



普通高等教育
物联网工程类规划教材

INTERNET OF THINGS, IOT



物联网 射频识别 (RFID)

原理及应用

Internet of Things : RFID Concepts
and Applications

罗志勇 杨美美 李永福 袁静 赵杰◎编著



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



普通高等教育
物联网工程类规划教材

INTERNET OF THINGS, IOT



物联网 射频识别 (RFID)

原理及应用

罗志勇 杨奕莹 李永福 袁守杰 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

物联网：射频识别(RFID)原理及应用 / 罗志勇等
编著. — 北京：人民邮电出版社，2019.1
普通高等教育物联网工程类规划教材
ISBN 978-7-115-49337-8

I. ①物… II. ①罗… III. ①射频—无线电信号—信
号识别—高等学校—教材 IV. ①TN911.23

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第209991号

内 容 提 要

本书全面系统介绍了 RFID 原理、核心技术以及应用系统案例。全书共分 9 章，第 1 章介绍了 RFID 的发展历史、现状及发展趋势等。第 2 章~第 7 章分别介绍了 RFID 技术基础、RFID 读写器技术、RFID 标签技术、RFID 的编码与调制技术、数据校验和防碰撞算法，以及常用的 RFID 标准。第 8 章讨论了 EPC 技术基础及相关技术。第 9 章分析了 RFID 技术的典型应用实例。

本书可以作为普通院校物联网及其相关专业的教材，也可作为 RFID 技术爱好者的参考用书。

◆ 编 著 罗志勇 杨美美 李永福 袁 静 赵 杰
责任编辑 李 召
责任印制 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
固安县铭成印刷有限公司印刷

◆ 开本：787×1092 1/16
印张：15 2019 年 1 月第 1 版
字数：376 千字 2019 年 1 月河北第 1 次印刷

定价：49.80 元

读者服务热线：(010)81055256 印装质量热线：(010)81055316

反盗版热线：(010)81055315

射频识别 (RFID) 技术在物联网系统中是一项重要的感知技术, 它不仅涵盖了微波技术理论和电磁学理论, 而且还涉及通信原理及半导体集成电路技术, 是一项多学科融合的新兴应用技术。如今 RFID 技术已在全球范围内广泛应用于工业自动化、商业自动化等众多领域, 研究开发 RFID 技术有着巨大的经济效益和社会效益。在我国, RFID 技术应用还处于发展阶段, 市场前景非常广阔。

本书第 1 章、第 2 章介绍了 RFID 的发展历史、现状及发展趋势, 并对 RFID 系统的组成、原理和 RFID 系统的标准化做了描述, 同时还介绍了 RFID 技术中涉及的电磁学、RFID 收发机的基础知识。

第 3 章介绍了读写器、电感耦合式 RFID 读写器的射频前端和微波频段 RFID 读写器。

第 4 章介绍了 RFID 系统中常用的天线系统的设计和分析方法。读者需着重掌握 RFID 读写器与标签之间的耦合特性, 能定量分析标签的谐振特性, 会计算电感的感应电压、同频带, 能利用天线的基础知识计算天线的频谱特性、方向图, 以及其辐射的强度, 能计算出特定条件下天线的有效辐射范围。

第 5 章主要介绍编码的基本原理, 包括基带信号及宽带信号的概念, 重点分析了 RFID 中常用的曼彻斯特 (Manchester) 码、密勒 (Miller) 码和修正密勒码的编码方式。模拟调制中有振幅调制、调频和调相, 介绍了调幅 (包括普通调幅、双边带调幅、单边带调幅) 以及频率调制和解调。数字调制中也有调幅、调频和调相, 分别介绍了二进制振幅键控 (2ASK)、二进制频移键控 (2FSK) 和二进制移相键控 (2PSK) 的调制和解调。

第 6 章主要介绍数据校验和防碰撞算法。

第 7 章简单介绍全球范围内的三个 RFID 的标准化组织。

第 8 章主要介绍 EPC 技术的基础知识及相关技术, 包括 EPC 编码、EPC 系统的网络技术、EPC 系统的对象名称解析服务和 PML 等。

第 9 章主要介绍 RFID 技术在仓储管理和整车物流管理中的应用, 详细介绍了整体设计流程和构架方案。

本书由重庆邮电大学的罗志勇、杨美美、李永福、赵杰及重庆计量质量检测研究院的袁静编写。此外, 重庆邮电大学的徐阳、胡俊峰、姜静等同学也参与了本书的编写工作。

由于编者水平有限, 书中难免有错误和不妥之处, 敬请读者批评指正。

编者

2018 年 10 月

第 1 章 RFID 系统概述	1	2.2.8 S 参数	19
1.1 RFID 简介	1	2.3 收发机	19
1.1.1 RFID 的特点	1	2.3.1 发射机	20
1.1.2 RFID 发展简史与现状	1	2.3.2 接收机	21
1.2 RFID 系统的组成与工作原理	3	2.3.3 放大器	22
1.2.1 RFID 系统的组成	3	2.3.4 混频器	23
1.2.2 RFID 的工作原理	3	2.3.5 振荡器与合成器	24
1.3 RFID 系统标准化	4	2.3.6 滤波器	25
1.3.1 RFID 标准的作用	4	习题 2	27
1.3.2 标准的内容	4	第 3 章 RFID 读写器技术	28
1.3.3 RFID 标准的分类	5	3.1 读写器简介	28
1.4 RFID 的发展趋势	5	3.1.1 读写器的作用	28
1.4.1 在 RFID 标签方面	5	3.1.2 读写器的通信接口	29
1.4.2 在 RFID 读写器方面	6	3.1.3 读写器的构成	29
1.4.3 在 RFID 标准方面	6	3.1.4 读写器的种类	29
习题 1	6	3.2 电感耦合式 RFID 读写器的射频前端	30
第 2 章 RFID 技术基础	7	3.2.1 RFID 读写器射频前端的结构	30
2.1 RFID 系统的组成、分类与基本原理	7	3.2.2 串联谐振电路	30
2.1.1 RFID 系统的组成	7	3.3 微波频段 RFID 读写器	34
2.1.2 RFID 系统的分类	9	3.3.1 微波频段 RFID 系统射频前段	34
2.1.3 RFID 系统的基本原理	11	3.3.2 2.4GHz RFID 系统读写器设计举例	36
2.2 电磁学基础	11	3.3.3 微波频段 RFID 读写器的发展	39
2.2.1 磁场强度 H	11	习题 3	40
2.2.2 磁通量和磁通量密度	13	第 4 章 RFID 标签技术	41
2.2.3 电感 L	14	4.1 天线基础	41
2.2.4 互感 M	14		
2.2.5 耦合因数 k	15		
2.2.6 感应定律	16		
2.2.7 空间电磁波	17		

4.1.1 天线的方向图	42	4.9.1 电子标签的感应电压	74
4.1.2 主瓣宽度	44	4.9.2 电子标签的直流电压	75
4.1.3 辐射功率和辐射强度	44	4.9.3 负载调制	75
4.1.4 天线效率	44	习题 4	79
4.1.5 天线极化	46	第 5 章 RFID 中的编码与调制技术	80
4.1.6 天线输入阻抗与共轭匹配	46	5.1 RFID 编码	80
4.1.7 天线带宽	48	5.1.1 编码的基本原理	80
4.1.8 电磁场仿真软件 HFSS	48	5.1.2 RFID 中常用的编码方式	82
4.2 RFID 中常用的天线	49	5.2 RFID 的调制方式	87
4.2.1 RFID 天线的基本要求与指标	49	5.2.1 模拟调制	87
4.2.2 偶极子天线	49	5.2.2 数字调制	91
4.2.3 折叠偶极子	51	5.2.3 二进制数字调制系统的性能比较	97
4.2.4 微带天线	52	5.2.4 副载波调制法	98
4.3 天线阻抗匹配	55	习题 5	99
4.3.1 T-Match 技术	56	第 6 章 数据校验和防碰撞算法	100
4.3.2 电感匹配技术	58	6.1 差错控制编码	100
4.4 环境影响	59	6.1.1 差错控制的基本方式	100
4.4.1 物品材质的介电常数对标签性能的影响	59	6.1.2 汉明码	101
4.4.2 金属对标签的影响	60	6.2 常用的差错控制方法	102
4.4.3 抗金属标签的设计	61	6.2.1 奇偶校验法	102
4.5 RFID 天线优化	65	6.2.2 循环冗余校验法	105
4.5.1 遗传算法简介	65	6.3 防碰撞算法	107
4.5.2 遗传算法的运算过程	66	6.3.1 频分多路 (FDMA) 法	109
4.5.3 遗传算法在天线优化中的应用	66	6.3.2 空分多路 (SDMA) 法	110
4.6 RFID 标签天线封装	67	6.3.3 时分多路 (TDMA) 法	110
4.6.1 线圈绕制工艺	68	6.3.4 码分多路 (CDMA) 法	111
4.6.2 蚀刻工艺	68	6.4 防碰撞算法举例	112
4.6.3 喷墨印刷法	68	6.4.1 ALOHA 法	112
4.7 RFID 电子标签芯片	69	6.4.2 时隙 ALOHA 法	113
4.7.1 射频标签的存储器芯片种类	69	6.4.3 动态时隙 ALOHA 法	114
4.7.2 射频标签的微控制器芯片种类	69	6.4.4 二进制搜索算法	115
4.7.3 芯片设计技术	69	6.4.5 动态二进制搜索算法	118
4.7.4 标签信息写入方式	70	习题 6	120
4.8 无源 RFID 电子标签	70	第 7 章 常用的 RFID 标准	121
4.8.1 RFID 电子标签射频前端的结构	71	7.1 RFID 标准化组织	121
4.8.2 并联谐振电路	71	7.1.1 ISO	121
4.9 RFID 读写器与无源标签之间的电感耦合	74	7.1.2 EPCglobal	122
		7.1.3 UID	122
		7.2 ISO/IEC 14443——近耦合 IC 卡	123
		7.2.1 物理特性	123
		7.2.2 射频接口	123

7.2.3	初始化与防冲突	125	8.4.2	ONS 的工作原理与层次结构	196
7.2.4	传输协议	130	8.4.3	ONS 的工作流程与查询步骤	197
7.3	ISO/IEC 15693 标准——疏耦合 IC 卡 (VICC)	133	8.4.4	ONS 查找算法的设计	201
7.3.1	物理性质	133	8.5	EPC 系统中的实际标记语言 PML	202
7.3.2	空气接口与初始化	133	8.5.1	PML 的概念及组成	203
7.4	ISO/IEC 18000—6 标准	137	8.5.2	PML 服务	204
7.4.1	TYPE A 模式	137	8.5.3	PML 的设计	207
7.4.2	TYPE B 模式	147	8.5.4	PML 的应用	208
7.4.3	TYPE C 模式 (读写器到标签的通信)	155	习题 8		210
7.4.4	TYPE C 模式 (标签到读写器的通信)	162	第 9 章	RFID 技术的典型应用实例	211
习题 7		166	9.1	RFID 在零售业仓储管理中的应用	211
第 8 章	EPC 技术基础及相关技术	167	9.1.1	仓储管理的现状	211
8.1	EPC 基础知识	167	9.1.2	仓储基本运营流程分析	212
8.1.1	EPC 的基本概念	167	9.1.3	仓库管理需求分析	213
8.1.2	EPC 编码体系	167	9.1.4	RFID 标签数据设计	215
8.1.3	EPC 系统的构成	167	9.1.5	系统总体方案设计	218
8.1.4	EPC 技术的优势	168	9.1.6	系统业务流程设计	219
8.1.5	EPCglobal 组织	169	9.1.7	系统功能模块设计	219
8.2	EPC 编码	171	9.2	基于 RFID 的整车物流管理系统	221
8.2.1	EPC 编码原则	171	9.2.1	需求分析	221
8.2.2	EPC 编码关注的问题	172	9.2.2	汽车整车生产流程	222
8.2.3	EPC 编码结构	172	9.2.3	RFID 系统架构方案	222
8.2.4	EPC 编码类型	173	9.2.4	应用于汽车制造业的 RFID 标签编码体系要求	223
8.2.5	EPC 编码数据结构	176	9.2.5	应用于汽车制造业的 RFID 标签编码结构	223
8.2.6	EPC 数据的 URI 表示	186	9.2.6	具体环节的 RFID 系统应用	228
8.2.7	EAN 编码和 EPC 编码的相互转换	190	9.2.7	RFID 实施阶段	232
8.3	EPC 系统的网络技术	192	习题 9		233
8.3.1	Savant 系统	192	参考文献		234
8.3.2	对象名称解析服务	193			
8.3.3	WWW 网与 EPCglobal Network 网络的区别	194			
8.4	EPC 系统的对象名称解析服务	194			
8.4.1	ONS 概述	194			

第 1 章 RFID 系统概述

射频识别 (Radio Frequency Identification, RFID) 是一种通信技术, 可通过无线电信号识别特定目标并读写相关数据, 而无需识别系统与特定目标之间建立机械或光学接触。目前 RFID 技术应用很广, 如图书馆、门禁系统、食品安全溯源等。本章主要介绍 RFID 的发展历史、现状、发展趋势, 以及 RFID 系统的组成与原理和 RFID 系统的标准化。

1.1 RFID 简介

RFID 也称为电子标签、无线射频识别, 是 20 世纪 80 年代开始出现的一种自动识别技术。RFID 利用射频信号通过空间耦合 (交变磁场或电磁场) 实现无接触信息传递, 并通过所传递的信息达到识别目的的技术。RFID 的识别工作不需要人工干预, 可工作于各种恶劣环境。RFID 技术可识别高速运动的物体并可识别多个标签, 操作快捷方便。

1.1.1 RFID 的特点

射频识别 (RFID) 具有下述特点。

- (1) 它是通过电磁耦合方式实现的非接触自动识别技术。
- (2) 它需要利用无线电频率资源, 必须遵守无线电频率使用的众多规范。
- (3) 它存放的识别信息是数字化的, 因此通过编码技术可以方便地实现多种应用, 如应用于身份识别、商品货物识别、动物识别、工业过程监控和收费等。
- (4) 它可以容易地对多电子标签、多阅读器进行组合建网, 以完成大范围的系统应用, 并构成完善的信息系统。
- (5) 它涉及计算机、无线数字通信、集成电路、电磁场等众多学科, 是一个新兴的融合多种技术的领域。

1.1.2 RFID 发展简史与现状

RFID 技术可称为无线通信技术的一种, 很早就和军事联系在一起。在 20 世纪 30 年代第二次世界大战期间, 英国空军受到雷达工作原理的启发, 开发了敌我飞机识别 (Identification Friend or Foe, IFF) 系统, 希望被物体反射回来的雷达无线电波信号中能够包含敌我识别的信息, 从而避免误伤。当时的应用仅仅是一种加密的身份标识 (IDENTITY, ID) 号而已。

1948年10月，哈里·斯托克曼发表的《利用能量反射进行通讯》一文奠定了射频识别技术的理论基础。实现哈里·斯托克曼的梦想用了30年，相关的技术如晶体管、集成电路、微处理器、通信网络在这期间相继取得突破。20世纪50年代，F.L. 弗农提出“微波零差应用”的设想，D.B. 哈里斯也申请了“带可调制无源电子标签的无线传输系统”的发明专利；1963—1964年，R. F. 哈林登在他的《主动散射体的场测量方法》和《加载散射体理论》等论文中研究了RFID相关的电磁理论；罗伯特·理查德森于1963年发明“遥控启动射频装置”；温丁于1967年发明“询问器——电子标签识别系统”；沃格尔曼于1969年发明“利用雷达波束的被动数据传输技术”；Otto Rittenback于1969年发明“雷达波束通信”。RFID技术发展的车轮开始转动。

RFID技术在商业领域的应用在20世纪60年代开始出现。例如，参讯美资（Sensormatic）和艾一信息（Checkpoint）公司与金刚（Knogo）等公司开发了电子防盗器（EAS）来对付商场里的窃贼。这类系统使用存储量只有1bit的标签来表示商品是否已售出，既可以使用基于超高频和微波的电磁反射系统，也可以使用基于高频的电磁感应系统，价格便宜，又可以有效地遏制偷窃行为，被认为是RFID技术首个世界范围的商用模式。

进入20世纪70年代，RFID技术继续吸引人们的广泛关注，射频识别技术与产品研发在此阶段处于一个大发展时期，各种射频识别技术测试得到加速发展。在工业自动化和动物识别方面出现了一些最早的射频识别商业应用。制造、运输、仓储等行业都试图研究和开发基于IC的RFID系统的应用，如工业自动化、动物识别、车辆跟踪等。例如，Raytheon公司（美国国防公司）于1973年推出了“RayTag”，RCA公司（美国老牌电器公司）的Richard Klensch于1975年开发了“电子识别系统”，F.Sterzer于1977年开发了“汽车电子车牌”，Fairchild公司（美国精密仪器商）的托马斯·迈耶斯和阿什利·利于1978年开发了“被动编码的微波发射机”等。

20世纪90年代，射频识别技术的标准化问题日趋得到重视，射频识别产品得到广泛的采用，并逐渐成为人们生活中的一部分。在这个时期，多个区域和公司开始注意这些系统之间的互操作性，即运行频率和通信协议的标准化问题。只有标准化，RFID技术才能得到更广泛的应用。比如，这时期美国出现的E-ZPass系统。

1999年，美国麻省理工学院Auto-ID中心正式提出产品电子代码（Electronic Product Code, EPC）概念，EPC与RFID技术相结合，构筑无所不在的“物联网”，引起了全球的广泛关注。

进入21世纪，全球几家大型零售商沃尔玛、麦德龙、特易购及一些政府机构如美国国防部（DoD）等，相继宣布了各自的RFID计划。在2003年，沃尔玛要求其前100家最大的供应商于2005年1月在向其位于美国得克萨斯州的三大物流配送中心运送产品时，产品的包装盒和货盘上必须贴有RFID标签。到2006年，已有200余家供应商在为沃尔玛供货的托盘上采用了电子标签。

同时，标准化的纷争出现了多个全球性的RFID标准和技术联盟，主要有EPCglobal、AIM global、ISO/IEC、UID、IP-X等。这些组织主要在标签技术、频率、数据标准、传输和接口协议、网络运营和管理、行业应用等方面试图达成全球统一的平台。

从此，RFID技术开拓了一个新的巨大的市场。随着成本的不断降低和标准的统一，RFID技术还将在无线传感网络、实时定位、安全防伪、个人健康、产品全生命周期管理等领域开拓新的市场。

1.2 RFID系统的组成与工作原理

1.2.1 RFID系统的组成

一般而言，RFID系统由3个部分组成：电子标签、读写器（又称为阅读器）和数据管理中心。RFID源于雷达技术，所以其工作原理和雷达非常相似。首先阅读器通过天线发出电子信号，标签接收到信号后，发射标签存储的内部信息，阅读器再通过天线接收并识别标签发回的信息，最后阅读器再将识别结果发送给数据管理中心。RFID系统基本模型如图1-1所示。

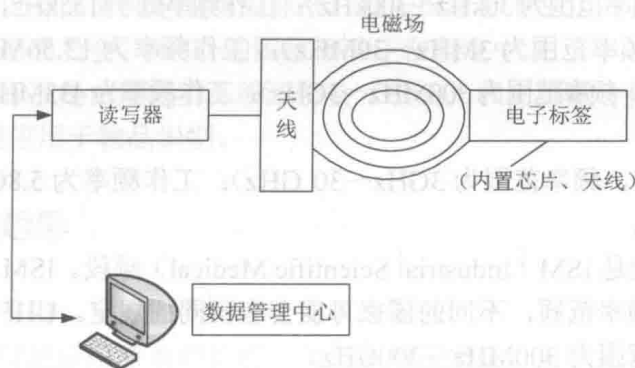


图 1-1 RFID 系统基本模型

最基本的 RFID 系统由三部分组成。

(1) 电子标签 (tag, 或称标签, 射频标签): 由芯片与内置天线组成。芯片内保存有一定格式的电子数据, 作为待识别物品的标识性信息, 是射频识别系统真正的数据载体。内置天线用于和射频天线间通信。

(2) 读写器: 又称为阅读器, 读取或读/写电子标签信息的设备, 主要任务是控制射频模块向标签发射读取信号, 并接收标签的应答, 对标签的对象标识信息进行解码, 将对象标识信息连带标签上其他相关信息传输到主机以供处理。

(3) 数据管理中心: 通常是一个装载了数据中心和控制软件的与读写器通过通信接口连接的 PC 或者工作站, 主要完成数据信息的存储、管理及对射频标签进行读写控制。数据管理系统可以是市面上现有的各种大小不一的数据库或供应链系统, 用户还能够买到面向特定行业的、高度专业化的库存管理数据库, 或者把 RFID 系统作为整个 ERP 的一部分。写入数据一般来说是离线完成的, 也就是预先在标签中写入数据, 等到开始应用时, 直接把标签粘附在被标识物体上。也有一些 RFID 应用系统, 写数据是在线完成的。

1.2.2 RFID 的工作原理

如图 1-1 所示, 电子标签进入天线磁场后, 如果接收到阅读器发出的特殊射频信号, 就能凭借感应电流所获得的能量发送出存储在无源标签芯片中的产品信息, 或者有源标签主动发送某一频率的信号, 阅读器读取信息并解码后, 送至中央信息系统进行有关数据处理。

1. 耦合类型

发生在阅读器和电子标签之间的射频信号的耦合类型有两种。

(1) 电感耦合。使用类似变压器的模型，通过空间高频交变磁场实现耦合，依据的是电磁感应定律。

(2) 电磁反向散射耦合。使用类似雷达的原理模型发射出去的电磁波，碰到目标后反射，同时携带回目标的信息，依据的是电磁波的空间传播规律。

2. RFID 的工作频率

RFID 系统的工作频率划分为下述频段。

(1) 低频 (LF, 频率范围为 30kHz~300kHz): 工作频率低于 135kHz, 最常用的是 125kHz。

(2) 高频 (HF, 频率范围为 3MHz~30MHz): 工作频率为 13.56MHz±7kHz。

(3) 特高频 (UHF, 频率范围为 300MHz~3GHz): 工作频率为 433MHz、866MHz~960MHz 和 2.45GHz。

(4) 超高频 (SHF, 频率范围为 3GHz~30 GHz): 工作频率为 5.8GHz 和 24GHz, 但目前 24GHz 基本不采用。

其中, 后三个频段是 ISM (Industrial Scientific Medical) 频段。ISM 频段是为工业、科学和医疗应用而保留的频率范围, 不同的国家可能会有不同的规定。UHF 和 SHF 都在微波频率范围内, 微波频率范围为 300MHz~300GHz。

在 RFID 技术的术语中, 有时称无线电频率的 LF 和 HF 为 RFID 低频段, UHF 和 SHF 为 RFID 高频段。

RFID 技术涉及无线电的低频、高频、特高频和超高频频段。在无线电技术中, 这些频段的技术实现差异很大, 因此可以说, RFID 技术的空中接口频率覆盖了无线电技术的全频段。

1.3 RFID 系统标准化

1.3.1 RFID 标准的作用

标准能够确保协同工作的进行、规模经济的实现、工作实施的安全性以及其他许多方面工作更高效地开展。RFID 标准化的主要目的在于, 通过制定、发布和实施标准, 解决 RFID 编码、通信、空中接口和数据共享等问题, 最大程度地促进 RFID 技术与相关系统的应用。

RFID 标准的发布和实施, 应处于恰当的时机。标准采用过早, 有可能会制约技术的发展和进步; 采用过晚, 则可能会限制技术的应用范围。

1.3.2 标准的内容

RFID 标准的主要内容包括以下几个方面。

(1) 技术: 技术包含的层面很多, 主要是接口和通信技术, 如空中接口、防碰撞方法、中间件技术和通信协议等。

(2) 一致性：一致性主要指数据结构、编码格式和内存分配等相关内容。

(3) 电池辅助及与传感器的融合：目前，RFID技术也融合了传感器，能够进行温度和应变检测的电子标签在物品追踪中应用广泛。大部分带传感器的电子标签和有源电子标签都需要从电池获取能量。

(4) RFID技术涉及的众多具体应用：如不停车收费系统、身份识别、动物识别、物流、追踪和门禁等。各种不同的应用涉及不同的行业，因而标准还需要涉及有关行业的规范。

1.3.3 RFID标准的分类

RFID标准主要有：ISO/IEC制定的国际标准、国家标准和行业标准。

国际标准化组织（ISO）和国际电工委员会（IEC）制定了多种重要的RFID国际标准。国家标准是各国根据自身国情制定的有关标准，我国国家标准制定的主管部门是工业和信息化部与国家标准化委员会。RFID的国家标准正在制定中。

一个典型的行业标准是由国际物品编码协会（EAN）和美国统一代码委员会（UCC）制定的EPC标准，主要应用于物品识别。

1.4 RFID的发展趋势

射频识别技术的发展，一方面受到应用需求的驱动，另一方面，射频识别技术的成功应用反过来又将极大地促进应用需求的扩展。从技术角度来说，射频识别技术的发展体现在若干关键技术的突破；从应用角度来说，射频识别技术的发展目的在于不断满足日益增长的应用需求。

从总体上而言，RFID技术已经逐步发展成为一个独立的跨学科的专业领域，它将大量来自完全不同专业领域的技术综合到一起，如高频技术、电磁兼容性、半导体技术、数据保护和密码学、电信、制造技术和许多专业领域。RFID技术所能应用和发挥效应的主要方面包括节省人工成本、提高作业精确性、加快处理速度和有效跟踪物流动态等，目前RFID技术已被广泛应用于工业自动化、商业自动化、交通运输控制管理等众多领域。

RFID技术的发展得益于多项技术的综合发展，所涉及的关键技术大致包括芯片技术、天线技术、无线收发技术、数据变换与编码技术和电磁传播技术。

RFID技术的发展已经走过50余年，在过去的10多年中得到了飞速的发展。随着技术的不断进步，RFID产品的种类将越来越丰富，应用也越来越广泛。可以预计，在未来的几年中，RFID技术将持续保持高速发展的势头。RFID技术的发展将会在射频标签、读写器和标准化等方面取得新的进展。

1.4.1 在RFID标签方面

在标签芯片方面，标签芯片所需的功耗今后将比现有的标签芯片更低，这就要求标签芯片朝着无源标签、半无源标签的方向发展。标签芯片的作用距离将更远，无线可读写性能也将更加完善，并且能够适合高速移动物品识别，识别速度也将更加快，具有快速多标签读写功能，一致性更好。与此同时，标签芯片在强电磁场下的自保护功能也会更加完善，智能性更强，成本更低。

标签成本是限制RFID技术商业应用能否取得成功的关键。虽然大量的研究工作使芯片

RFID 标签的成本有所降低,但是普通的芯片 RFID 标签主要由 IC 芯片、天线和封装等几部分构成,由于芯片的存在,它的成本还是无法与条形码相竞争。未来,为了降低标签成本,无芯片 RFID 标签将会批量生产。

在今后,标签天线外形将会变得更小,且能适应各种恶劣的电磁和物理环境,同时在制造技术上更多地采用石墨印刷或者其他成本低廉的生产方式,天线本身能实现更大的增益。基于幅值和相位编码的无标签 RFID 技术的天线则能实现更大的编码容量和更小的成本。

1.4.2 在 RFID 读写器方面

在读写器方面,多功能读写器的条形码识别集成、无线数据传输、脱机工作等功能将被更多地应用。同时,智能多天线端口、多种数据接口(包括 RS232、RS422/485、USB、红外、以太网口)、多制式、多频段兼容的读写器也将得到应用。从总体上来说,读写器会朝着小型化、便携式、嵌入式、模块化方向发展,成本将更加低廉,应用范围将更加广泛。

1.4.3 在 RFID 标准方面

在标准化方面,一方面,与 RFID 标准相关的基础性研究更加深入、成熟,最终形成并发布的标准将为更多企业所接受;另一方面,不同制造商的生产系统及相关的 RFID 模块可替换性更好、更为普及。

总而言之,射频识别技术在未来的发展中,在结合其他高新技术(如传感器、GPS、生物识别等技术)实现从单一识别到多功能识别方向发展的同时,将与现代通信技术和计算机技术共同实现跨地区、跨行业应用。

习 题 1

1. 简述 RFID 的系统组成和工作原理。
2. RFID 系统有哪些工作频率?
3. 简述 RFID 标准化的内容。

第 2 章 RFID 技术基础

RFID 是一门应用科学技术，也是一门典型的交叉学科，涉及通信、电磁学、天线技术等多门学科。学习和掌握这些学科在 RFID 中涉及的基本概念和相关应用对学习 RFID 是十分重要的。本章主要介绍 RFID 系统的组成、分类与基本原理，RFID 技术涉及的电磁学基础，RFID 读写器收发机的基本知识。

2.1 RFID 系统的组成、分类与基本原理

2.1.1 RFID 系统的组成

RFID 是一种无线识别技术。它基于无线电通信技术实现人或者物体的唯一识别。一个典型的 RFID 系统包括以下 3 个基本组成部分：读写器、标签和数据管理中心。RFID 系统结构图如图 2-1 所示，其中本地服务器通过局域网与读写器之间通信，通过以太网或者其他网络与数据管理中心通信，也就是说，本地服务器是读写器与数据管理中心进行数据交换的桥梁。

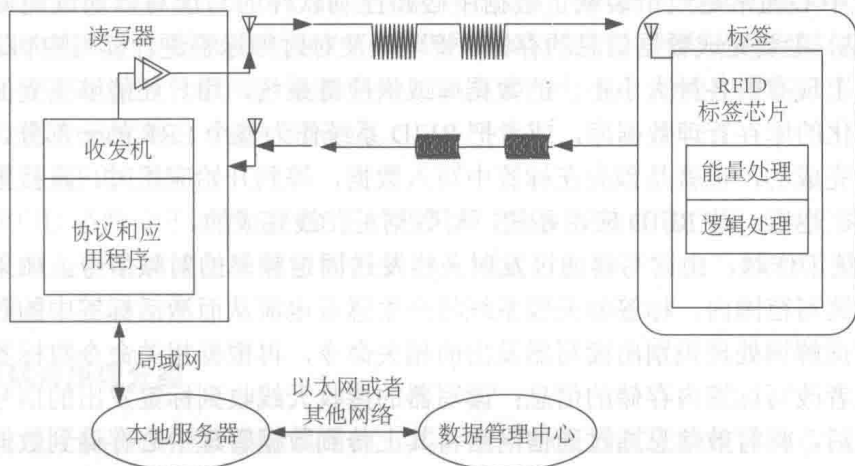


图 2-1 RFID 系统结构图

1. 读写器

读写器是负责读取或写入标签信息的设备，读写器可以是单独的整体，也可以作为部件

嵌入其他系统中。读写器由天线、RF 处理模块、控制处理模块和通信接口组成。它的主要功能是通过电磁场对 RFID 标签进行读写操作，获取标签信息进而识别被标签附着的物体，并将信息通过通信网络上传至控制中心，同时读写器也能接收来自控制中心的命令并进行相应的操作。根据支持的标签类型与完成的功能不同，读写器的复杂程度是不同的。读写器的基本功能就是提供与射频标签进行数据传输的途径。读写器还可提供相当复杂的信号状态控制、奇偶错误校验与校正功能等，因而射频标签中除了存储需要传输的信息外，还必须包含一定的附加信息，如错误校验信息等。

2. 标签

标签也叫作电子标签，一般由半导体芯片、天线及电池组成，供电方式决定是否有电池。它附着于被识别的物体上，与该物体一一对应，标签内部的半导体芯片内存有该物体的序列号、生产信息等数据。读写器通过与标签的无线电通信，读取这些数据，从而识别被标签附着的物体。

依据供电方式的不同，射频标签可以分为有源射频标签和无源射频标签。有源射频标签内装有电池，无源射频标签内部没有电池。根据标签内装电池供电情况不同，又可细分为有源射频标签和半无源射频标签。有源射频标签的工作电源完全由内部电池供给，同时标签电池的能量供应也部分转换为射频标签与读写器通信所需的射频能量。半无源射频标签介于有源射频标签和无源射频标签两者之间，虽然带有电池，但是电池的能量只能激活系统。系统激活之后，电池不再为标签供电，标签进入无源工作模式。

按调制方式分，射频标签还可分为主动式标签和被动式标签。主动式标签用自身的射频能量主动发送能量给读写器，主要用于有障碍物的情况下；被动式标签使用调制散射方式发射数据，它必须利用读写器的载波来调制自己的信号，适用于门禁考勤或交通管理领域。

3. 数据管理中心

数据管理中心通常是一个装载了数据中心和控制软件的与读写器通过通信接口连接的 PC 或者工作站，主要完成数据信息的存储、管理以及对射频标签进行读写控制。数据管理系统可以是市面上现有的各种大小不一的数据库或供应链系统，用户还能够买到面向特定行业的、高度专业化的库存管理数据库，或者把 RFID 系统作为整个 ERP 的一部分。写入数据一般来说是离线完成的，也就是预先在标签中写入数据，等到开始应用时，直接把标签粘附在被标识物体上。也有一些 RFID 应用系统，写数据是在线完成的。

RFID 系统工作时，由读写器通过发射天线发送固定频率的射频信号。如果有标签进入读写器的有效读写范围内，标签的天线系统将产生感应电流从而激活标签中的芯片。被激活的标签芯片根据解调处理识别出读写器发出的相关命令，再根据相关命令将标签内存储的信息发送出去或者改写标签内存储的信息；读写器的接收天线收到标签发出的信号，经过解调等相关处理之后，将有效信息通过通信网络将其上传到数据管理中心存储到数据库，或者经过处理后，应用到相关的领域，如供应链管理、门禁控制、安全等方面。

在一个 RFID 系统中，读写器能够在短时间内识别所有进入其有效读写范围内的所有标签，同时多个读写器能通过通信网络连接到同一个或者多个数据管理中心。读写器与标签在数量上是一对多的关系，数据管理中心和读写器也是一对多的关系。

RFID 标签和读写器之间基于电磁场的通信方式，根据具体采用的原理不同，可以分为

基于近场通信的电感耦合式 (inductive coupling) 和远场通信的背向散射式 (backscatter)。前者是依据电磁感应定律在天线的感应近场区通过高频交变磁场实现耦合, 进而实现能量和信息传输; 背向散射式是依据天线远场中电磁波的空间传输规律, 发射出去的电磁波被标签反射并携带相应信息, 实现了能量和信息的传输。

2.1.2 RFID 系统的分类

RFID 系统具有多个分类标准。本书主要根据标签的供电方式、耦合原理和通信工作原理方式对 RFID 系统进行简单的分类。

1. 根据标签供电形式分类

在实际应用中, 必须给标签供电它才能工作, 尽管它的电能消耗是非常低的 (一般是万分之一毫瓦级别)。按照标签获取电能方式的不同, 可以把标签分成有源标签、无源标签和半有源标签, 它们对应的 RFID 系统分别称为有源 RFID 系统、无源 RFID 系统和半无源 RFID 系统。

(1) 有源 RFID 系统

有源标签内部自带电池进行供电, 它的电能充足, 工作可靠性高, 信号传送距离远。另外, 有源标签可以通过设计电池的不同寿命对标签的使用时间或使用次数进行限制, 也可以用在需要限制数据传输量或者使用数据有限制的地方, 比如, 一年内标签只允许读写有限次。有源标签的缺点主要是标签的使用寿命受到限制, 而且随着标签内电池电力的消耗, 其数据传输的距离会越来越小, 从而影响系统的正常工作。

(2) 无源 RFID 系统

无源标签内部不带电池, 要靠外界提供能量才能正常工作。典型的无源标签产生电能的装置是天线与线圈。当标签进入系统工作区域时, 天线接收到特定的电磁波。线圈就会产生感应电流, 再经过整流电路给标签供电。无源标签具有永久的使用期, 常常用在标签信息需要每天读写或频繁读写多次的地方, 而且无源标签支持长时间的数据传输和永久性的数据存储。无源标签的缺点主要是数据传输的距离要比有源标签短。因为无源标签依靠外部的电磁感应而供电, 它的电能就比较弱, 数据传输的距离和信号强度就受到限制, 需要信号灵敏度比较高的接收器 (阅读器) 才能可靠识读。

(3) 半无源 RFID 系统

半无源 RFID 系统介于有源 RFID 系统和无源 RFID 系统两者之间, 半无源 RFID 系统虽然带有电池, 但是电池的能量只能激活系统。系统激活之后, 电池不再为标签供电, 标签进入无源工作模式。

2. 根据耦合原理分类

读写器与电子标签采用非接触式通信方式, 电子标签通过无线电波与读写器进行数据交换。根据耦合方式、工作频率和作用距离的不同, 无线信号传输分为电感耦合方式和电磁反向散射方式两种。电感耦合方式对应的 RFID 系统称为电感耦合式 RFID 系统, 电磁反向散射方式对应的 RFID 系统称为电磁反向散射式 RFID 系统。

(1) 电感耦合式 RFID 系统

在电感耦合方式中, 读写器与电子标签之间的射频信号传递为变压器模型, 电磁能量通

过空间高频交变磁场实现耦合，该系统依据的是法拉第电磁感应定律。

电感耦合系统又分为密耦合系统和遥耦合系统。

① 密耦合系统。

读写器与电子标签的作用距离较近，典型的范围为 0~1cm，电子标签需要插入读写器中，或将电子标签放置在读写器的表面，读写器可以提供给电子标签较大能量。密耦合系统可以工作于 0~30MHz 的频率中，通常用于安全性要求较高，但不要求作用距离的设备中。

② 遥耦合系统。

读写器与电子标签的作用距离为 15cm~1m，由于耦合传输给电子标签的能量较小，所以遥耦合系统只适用于只读电子标签。遥耦合系统是目前使用最为广泛的射频识别系统。

(2) 电磁反向散射式 RFID 系统

在电磁反向散射方式中，读写器与电子标签之间的射频信号传递为雷达模型。读写器发射出去的电磁波碰到电子标签后，电磁波被反射，同时携带回电子标签的信息，该系统依据的是电磁波空间辐射原理。

电磁反向散射方式一般适用于微波系统，典型的工作频率为 433MHz、860/960MHz、2.45GHz 及以上频段。

在电磁反向散射系统中，电子标签处于读写器的远场区，电子标签接收读写器天线辐射的能量，该能量可以用于电子标签与读写器之间的信号传输，但该能量一般不足以使电子标签芯片工作。如果电子标签芯片工作，就要对电子标签提供足够的能量，这时一般需要在电子标签中添加辅助电池。这个辅助电池为芯片读取数据提供能量。

3. 根据通信工作原理分类

根据数据在 RFID 阅读器与电子标签之间的通信方式，RFID 系统可以划分为 3 种，即半双工系统、全双工系统和时序系统，如图 2-2 所示。

(1) 半双工系统

在半双工（HDX）系统中，从电子标签到阅读器的数据传输与从阅读器到电子标签的数据传输是交替进行的。当频率在 300MHz 以下时，常常使用负载调制的半双工法，可不使用副载波，其电路也很简单。与此很相近的方式是来源于雷达技术的调制反射截面的方法，其工作频率在 1 000MHz 以上。负载调制和调制反射截面直接影响由阅读器产生的磁场或电磁场。

(2) 全双工系统

在全双工（FDX）系统中，数据在电子标签和阅读器之间的双向传输是同时进行的。其中，电子标签发送数据，所用频率为阅读器的几分之一，即采用分谐波，或是用一种完全独立的非谐波频率。

(3) 时序系统

在时序（SEQ）系统中，从阅读器到电子标签的数据传输和能量供给与从电子标签到阅读器的数据传输在时间上是交叉进行的，即脉冲系统。

半双工与全双工两种方式的共同点是，从阅读器到电子标签的能量供给是连续的。与数据传输的方向无关。而与此相反，在使用时序系统的情况下，从阅读器到电子标签的能量供给总是在限定的时间间隔内进行，从电子标签到阅读器的数据传输是在电子标签的能量供给间歇时进行的。