



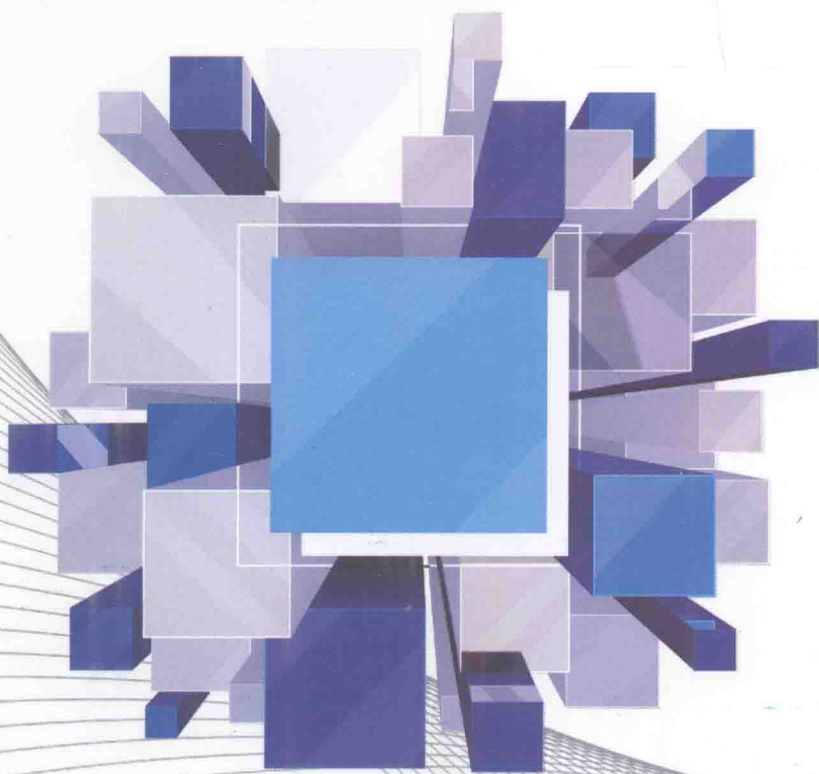
中国电子学会物联网专家委员会推荐

普通高等教育物联网工程专业“十二五”规划教材

RFID开发技术及实践

RFID Technology Development and Practice

青岛东合信息技术有限公司 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

中国电子学会物联网专家委员会推荐

普通高等教育物联网工程专业“十二五”规划教材

RFID 开发技术及实践

青岛东合信息技术有限公司 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书以射频识别(RFID)为基础, AVR 单片机 ATmega16A 为控制器, “RFID 开发套件”为硬件开发平台, IAR-EW 为软件开发环境, 讲解了 RFID 技术原理、RFID 协议体系、AVR 开发基础、各频段 RFID 的特点和阅读器设计方法, 旨在让读者更清楚地了解 RFID 系统架构原理及 RFID 阅读器的设计和应用方法。

本书分为两篇: 理论篇和实践篇。理论篇共 6 章, 分别讲解了射频识别技术、RFID 协议体系、RFID 阅读器开发基础、低频 RFID 阅读器设计、高频 RFID 阅读器设计和超高频 RFID 阅读器应用。其中, 第 1 章、第 2 章讲解 RFID 技术原理和协议体系; 第 3 章讲解阅读器组成和 AVR 单片机开发基础; 第 4 章~第 6 章讲解低频、高频和超高频 RFID 的不同特点以及阅读器的设计与应用方法。实践篇共 5 章, 分别对应相应的理论篇, 可与配套的实验设备相结合完成实践教学, 利用“RFID 开发套件”基于 IAR-EW 开发平台的搭建以及各频段 RFID 的应用编程, 结合“超高频 RFID 阅读器”完成超高频 RFID 阅读器二次开发的相关实验。

本书偏重 RFID 的应用, 采用理论与实践相结合的方法, 将 RFID 技术运用于实践中, 更深层地剖析了 RFID 技术与各种相关技术的关系, 为物联网的学习奠定了基础。本书适用面广, 可作为本科物联网工程、通信工程、电子信息工程、自动化、计算机科学与技术 and 计算机网络等专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

RFID 开发技术及实践/青岛东合信息技术有限公司编著. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2014.1

普通高等教育物联网工程专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5606-3308-4

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 001535 号

策 划 毛红兵

责任编辑 毛红兵 师 彬

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2014 年 1 月第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 13

字 数 301 千字

印 数 1~3000 册

定 价 38.00 元

ISBN 978-7-5606-3308-4/TN

XDUP 3600001-1

如有印装问题可调换

普通高等教育物联网工程专业 “十二五”规划教材编委会

主 任： 韩敬海

副主任： 张秀梅

编 委： 崔文善 王成端 薛庆文

孔繁之 吴明君 李洪杰

刘继才 吴海峰 张 磊

孔祥和 陈龙猛 窦相华

王海峰 张 伟 王 蕊

前 言

随着物联网产业的迅猛发展，企业对物联网工程应用型人才的需求越来越大。“全面贴近企业需求，无缝打造专业实用人才”是目前高校物联网专业教育的革新方向。

本系列教材是面向高等院校物联网专业方向的标准化教材，教材内容注重理论且突出实践，强调理论讲解和实践应用的结合，覆盖了物联网的感知识别、网络通信及应用支撑等物联网架构所包含的关键技术。教材研发充分结合物联网企业的用人需求，经过了广泛的调研和论证，并参照多所高校一线专家的意见，具有系统性、实用性等特点，旨在使读者在系统掌握物联网开发知识的同时，具备综合应用能力和解决问题的能力。

该系列教材具有如下几个特色。

1. 以培养应用型人才为目标

本系列教材以应用型物联网人才为培养目标，在原有体制教育的基础上对课程进行深层次改革，强化“应用型技术”动手能力，使读者在经过系统、完整的学习后能够达到如下要求：

- 掌握物联网相关开发所需的理论和技术体系以及开发过程规范体系；
- 能够熟练地进行设计和开发工作，并具备良好的自学能力；
- 具备一定的项目经验，包括嵌入式系统设计、程序编写、文档编写、软硬件测试等内容；
- 达到物联网企业的用人标准，实现学校学习与企业工作的无缝对接。

2. 以新颖的教材架构来引导学习

本系列教材分为四个层次：知识普及、基础理论、应用开发、综合拓展，这四个层面的知识讲解和能力训练分布于系列教材之间，同时又体现在单本教材之中。具体内容在组织上划分为理论篇和实践篇：理论篇涵盖知识普及、基础理论和应用开发；实践篇包括企业应用案例和综合知识拓展等。

■ **理论篇：**最小学习集。学习内容的选取遵循“二八原则”，即重点内容占企业中常用技术的20%，以“任务驱动”方式引导80%的知识点的学习，以章节为单位进行组织，章节的结构如下：

- ✓ 本章目标：明确本章的学习重点和难点；
- ✓ 学习导航：以流程图的形式指明本章在整本教材中的位置和学习顺序；
- ✓ 任务描述：以“案例教学”驱动本章教学的任务，所选任务典型、实用；
- ✓ 章节内容：通过小节迭代组成本章的学习内容，以任务描述贯穿始终。

■ **实践篇：**以任务驱动，多点连成一线。以接近工程实践的应用案例贯穿始终，力求使学生在动手实践的过程中，加深对课程内容的理解，培养学生独立分析和解决问题的能力，并配备相关知识的拓展讲解和拓展练习，拓宽学生的知识面。

本系列教材借鉴了软件开发中“低耦合、高内聚”的设计理念，组织架构上遵循软件开发中的 MVC 理念，即在保证最小教学集的前提下可根据自身的实际情况对整个课程体系进行横向或纵向裁剪。

3. 以完备的教辅体系和教学服务来保证教学

为充分体现“实境耦合”的教学模式，方便教学实施，保障教学质量和学习效果，本系列教材均配备可配套使用的实验设备和全套教辅产品，可供各院校选购：

■ **实验设备：**与培养模式、教材体系紧密结合。实验设备提供全套的电路原理图、实验例程源程序等。

■ **立体配套：**为适应教学模式和教学方法的改革，本系列教材提供完备的教辅产品，包括教学指导、实验指导、视频资料、电子课件、习题集、题库资源、项目案例等内容，并配以相应的网络教学资源。

■ **教学服务：**教学实施方面，提供全方位的解决方案(在线课堂解决方案、专业建设解决方案、实训体系解决方案、教师培训解决方案和就业指导解决方案等)，以适应物联网专业教学的特殊性。

本系列教材由青岛东合信息技术有限公司编写，参与本书编写工作的有韩敬海、孙锡亮、李瑞改、李红霞、张玉星、刘晓红、卢玉强、袁文明等。参与本书编写工作的还有青岛农业大学、潍坊学院、曲阜师范大学、济宁学院、济宁医学院等高校的教师。本系列教材在编写期间还得到了各合作院校专家及一线教师的大力支持和协作。在本系列教材出版之际要特别感谢给予我们开发团队大力支持和帮助的领导及同事，感谢合作院校的师生给予我们的支持和鼓励，更要感谢开发团队每一位成员所付出的艰辛劳动。

由于水平有限，书中难免有不当之处，读者在阅读过程中如有发现，请通过公司网站(<http://www.dong-he.cn>)或我公司教材服务邮箱(dh_iTeacher@126.com)联系我们。

高校物联网专业项目组

2013 年 11 月

目 录

理 论 篇

第 1 章 射频识别技术	2
1.1 射频识别技术简介	2
1.1.1 射频识别技术的发展历史	3
1.1.2 射频识别技术的特征	3
1.2 RFID 技术原理	4
1.2.1 RFID 系统组成	4
1.2.2 射频识别基本原理	7
1.2.3 RFID 编码与调制	10
1.2.4 数据校验与防碰撞	13
1.3 RFID 标准	15
1.3.1 RFID 标准概述	15
1.3.2 ISO/IEC 10536 标准	16
1.3.3 ISO/IEC 14443 标准	16
1.3.4 ISO/IEC 15693 标准	16
1.3.5 ISO/IEC 18000 标准	16
1.4 RFID 与物联网	17
1.4.1 EPC 系统	17
1.4.2 EPC 与物联网	18
习题	19
第 2 章 RFID 协议体系	20
2.1 ISO/IEC 14443 标准	21
2.1.1 ISO/IEC 14443-1	21
2.1.2 ISO/IEC 14443-2	21
2.1.3 ISO/IEC 14443-3	22
2.1.4 ISO/IEC 14443-4	26
2.2 ISO/IEC 18000-6 标准	29
2.2.1 EPC C1 G2 标准	30
2.2.2 存储器结构	31
2.2.3 命令集	33
习题	33
第 3 章 RFID 阅读器开发基础	35

3.1 阅读器电路组成	36
3.1.1 MCU 及外围电路	36
3.1.2 收发通道	36
3.1.3 天线	37
3.2 AVR 单片机概述	37
3.2.1 AVR 主要功能特性	37
3.2.2 ATmega16A	38
3.3 AVR 时钟与熔丝位	40
3.3.1 AVR 系统时钟	40
3.3.2 AVR 熔丝位	41
3.4 AVR 通用 I/O 口	42
3.4.1 通用 I/O 口结构	43
3.4.2 通用 I/O 寄存器	43
3.4.3 通用 I/O 程序设计	44
3.4.4 I/O 端口第二功能	46
3.5 AVR 中断	47
3.5.1 中断向量	47
3.5.2 中断控制	48
3.5.3 外部中断	49
3.5.4 中断程序设计	51
3.6 AVR 定时器	53
3.6.1 定时器概述	53
3.6.2 定时器工作模式	55
3.6.3 定时器寄存器	56
3.6.4 定时器程序设计	59
3.7 AVR USART	61
3.7.1 USART 结构	61
3.7.2 USART 寄存器	62
3.7.3 USART 程序设计	66
3.8 AVR SPI	69
3.8.1 SPI 结构	70
3.8.2 SPI 工作模式	71
3.8.3 SPI 寄存器	71
3.8.4 SPI 配置	73
习题	74
第 4 章 低频 RFID 阅读器设计	75
4.1 低频 ID 卡	75
4.1.1 常见低频 ID 卡	76
4.1.2 EM4100	76

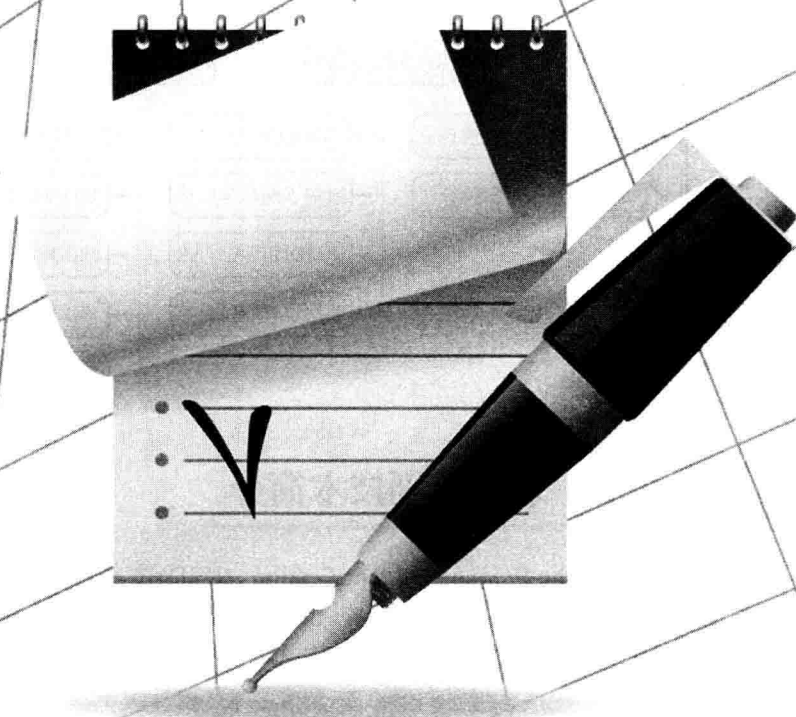
4.1.3 EM4100 解码	76
4.2 EM4095	77
4.2.1 功能概述	77
4.2.2 原理图	78
4.2.3 与 MCU 接口	80
4.3 低频 RFID 阅读器程序设计	81
4.3.1 初始化程序	82
4.3.2 驱动程序	83
4.3.3 主程序	85
习题	87
第 5 章 高频 RFID 阅读器设计	88
5.1 Mifare 卡	89
5.1.1 Mifare 卡的特点	89
5.1.2 Mifare1 S50 卡	89
5.1.3 Mifare1 卡存储器组织	91
5.1.4 Mifare 卡读写	94
5.2 MF RC522	96
5.2.1 概述	96
5.2.2 原理图	97
5.2.3 与 MCU 接口	98
5.3 RC522 基本操作	101
5.3.1 RC522 寄存器	101
5.3.2 FIFO 缓冲区操作	103
5.3.3 RC522 命令	104
5.3.4 RC522 基本指令	106
5.4 高频 RFID 阅读器程序设计	107
5.4.1 初始化程序	107
5.4.2 驱动程序	110
5.4.3 主程序	124
5.4.4 中断服务函数	126
习题	127
第 6 章 超高频 RFID 阅读器应用	128
6.1 超高频 RFID	129
6.1.1 超高频 RFID 特点	129
6.1.2 超高频 RFID 频率	129
6.2 超高频 RFID 协议标准	130
6.2.1 概述	130
6.2.2 ISO/IEC 18000-6 标准	131
6.2.3 EPC C1 G2 协议	132

6.2.4 EPC C1 G2 技术特点	133
6.3 超高频 RFID 现状	134
6.4 超高频 RFID 阅读器	135
6.4.1 阅读器参数	135
6.4.2 上位机配置	136
6.5 RFID 阅读器二次开发	139
6.5.1 二次开发意义	139
6.5.2 二次开发构架	139
6.5.3 二次开发过程	140
6.5.4 阅读器通信测试	141
习题	144

实 践 篇

实践 1 RFID 协议体系	146
实践指导	146
实践 1.G1	146
实践 1.G2	147
实践 1.G3	149
实践 2 RFID 阅读器开发基础	150
实践指导	150
实践 2.G1	150
实践 2.G2	153
实践 2.G3	154
实践 2.G4	157
实践 3 低频 RFID 阅读器设计	160
实践指导	160
实践 3.G1	160
实践 3.G2	163
实践 4 高频 RFID 阅读器设计	169
实践指导	169
实践 4.G1	169
实践 5 超高频 RFID 阅读器应用	187
实践指导	187
实践 5.G1	187
实践 5.G2	188
实践 5.G3	190
实践 5.G4	197

理论篇



第1章 射频识别技术

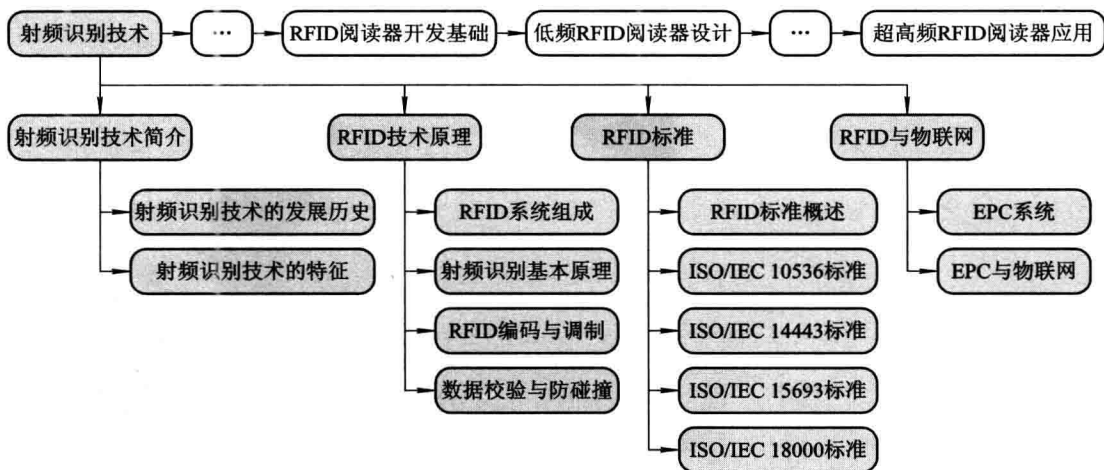


本章目标

- ◆ 了解射频识别技术的发展历史和特征。
- ◆ 了解 RFID 系统的组成结构。
- ◆ 掌握 RFID 编码与调制方法。
- ◆ 理解数据校验和防碰撞的意义。
- ◆ 理解 RFID 标准的意义和关系。
- ◆ 了解 RFID 与物联网的关系。



学习导航



1.1 射频识别技术简介

射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)技术是一种利用射频通信实现的非接触式自动识别技术。在 RFID 系统中,识别信息存放在电子数据载体中,电子数据载体称为应答器,应答器中存放的识别信息由阅读器读写。目前,射频识别技术最广泛的应用是各

类 RFID 标签和卡的读写及管理。

本章将从射频识别技术的发展历史开始,详细讲解其技术原理、标准以及与物联网的关系等内容。

1.1.1 射频识别技术的发展历史

顾名思义,射频识别技术就是以射频为载体的一项识别技术。无线电的出现和发展是该技术能够实现的前提。限于技术等原因,早期的射频识别技术更多地应用在大型的、特定的行业和场合。

1. IFF 系统

射频识别技术最早的应用可追溯到第二次世界大战期间。当时为了避免误伤友机,开发出了飞机的敌我目标识别(Identification Friend or Foe, IFF)系统。IFF 的原理是利用射频电波携带一段加密的编码,当友机收到后,立刻利用加密机制解码并发回“我是朋友”的信息,而敌机则无法回应。目前,这种飞机身份无线识别系统依然应用在民用航空领域,但仍被称为 IFF。

2. AIS 系统

船舶自动识别(Auto Identification System, AIS)系统是射频识别技术在海事领域的大规模应用。该系统经 IFF 发展而来,由岸基(基站)设施和船载设施共同组成。船载设备配合全球定位系统(GPS),可将船位、船速、改变航向率及航向等船舶动态资料结合船名、呼号、吃水及危险货物等船舶静态资料由甚高频(VHF)频道向附近水域及基站广播,使邻近船舶及基站能及时掌握附近海面所有船舶的动、静态资讯。如果发现周围海域船舶出现异常或有相撞危险,可以立刻互相通话协调,采取必要避让行动,这对船舶安全和管理有很大帮助。

3. 发展趋势

近年来,随着大规模集成电路、网络通信、信息安全等技术的发展,射频识别技术逐渐小型化、集成化,不再局限于特定行业的应用,而进入商业化应用阶段。如目前被广泛使用的公交卡、门禁卡和二代身份证等就是射频识别技术在日常生活中的应用。卡和标签类的应用逐渐被民众所熟悉和接受,以至于成为 RFID 的代名词。

在物联网兴起的背景下,射频识别技术由于具有高速移动物体识别、多目标识别和非接触识别等特点,显示出巨大的发展潜力与应用空间,被认为是 21 世纪最有发展前途的信息技术之一。



注意:本书中所指射频识别技术并不涉及特殊领域的 IFF 或 AIS 系统,主要指民用范围内的各种阅读器和标签(卡类)应用。

1.1.2 射频识别技术的特征

射频识别技术作为一种特殊的识别技术,区别于传统的条形码、插入式 IC 卡和生物(如指纹)识别技术,具有下述特征:

- ✧ 是通过电磁耦合方式实现的非接触自动识别技术。
- ✧ 需要利用无线电频率资源,并且须遵守无线电频率使用的众多规范。

- ◇ 存放的识别信息是数字化的, 可通过编码技术方便地实现多种应用。
- ◇ 可以方便地进行组合建网, 以完成多规模的系统应用。
- ◇ 涉及计算机、无线数字通信、集成电路及电磁场等众多学科。

1.2 RFID 技术原理

RFID 技术涉及无线电的多个频段, 性能特点不尽相同, 所以具体的阅读器和应答器等形式也不相同。而实用的 RFID 系统更加复杂, 涉及很多技术细节。其中, 编码与调制、数据校验与防碰撞是几个关键技术。

1.2.1 RFID 系统组成

RFID 系统由阅读器、应答器和高层等部分组成, 其结构如图 1-1 所示。

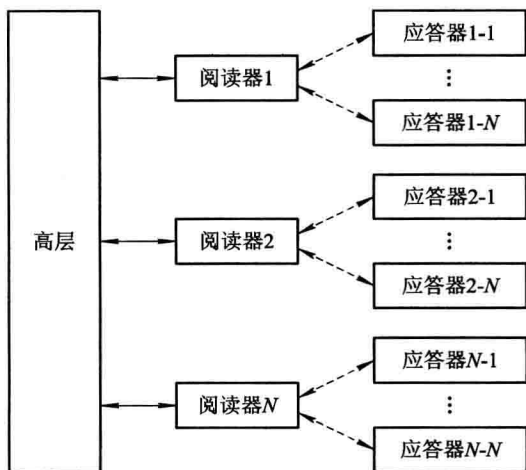


图 1-1 RFID 系统组成

最简单的应用系统只有一个阅读器, 它一次对一个应答器进行操作, 如公交车上的刷卡系统; 较复杂的应用需要一个阅读器可同时对多个应答器进行操作, 要具有防碰撞(也称防冲突)的能力; 更复杂的应用系统要解决阅读器的高层处理问题, 包括多阅读器的网络连接等。

1. 高层

对于由多阅读器构成的网络架构信息系统来说, 高层是必不可少的。例如, 采用 RFID 门票的世博会票务系统, 需要在高层将多个阅读器获取的数据有效地整合起来, 提供查询、历史档案等相关管理和服 务。更进一步, 通过对数据的加工、分析和挖掘, 为正确决策提供依据, 这就是常说的信息管理系统和决策系统。

2. 阅读器

阅读器在具体应用中常称为读写器(这两种称呼本书将不加区别), 是对应答器提供能量、进行读写操作的设备。虽然因频率范围、通信协议和数据传输方法的不同, 各种阅读

器在一些方面会有很大的差异，但通常具有一些相同的功能：

- ✧ 以射频方式向应答器传输能量。
- ✧ 读写应答器的相关数据。
- ✧ 完成对读取数据的信息处理，并实现应用操作。
- ✧ 若有需要，应能与高层处理交互信息。

通常，阅读器按照频率分为低频 RFID 阅读器、高频 RFID 阅读器和超高频 RFID 阅读器。本书配套的低频 RFID 阅读器如图 1-2 所示。

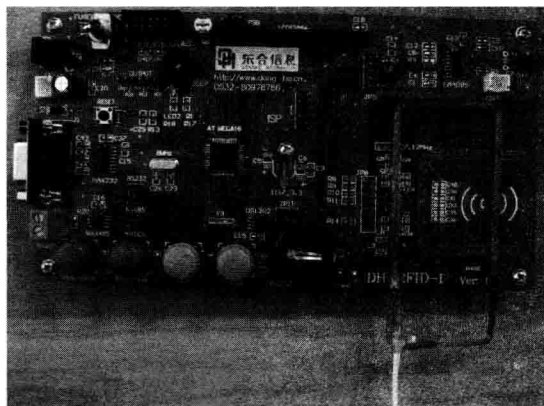


图 1-2 低频 RFID 阅读器

本书配套的高频 RFID 阅读器如图 1-3 所示。

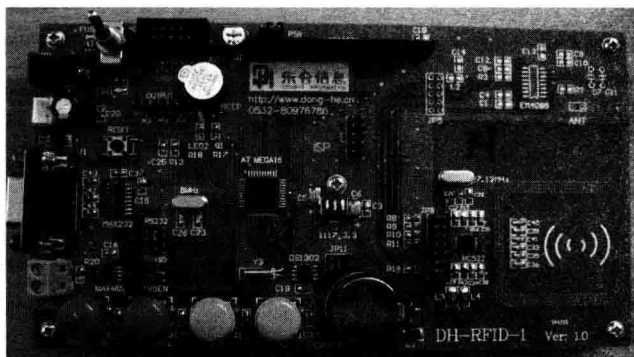


图 1-3 高频 RFID 阅读器

本书配套的超高频 RFID 阅读器如图 1-4 所示。



图 1-4 超高频 RFID 阅读器

3. 应答器

从技术角度来说,RFID 的核心在应答器,阅读器是根据应答器的性能而设计的。但是由于封装工艺等问题,应答器的设计和生产通常由专业的设计厂商和封装厂商来完成,普通用户没有能力也无法接触到这一领域。

目前,应答器趋向微型化和高集成度,关键技术在于材料、封装和生产工艺,重点突出应用而非设计。应答器按照电源形式可以分为如下两种类型:

✧ 有源应答器:使用电池或其他电源供电,不需要阅读器提供能量,通常靠阅读器唤醒,然后切换至自身提供能量。

✧ 无源应答器:没有电池供电,完全靠阅读器提供能量。

应答器按照工作频率范围可分为如下三种类型:

✧ 低频应答器:低于 135 kHz。

✧ 高频应答器:13.56 MHz $\pm$ 7 kHz。

✧ 超高频应答器:工作频率为 433 MHz、866~960 MHz、2.45 GHz 和 5.8 GHz(虽然属于 SHF,但由于性能的相似性,通常将其归为超高频应答器范围)。

应答器在某些应用场合也叫做射频卡、标签等,但从本质而言可统称为应答器。

1) 射频卡(RF Card)

通常,射频卡的外形尺寸与银行卡相同,尺寸符合 ID-1 型卡的规范,工作频率为 13.56 MHz 或低于 135 kHz,采用电感耦合方式实现能量和信息的传输。通常可应用于各种小额消费、身份认证和考勤登记等,卡片上也可以印刷各种不同的图案、文字或者商标、广告等。目前有些超高频标签也封装成射频卡的外形。各种射频卡的外观如图 1-5 所示。



图 1-5 射频卡外观

2) 标签(Tag)

应答器除了卡状外形还有其他很多形状,可用于动物识别、货物识别、集装箱识别等,在这些应用领域通常将应答器制作成标签,其中微型 RFID 标签如图 1-6 所示。

防水钱币型标签常用于恶劣环境下,可防水防尘,强度较高,其外观如图 1-7 所示。



图 1-6 微型 RFID 标签

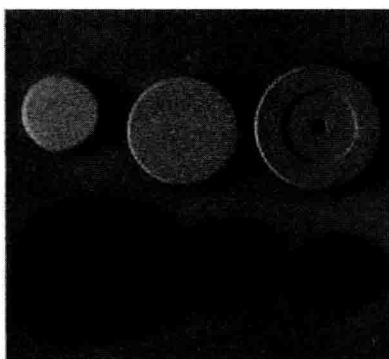


图 1-7 防水钱币型 RFID 标签

有的标签很薄，并且贴有不干胶，适用于物流行业的货物跟踪，其外观如图 1-8 所示。

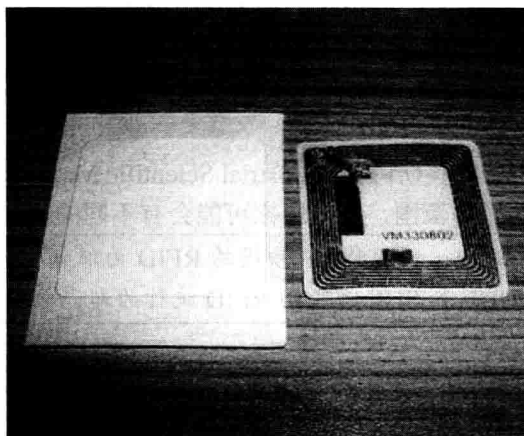


图 1-8 不干胶 RFID 标签

1.2.2 射频识别基本原理

在 RFID 系统中，射频识别部分主要由阅读器和应答器两部分组成。阅读器与应答器之间的通信采用无线射频方式进行耦合。在实践中，由于对距离、速率及应用的要求不同，需要的射频性能也不尽相同，所以射频识别涉及的无线电频率范围也很广。

1. 基本交互原理

射频识别过程在阅读器和应答器之间以无线射频的方式进行，其基本原理如图 1-9 所示。

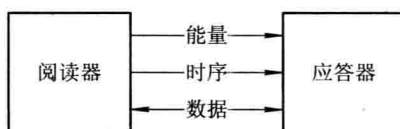


图 1-9 RFID 基本原理

阅读器和应答器之间的交互主要靠能量、时序和数据三个方面来完成。

✧ 阅读器产生的射频载波为应答器提供工作所需要的能量。