温数据经由无线传感器网络汇聚到网络中心节点,并通过 GPRS 数据终端发送到远程的监控中心计算机上。监控中心计算机运行的监控软件将所有接收到的数据进行相关处理后再进行显示和存储。用户通过监控软件,可以查询奶牛采食量、体温等相关数据的实时信息和历史信息,还可以通过更改知识库中的信息,修改饲喂决策,保证决策的及时执行。

系统的主要研究内容有:

(1) 在研究分析奶牛个体识别技术的基础上,确定奶牛个体识别方案和防冲突措施,完成识别系统设备选型与读写器通信接口设计。

(2) 综合对比常见的给料方式,设计奶牛精量饲喂系统给料装置。

(3) 结合给料装置,研究给料称重工作过程的相关理论和模型,设计给料称重系统及其控制系统。

(4) 研究农业物联网相关理论知识,根据奶牛特点,设计组建奶牛体温监测系统的无线传感器网络,完成数据采集终端和中心节点的软、硬件设计。结合奶牛体温监测系统网络的工作特点,研究合适的网络路由算法,在保证系统良好工作的前提下,降低能耗,延长网络生存时间。

(5) 研究通信技术,分析系统结构和工作过程,实现奶牛精量饲喂系统的通信功能。系统的通信功能主要包括给料称重环节通信和远程通信。给料称重环节通信是给料称重主控制器对给料称重过程中检测数据和控制数据的传输。远程通信包括上报监控中心计算机的奶牛编号、采食量、奶牛体温等信息,也包括监控中心计算机下发的饲喂量等命令信息。系统的给料称重环节通信采用基于串行通信的主从方式实现,远程通信采用 GPRS 数据终端,通过 GPRS 网络实现。

(6) 编写监控中心计算机监控程序,建立奶牛精量饲喂系统数据库和针对奶牛个体不同时期的精饲料饲喂量知识库,实现针对不同奶牛个体的饲喂量决策功能,并完成奶牛精量饲喂系统数据的通信、处理和存储功能。

(7) 结合研究成果,试制相关实验系统,完成对系统各功能模块的测试工作。

第 2 章 奶牛个体识别系统研究

2.1 奶牛个体识别技术介绍

对奶牛个体进行准确快速的识别是奶牛精量饲喂系统的工作前提。只有在准确快速识别出当前进行采食的奶牛个体后，才能根据预先设定的饲喂策略确定奶牛个体本次采食的合理饲喂量，并以此为依据进行精饲料的给料控制。同时，对动物个体进行标识和登记，可以实现对奶牛饲养过程、奶产品加工、存储、运输与销售等各个环节相关信息的记录。在发生疫情或出现质量安全等事件时，能对相关各个环节可能出现的问题进行有效追踪和溯源，以便及时采取相应措施。

用于动物个体识别的动物个体标识方法主要有传统动物标识方法、条形码标识方法、射频识别方法等。

2.1.1 传统动物标识方法

传统动物标识方法自远古时代动物从野生状态驯化为人工饲养家畜的过程中就开始使用了。当时其主要目的是表示畜主所有权或满足畜禽育种需要。早在 3800 多年前，中国就用烙铁在身体上做标记(或耳朵上打缺口)来标识马匹，该标识方法迄今仍在使用。在畜牧生产中，常见的传统动物标识方法有截耳法、刺墨法、角部烙字法、火烫烙号法、笔录法、冷冻烙号法、颜料标识法、耳标法、项圈法、脚环法等。这些标识方法在畜禽个体较少的情况下比较容易实施，识别过程也比较直观有效。但是大多数传统动物标识方法会对动物个体造成一定程度的损伤或不适，并且不能应用于自动化管理，在规模化的畜牧生产中实施较为困难。

2.1.2 条形码标识方法

条形码是信息录入自动化的重要手段，它成本低廉，使用方便。加拿大在 2001 年对肉牛采用一维条形码塑料耳标进行个体标识，来提高养殖阶段肉牛标识号的自动识别水平。2002 年又建立了强制性的牛标识制度，要求所有的牛采

用 29 种经过认证的条形码、塑料悬挂耳标或电子耳标来标识初始牛群。2002 年,澳大利亚采用塑料耳标方式对国内生产的羊进行产地标注和个体标识。这种方法被畜牧业发达的国家普遍采用,并进一步应用于对畜牧产品(如生肉、蛋、奶等)的标识。

2.1.3 RFID 方法

在动物个体识别中,特别是牛的饲养上,目前应用最多的就是 RFID 技术,即射频识别技术。国际标准化组织于 1996 年制定了用于动物 RFID 的 ISO 11784 和 ISO 11785 标准,这两项标准规定了动物识别的代码结构和技术准则。该 RFID 标准工作频率为 134.2kHz,主要有项圈电子标签、纽扣式电子耳标、皮下注射式电子标签、瘤胃式电子胶囊等几种应用形式。其中项圈电子标签和纽扣式电子耳标由于使用相对方便常应用于饲料自动配给与牛奶产量测定^[20]。当前国内有部分厂家出于成本等因素的考虑,应用 125kHz 工作频率的低频射频技术进行动物的个体识别。但由于技术标准等原因,国际上对动物个体识别 RFID 技术主要还是以国际标准化组织规定的 134.2kHz 工作频率为主。

2.1.3.1 RFID 系统工作机制

本书中奶牛个体识别系统采用了基于射频原理的非接触式 RFID 自动识别技术。它以无线电通信技术和大规模集成电路为核心,利用射频信号及其空间耦合和传输特性,驱动电子标签电路发射其存储的唯一编号,具有识别过程非接触、识别速度快、准确率高等诸多优点。RFID 技术起源于第二次世界大战期间英国空军开发的敌我识别(identification friend or foe, IFF)系统,后来经过几十年的发展,广泛应用于社会生活的各个领域。基本的 RFID 系统由电子标签(tag)、读写器(reader)、天线(antenna)等几部分组成^[21]。

RFID 系统的电子标签由存储编码的芯片和标签天线(或耦合线圈)组成,其芯片中的编码空间足够大,使得该编码成为唯一的编号。用具备唯一编号的电子标签来标识某个物体,通常被标识的物体称为对象(object)。读写器通过发射天线发送一定频率的射频信号,当电子标签进入发射天线工作区域时产生感应电流,电子标签获得能量被激活并通过内置天线发送自身编号等信息,读写器接收天线收到电子标签发送的载波信号,经过相应的解调和解码获得电子标签发送的信息,完成识别过程。读写器获取的电子标签信息可以传送到上级系统或其他设备,针对不同的应用,做出相应的处理。在识别过程中,电子标签发送的信号除唯一编号信息外,还可以包括预先写入其芯片中的代表被标识对象的其他信息^[22]。RFID 系统的组成如图 2-1 所示。