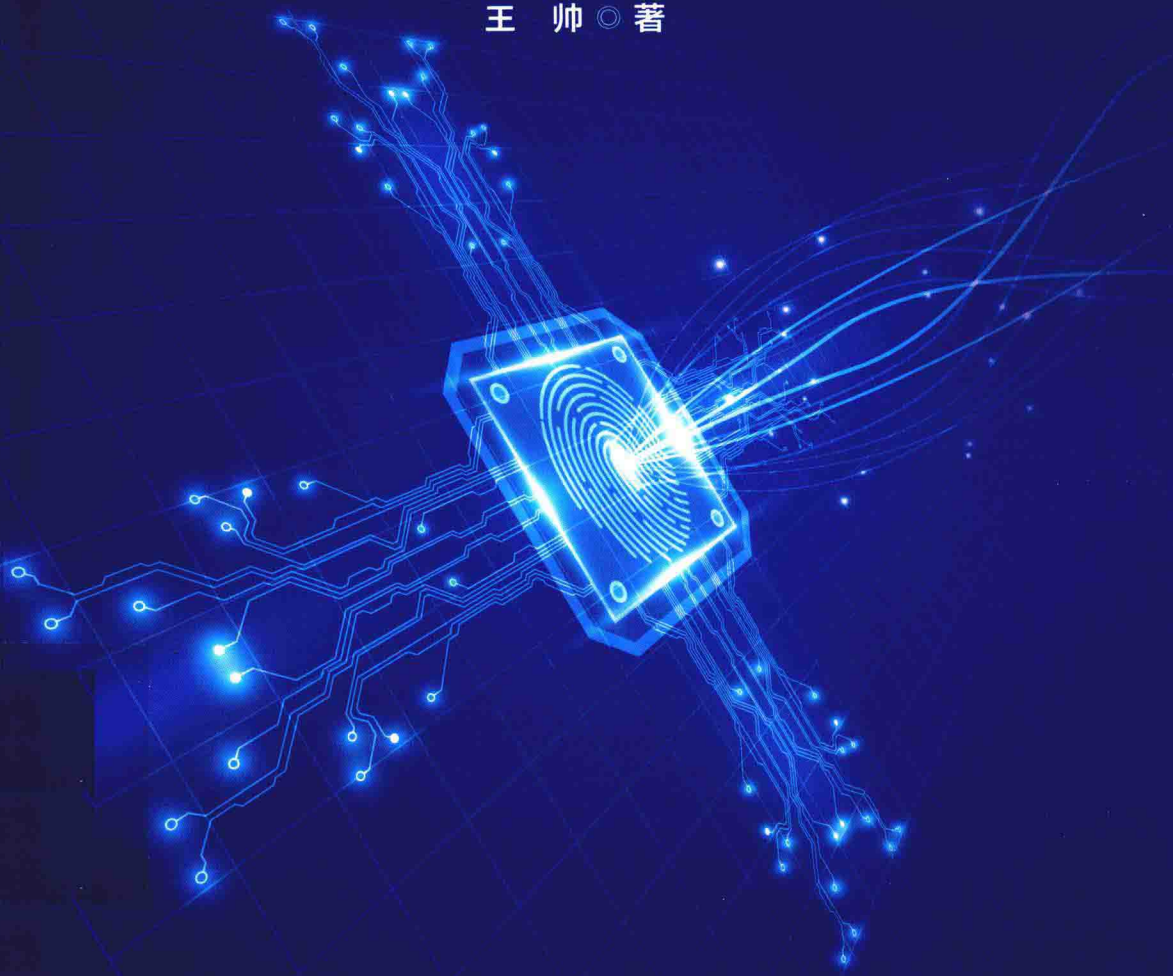


射频识别系统

资源优化与算法

王 帅 著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

射频识别系统资源 优化与算法

王 帅 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书针对构建物联网的基础技术——射频识别技术在移动场景应用中面临的识别效率和能耗问题,通过理论建模、优化求解和仿真验证提出了相应的解决方案。本书主要研究了高精度标签数量估计算法的复杂度降低问题、标签识别算法的能耗问题、多读写器环境下的功率控制问题,以及无线充电标签的协议优化问题,为解决 RFID 自身产业化和 RFID 与无线传感网络融合中的若干关键问题提供了参考和借鉴。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

射频识别系统资源优化与算法/王帅著. —北京:电子工业出版社, 2018.12

ISBN 978-7-121-35771-8

I. ①射… II. ①王… III. ①射频—无线电信号—信号识别 IV. ①TN911.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 273457 号

策划编辑:朱雨萌

责任编辑:朱雨萌

印 刷:北京虎彩文化传播有限公司

装 订:北京虎彩文化传播有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036

开 本:720×1 000 1/16 印张:11.25 字数:182 千字

版 次:2018 年 12 月第 1 版

印 次:2018 年 12 月第 1 次印刷

定 价:49.00 元



凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010) 88254750。

前 言

射频识别 (RFID) 技术是构建物联网大厦的基础。在大规模集成电路技术不断革新、材料工艺水平持续提高和相关标准日趋成熟的有利环境下, RFID 技术和应用得到了突飞猛进的发展。随着 RFID 应用领域的不断扩大, RFID 系统设计正在或即将面临更为复杂的应用环境和更为苛刻的约束条件, 大量实际应用中涌现的问题有待研究者探索 and 解决。

本书主要从标签数量估计算法、标签识别算法时间和能量有效性、无线充电标签 MAC 层协议优化、多读写器自适应功率分配算法 4 个方面进行了理论研究和实验仿真, 获得了以下几个方面的独创性成果。

(1) 对高精度、低复杂度标签数量估计算法进行了研究, 基于线性贝叶斯理论, 建立了标签数量估计问题的线性模型, 在保持统计预测方法高精度优点的同时, 通过线性拟合大大降低了算法的复杂度。经验证, 该算法在估计精度上与目前已有的高精度算法差别很小, 而计算复杂度则大幅下降。该算法能很好地满足移动应用或嵌入式应用条件下的读写器对计算复杂度降低的需求。

(2) 对 RFID 与无线传感网融合后的能耗问题进行了较深入的研究, 建立了以时间有效性和能量有效性为度量的树分解算法综合性能评估模型, 导出了时间有效性和能量有效性的解析表达式。通过数值求解和仿真分析得出以下结论: 存在某个发射功率范围, 在该范围内能量有效性和时间有效性都能接近最佳状态。这个结论有助于在 RFID 系统设计和网络规划时合理选择参数, 使系统的能量和时间效率最大化。

(3) 研究了无线充电标签 MAC 层协议的优化策略, 基于 FSA 算法分析了在可用能量动态变化条件下不同的能量策略对吞吐率和能量有效性的影响, 证明了能量波动条件下可实现的最大吞吐率的上界, 运用马尔科夫模型和动态规

划方法推导了能量优化利用策略。仿真验证表明,采用本书提出的优化策略可以有效抑制因可用能量变化带来的吞吐率波动现象。

(4) 针对多读写器环境中的干扰问题,结合问题的特点提出了自适应权重功率分配算法。该算法对低于标称信噪比的读写器自动增加权重因子,引导读写器通过调整功率使自身的信噪比水平尽量接近标称值,满足 RFID 系统在实际应用中的实际需求。本书提出的分布式实现方法进一步提高了该算法的实用性。仿真结果表明,该算法在公平性和收敛性方面均表现出良好的性能。

本书以国家 973 计划项目“物联网的基础理论与实践研究”为依托,重点研究构建物联网的关键技术——RFID 系统的资源管理和协议优化。该项目是我国物联网领域的第一个国家 973 计划项目,其以物联网应用特征和发展中面临的需求为背景,深入研究基于物联网的网络自治、智能决策和安全运维机理,提出一系列旨在解决复杂网络自治、异构网络融合和软件安全建模等方面问题的基础理论和相关应用技术。本书针对高精度标签数量估计算法的复杂度降低问题、标签识别算法的能耗问题、多读写器环境下的功率控制问题及无线充电标签的协议优化问题做了一系列有益的探索研究,可供 RFID 系统设计与应用相关专业部门和人员参考。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 射频识别技术发展概述	3
1.1.1 射频识别技术的基本原理和特点	3
1.1.2 射频识别技术的发展	3
1.1.3 射频识别技术面临的挑战	6
1.2 射频识别技术标准体系	7
1.3 射频识别技术研究现状	9
1.4 本书的研究内容和组织结构	11
1.5 本书的主要贡献和创新点	13
第 2 章 低复杂度标签数量估计算法研究	15
2.1 引言	17
2.2 标签数量估计算法研究现状	18
2.3 低复杂度标签数量估计算法	20
2.3.1 逐帧估计的标签数量估计算法	21
2.3.2 逐时隙估计的标签数量估计算法	30
2.4 小结	40
第 3 章 标签识别算法能量有效性研究	41
3.1 引言	43
3.2 树分解算法原理	44
3.3 标签识别算法能量有效性分析	46
3.3.1 能量消耗模型	47
3.3.2 标签数量为 2 的情况	49
3.3.3 标签数量为 3 的情况	60

3.3.4	二进制树算法的能量有效性和时间有效性	71
3.3.5	M 树分解算法的能量有效性和时间有效性	77
3.4	仿真结果与分析	80
3.5	小结	89
第 4 章	无线充电标签 MAC 层协议优化研究	91
4.1	引言	93
4.2	无线充电标签的 FSA 协议	96
4.2.1	无线充电标签能量损耗模型	96
4.2.2	FSA 协议的吞吐率	97
4.2.3	无线充电标签 FSA 协议的吞吐率	99
4.3	无线充电标签的能量利用策略	106
4.3.1	无线充电标签 FSA 协议分析	106
4.3.2	无线充电标签协议优化	109
4.4	小结	121
第 5 章	RFID 多读写器自适应功率分配算法	123
5.1	引言	125
5.2	多读写器应用系统模型	125
5.3	误包率与信噪比估计	127
5.3.1	误包率估计	127
5.3.2	信噪比计算	130
5.4	功率分配算法	131
5.4.1	问题建模	131
5.4.2	问题求解	132
5.5	仿真结果	141
5.6	小结	145
第 6 章	总结与展望	147
6.1	本书的主要研究工作和研究成果	149
6.2	进一步的工作展望	150
参考文献		153

第 1 章

绪 论

1.1 射频识别技术发展概述

1.1.1 射频识别技术的基本原理和特点

射频识别（RFID）技术是 20 世纪 90 年代发展起来的以电磁信号为媒介进行数据传输的自动识别技术。RFID 被认为是条形码的理想替代品，其主要优点在于识别对象和读取装置之间通信不受视距距离的限制，具有识别精度高、适应环境能力强、数据传输速率高等多种优势^[2]。射频识别技术的一般定义是，在一定范围内，通过无线链路利用电磁波实现物体自动识别的技术。RFID 系统一般由读写器、标签和后台系统组成。读写器在 RFID 系统中发挥着主导作用，一般通过周期性发出查询命令与其识别范围内的标签通信获取标识和其他信息。获取的信息通过中间件完成数据存储、分选和中转，最终数据被传至后台数据库或应用平台做进一步的分析处理。标签中记录了物体标识和其他相关信息，当读写器发出查询命令时发回所需信息。根据标签的能量获取途径不同，可将标签分为有源标签、半有源标签和无源标签^[3]。有源标签依靠电池供电，可以实现较高的传输速率和较远的传输距离，但其生存周期受有限的电池容量的约束，成本也较高。半有源标签使用电池供电，不过电池的能量仅用于增加标签的读取距离和提高通信速率，与无源标签相比可以实现更好的性能，与有源标签相比可以延长生存周期，但电池的存在仍不可避免地提高了标签的成本。无源标签从读写器信号中获得能量，通过反向散射方式将标签数据发送回读写器。由于无源标签正常工作时不需要电池，极大地降低了制作成本，简化了内部结构和工艺，其理论上具有无限长的生存周期，因而成为最具推广价值和良好应用前景的标签类型。不过，由于受可获取能量的约束，无源标签的通信距离和数据处理能力大受限制，可靠性和稳定性方面也难以比肩有源标签和半有源标签。

1.1.2 射频识别技术的发展

RFID 技术的诞生可以追溯到 20 世纪初期，由第二次世界大战期间快速发

展的雷达技术衍生而来。RFID 技术的出现受两项基础工程技术的推动^[2]，一是连续波发生器，由 Ernst F. W. Alexanderson 于 1906 年发明；二是在第二次世界大战期间得到大规模发展和应用的雷达技术。这两项技术为 RFID 技术的实现建立了工程基础，而 Harry Stockman 在 1948 年发表的论文“*Communication by means of reflected power*”则真正从理论上为 RFID 的后续研究开启了大门。在此期间，RFID 技术一直被限制在军用领域，用于战场空中敌我飞机的识别系统，受当时技术工艺水平的制约，RFID 技术始终未能扩展到民用领域。直至 1960 年，Sensormatic 和 Checkpoint 才首次推出商用的 RFID 产品 EAS，用于商店的防盗监控系统。20 世纪 70 年代，RFID 技术在动物、车辆跟踪管理和工业自动化方面得到了广泛应用。1978 年，挪威首次将 RFID 技术用于公路交通管理。进入 20 世纪 90 年代，随着大规模集成电路和标签制作工艺的发展，RFID 技术逐渐走入人们的日常生活，迅速向工业、农业、交通、物流等各个领域渗透。

物联网的出现为 RFID 提供了更为广阔的应用舞台。在 2005 年 11 月召开的信息社会世界峰会上，国际电信联盟（ITU）首次发布了《ITU 互联网报告 2005：物联网》，这份报告正式提出了物联网的概念并总结了物联网的发展现状。该报告首次给出了物联网的定义：物联网包括人与物、物与物之间的联系，即在任何时间、任何地点、任何物品间都可以进行通信，也就是随时随地实现人与人（包括 PC 或非 PC）、人与物、物与物之间的交互。物联网以射频识别、传感器、纳米和嵌入式技术为支撑，将传统互联网的人与人间的互通扩展为人与物、物与物间的连通。在物联网的框架下，各种日常用品、建筑物、交通设施等都能被赋予感知和通信的能力，连接的范围可以无限扩大。2008 年 11 月，IBM 提出“智慧地球”概念，随后又提出“智慧电力”“智慧医疗”等六大智慧解决方案。物联网可以划分为感知层、网络层和应用层。RFID 技术与现有的网络技术、数据库技术、中间件技术等一起，成为构建物联网的必要组成部分。RFID 和传感器都处于感知层^[6]，担负着为物品贴上身份标识和赋予智能感知能力的任务，是构建物联网大厦的基石，RFID 技术的发展和变革对整个物联网的技术升级和应用拓展都起到至关重要的作用。

2010 年以来，物联网产业伴随着经济复苏和行业需求的上升而迅速发展，

作为物联网重要技术之一的 RFID 技术也日趋成熟,许多厂商和应用部门都积极投入力量不断推出新的产品和应用系统,许多国家都将 RFID 技术列为重要产业并积极采取措施大力推动其发展。2012 年年初,韩国政府陆续出台了推动 RFID 技术发展的相关政策,计划在钢铁、电子和医药产品等行业内应用 RFID 技术,建立基于 RFID 技术的满足各行业对产品监测实时性和准确性要求的传感器网络。

RFID 技术目前已广泛应用于各个领域,其中物流和产品供应链领域是 RFID 技术大显身手的最主要的舞台。全球最大的连锁零售企业沃尔玛已在美国 36 家会员店、480 家超市及 350 家供货商中应用了 RFID 技术,通过将标签附于托盘或货箱上,提高自制造商、配送中心直至超市这一段供应链的供货效率,每星期大约有 300 万个托盘货物采用这种技术。

RFID 技术在其他领域的应用也逐渐受到更多的关注。在国防领域,美国国防部(DOD)正在研制一种新型有源标签,该标签可以通过卫星系统实现接入和通信。这种新型标签被称为“第三代无线射频识别与卫星通信(3G RFID/SATCOM)”,主要用于实现国防军用物资供应链的可视化,增强作战地区的物资供应能力。在邮政领域,RFID 技术在很多国家和地区被用于包裹和邮件的识别和追溯,大幅提高了邮政业务效率,同时也增强了用户邮寄物品的安全性和可靠性。澳大利亚政府将 RFID 技术应用于袋鼠肉类的追溯,可实现从袋鼠捕获、加工、运输直至售卖的全过程跟踪管理。在航空领域,两家最大的航空公司波音和空中巴士合作启动了飞机零部件供应链管理项目,旨在解决飞机零部件庞大的数量和种类为飞机保养和维护带来的困难,其中仅波音 787 机型使用 RFID 技术管理的零部件就多达 2000 余种。RFID 技术的应用将在确认飞机零部件的使用期限、召回缺陷零部件等方面起到关键的作用。在医疗健康领域,高雄长庚纪念医院(Chang Gung Memorial Hospital)在手术病房内引入 RFID 技术,手术病人佩戴的 RFID 腕带可以记录病人的特征信息(如血型等),这些信息可以帮助医护人员更加快速、准确和及时地实施护理流程。孟买 SevenHills 医院在病人的腕带上配置 RFID 标签,医生和管理人员通过 RFID 标签可以及时收集病人的健康信息,掌握其活动情况。美国药品管理局已有多年应用 RFID

技术进行药品防伪和跟踪的历史。在航空运输领域,波士顿罗根国际机场将 RFID 技术用于旅客登机前的安全管理,实现了从旅客进入机场直至登机全过程人员和行李的监控,提高了服务效率,缩短了旅客登机时间。一些政府部门也在应用 RFID 技术提高工作效率和服务质量,其中较有代表性的美国社会福利局是较早应用 RFID 技术辅助管理各种表格和手册的部门。欧洲 RFID 产业发展也很迅速,在包括法国、德国在内的大部分国家,各种以 RFID 为核心的技术产品已经在物流、交通、身份识别、物资跟踪等领域有了比较广泛的应用。

1.1.3 射频识别技术面临的挑战

随着物联网应用的普及和推广,作为物联网核心技术之一的 RFID 技术,以其广阔的应用前景和巨大的市场潜力,受到了学术界和产业界的广泛关注。20 世纪后期,在大规模集成电路、微电子制造和计算机网络技术的推动下,RFID 技术水平不断提升,应用领域逐步扩大,快速向社会生活和生产的各个方面渗透,在物流、仓储、定位、跟踪等领域显示出独有的优势。与此同时,RFID 技术自身仍存在很多制约产业化推进的问题,诸如成本、功耗、安全及应用中面临的各种挑战。围绕这些问题和挑战,RFID 技术在天线设计、芯片设计、协议和算法等方面产生了一系列研究热点,吸引了大量国内外研究机构和学者竞相展开相关方面的研究。

RFID 系统与普通通信系统之间存在多方面的显著差异,许多行之有效的通信理论并不能直接用来解决 RFID 应用中的类似问题。RFID 系统具有独特的物理机制、工作方式和更为苛刻的约束条件。RFID 系统通信能力十分有限,由读写器、标签组成的 RFID 系统虽然在架构上类似于普通通信系统,但标签内部结构简单,只能采用如 ASK 或 PSK 的简单调制方式。RFID 系统工作频带十分狭窄,对系统通信协议的设计提出了更高的要求,设备间的干扰和碰撞是应用中面临的主要问题。目前 RFID 使用的频率跨越低频(LF)、高频(HF)、超高频(UHF)、微波(MW)等多个频段,国际化标准组织针对不同频段制定了相应的空中接口标准。在这些可供选择的频段中,UHF 频段具有传输速率高、覆盖范围大等优势,更适合物联网领域对物品识别、跟踪和定位的需要,是未来物联网中 RFID 的主要应用频段。但是,UHF 频段下的 RFID 应用还有很多

问题亟待解决,如标准化、频谱干扰、安全隐私等。

在实际应用中,RFID 系统性能还会受到各种条件的制约。总体来说,可以将 RFID 系统设计的主要约束条件分为两类:时间和能量。RFID 系统设计的目标就是在时间和能量受限的条件下,以最短的时间完成覆盖范围内标签的识别。根据应用场景不同,这些约束条件作用大小也不尽相同,如采用固定电源时识别时间是主要约束,当用于智能手机、无线传感网中时对能耗必须予以重视。已有文献在缩短识别时间、提高识别效率方面开展了大量的研究,相比较而言,能量约束条件下的研究尚少。实际上,随着应用领域的不断扩展,RFID 系统未来将会面临更为复杂的应用环境和更为苛刻的约束条件。积极面对这些新的问题和挑战,在全面考虑影响 RFID 系统性能的各种因素的前提下提出合理对策,促进 RFID 技术的应用和推广,是本书研究的出发点和意义所在。

1.2 射频识别技术标准体系

随着 RFID 技术的大范围普及应用,各种 RFID 芯片、设备、系统大量涌入市场,RFID 标准化工作已成为推动 RFID 产业顺利发展的重要环节。RFID 技术标准化的主要内容是规范编码、通信、空中接口、数据管理等问题。除本身的技术实现外,RFID 在具体应用中还要涉及不同应用场景的不同需求,这为标准的制定带来了一定的复杂性。RFID 标准的制定与应用密切相关,这是由 RFID 应用的特点决定的,实际上目前大量与应用相关的标准正在制定中,如可回收集装箱、运输单元、产品标识、电子货柜封条等,包括 GS1、EPCglobal 在内的多家组织都已参与到标准的制定工作中。

目前国际上的 RFID 标准主要分为三大类:ISO 18000、EPCglobal 和 UID。ISO 出台的标准主要包括技术标准、数据内容标准、一致性标准和应用标准 4 个方面。目前在物流领域应用最广泛的是 ISO 18000-6,其中包括了有源和无源两个技术标准,主要对 RFID 空中接口参数做了规范。

ISO 18000-6 中分别定义了 Type A、Type B 和 Type C 三种模式,差异主要

体现在数据传输速率、调制编码方式和防碰撞协议方面。ISO 18000-6 主要针对 860~930MHz 的读写器和标签间的物理接口、协议、命令和防碰撞算法做了约定。例如, Type A 协议基于一种“读写器先讲”的通信机制, 读写器的命令与标签的应答交替发送。读写器到标签间的通信采用调制载波幅度 (ASK) 进行调制, 数据编码采用脉冲宽度编码 (PIE)。标签通过反向散射向读写器传输信息, 数据编码采用 FMO 编码, 数据传输速率是 40kbps, 采用时隙 ALOHA 算法作为防碰撞算法。Type B 协议和 Type A 协议在很多方面都是相似的, 不过防碰撞采用的是自适应二进制树算法。

ISO 系列的其他标准都与具体的应用场景紧密相关。例如, ISO 11784 和 ISO 11785 对动物识别代码和技术规范做了定义, 规定读写器的工作频率为 134.2kHz, 采用 FSK 调制和 NRZ 编码。ISO 14443 和 ISO 15963 均以 13.56MHz 为载波频率, 主要用于短距离、低成本的应用中, 如门禁、校园卡、抄表系统等, 其中第二代身份证采用的标准就是 ISO 14443 的 Type B 协议。ISO 10374 标准对基于微波读写器的集装箱自动识别系统协议做了定义, 标签为有源标签, 工作频率规定为 850~950MHz 和 2.4~2.5GHz。ISO 18000-7 是有源 RFID 的标准, 采用 FSK 调制, 通信速率可达 27.7bps, 使用成帧 ALOHA 防碰撞算法。

EPCglobal 主要针对物理对象标识的数据内容、物联网自动识别基础架构和网络对象名称解析系统等做出规范。其中, EPCglobal Class-1 Generation-2 已与 ISO 18000-6 融合, 作为目前 UHF 频段 RFID 主流的通信标准。

工作频率是 RFID 标准制定中的重要参数, 工作频率的选择与应用场景紧密相关。RFID 标签与读写器间进行无线通信的频段面向不同的应用场景有不同的划分, 工作频率主要可分为 135kHz 以下、13.56MHz、860~928MHz (UHF)、2.45GHz 及 5.8GHz 等。

低频 RFID 的工作频率典型值有 125kHz、225kHz、13.56MHz 等, 这些频率应用的射频识别系统一般都与特定的国际标准对应。低频 RFID 的特点是价格低廉、需要存储的数据量较小、识别距离较短 (无源的典型距离为 10cm)、标签外形多样化 (卡状、环状、纽扣状、笔状)、阅读天线方向性不强等。

高频 RFID 一般指工作频率高于 400MHz 的标签,典型的工作频率有 915MHz、2.45GHz、5.8GHz 等。ISO 18000-6、ISO 10374 都支持这些频率上工作的 RFID。高频 RFID 的特点是标签及读写器成本较高、标签内须保存的数据量大、识别距离较远(可达几米至十几米)、适应物体高速运动性能好、外形一般为卡状、读写器天线及标签天线均有较强的方向性。

频率的选择与付诸应用的领域是分不开的。低频系统应用最广,但传输距离较短,通信速度过慢;高频系统通信距离远,但耗电量和成本都较大。短距离的射频卡用在工厂的流水线等场合跟踪物体,可以在一定条件下替代条形码。长距离的产品多用于自动收费或识别车辆身份等场合,距离可达几十米。

1.3 射频识别技术研究现状

射频识别技术的研究热点主要集中在物理层和协议层。由于协议层是本书关注的重点,因此下面主要针对协议层方面的研究现状加以分析。

1. 标签防碰撞问题

TDMA 算法是当前标签防碰撞算法中应用最为广泛的一类。TDMA 算法又可以进一步分成两大类:确定性算法和随机性算法。这里仅介绍本书重点研究的随机性算法。随机性算法中应用较普遍的是分帧时隙 ALOHA (FSA) 算法。FSA 算法采用固定帧长,当标签数量未知或不断变化时,帧长难以与数量匹配,导致识别标签的鲁棒性不佳。针对这个问题,动态分帧时隙 ALOHA (DFSA) 算法提出了可变帧长的方法,根据标签数量实时调整帧长,在 FSA 算法基础上进一步提高了识别效率。在 DFSA 算法中,读写器首先根据一帧中空闲、碰撞和成功的时隙数量估计标签个数,再将帧长调节至最佳值。标签数量估计对 DFSA 算法的性能起着重要作用,不同的标签数量估计算法衍生出各种动态分帧时隙 ALOHA 算法。例如,Cha^[11]提出了两种计算方法 DFSAC-I 和 DFSAC-II; Vogt^[14,15]提出了两种算法 DFSAV-I 和 DFSAV-II; Bin Zhen^[10]也提出了自己的标签数量估计算法 DFSAZ。这些算法都利用概率统计方法根据时隙状态信息对标签数量做出估计,都需要通过搜索操作找到最优解,计算复杂度较高,难以真

正付诸应用。如何在估计精度和复杂度之间求得合理的折中,以提高 DFSA 算法性能和实用性,是标签防碰撞领域重点研究的问题之一。

2. 读写器防碰撞问题

目前读写器防碰撞算法的研究主要集中在协议层和调制层。比较有代表性的有欧洲标准 ETSI EN 302-208、Colorwave^[56]、Q-learning^[63]和 Pulse^[105]。ETSI EN 302-208 采用 CSMA 机制,读写器监听数据信道,信道空闲时传输数据,信道忙时进行退避。Colorwave 是基于分布式 TDMA 的算法,每个读写器选择任意时隙传输。如果发生冲突,读写器会选择一个新的时隙传输,并发信号通知周边的邻居,提示选择新的时隙。Q-learning 试图通过学习读写器的模式和有效地安排频率和时隙来最小化读写器的冲突。Pulse 试图通过在 RFID 系统中使用两个信道来解决读写器冲突问题,其中一个信道用于读写器与电子标签间的通信,另一个信道用于读写器之间的通信。总体来看,读写器防碰撞方面的研究基本上集中在如何避免通信冲突方面,对信道资源的优化利用、公平问题和能耗问题未给予足够的重视,而这些问题在密集读写器和移动读写器应用场景中尤为突出,迫切需要更进一步的研究。

3. RFID 与传感器融合的问题

RFID 与传感器融合问题是近几年 RFID 领域的研究热点。当 RFID 采用无源工作方式时,无须电池而仅靠吸收无线能量即可维持自身工作,这一特性对无线传感网颇具吸引力。文献[69]分析了当 RFID 技术应用于无线传感网时,防碰撞协议的能量有效性。该文章通过数学建模和定量计算分析了 ALOHA 系列协议的能量有效性,对 ALOHA 各种协议的能效进行了比较。文献[70]考虑了移动或嵌入式读写器的应用场景,研究了引入 RFID 读写器后对移动设备的能耗影响,对基于二进制树协议的防碰撞算法进行了能量有效性分析。以上研究都基于理想信道的假设,即读写器可以正确无误地收到标签的信号。但当 RFID 应用处于干扰环境下时,能量有效性的分析要考虑误包率的影响,提高能量有效性可能会增大误包率,从而降低识别性能。能量有效性和误包率的关系问题目前未受到足够重视。