

HIGH EDU

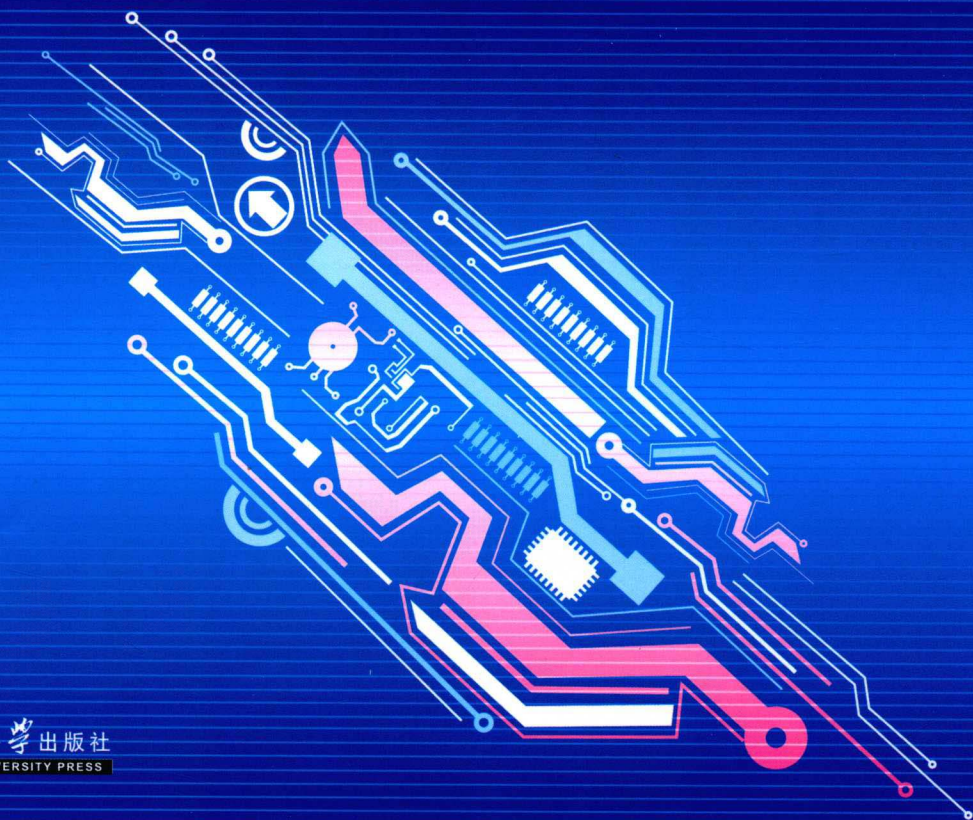


普通高等教育专业课程系列教材

# RFID技术与应用

RFID TECHNOLOGY AND APPLICATION

王利强 张桂英 杨旭 高凤友 张巍 王林年 编著



要教育人

普通高等教育专业课程系列教材

# RFID 技术与应用

RFID TECHNOLOGY AND APPLICATION

王利强 张桂英 杨旭  
高凤友 张巍 王林年 编著



天津大学出版社

TIANJIN UNIVERSITY PRESS

## 内 容 提 要

本书从应用的角度讲述了射频识别(RFID)技术的基本理论和基础知识,全书内容分为理论和实验两部分。理论部分主要包括RFID系统结构、工作流程、工作模式、ISO/IEC RFID标准体系,RFID天线技术,RFID电子标签,读写器,RFID安全,防碰撞算法;还介绍了两个应用案例——基于RFID的内河船舶实时监控系统和图书馆管理系统。实验部分包括低频、高频、超高频RFID系统实验及主动式RFID系统实验。本书语言简练、通俗易懂,内容由浅入深,注重理论与实际应用相结合。

本书可作为应用技术型大学和职业技术学院应用电子技术、计算机、物联网工程和自动化相关专业的教材使用,也可供射频识别及物联网应用设计的工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

RFID技术与应用 / 王利强等编著. — 天津:天津  
大学出版社, 2019.1

普通高等教育专业课程系列教材

ISBN 978-7-5618-6312-1

I. ①R… II. ①王… III. ①无线电信号—射频—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284117号

## RFID JISHU YU YINGYONG

出版发行 天津大学出版社

地 址 天津市卫津路92号天津大学内(邮编:300072)

电 话 发行部:022-27403647

网 址 [publish.tju.edu.cn](http://publish.tju.edu.cn)

印 刷 廊坊市海涛印刷有限公司

经 销 全国各地新华书店

开 本 185mm×260mm

印 张 10

字 数 250千

版 次 2019年1月第1版

印 次 2019年1月第1次

定 价 36.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究



## 前言

射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)技术是一种非接触式的自动识别技术,它通过射频信号自动识别目标对象,可快速地进行目标追踪和数据交换。与条码识别、磁卡识别和IC卡识别等技术相比,射频识别技术以特有的无接触、抗干扰能力强、可同时识别多个目标等优点,逐渐成为自动识别领域中最优秀和应用最广泛的技术之一,是物联网技术中的核心和关键技术。

自2004年起,全球范围内掀起了一股发展和应用无线射频识别技术的热潮,包括沃尔玛、宝洁、波音公司在内的商业巨头们无不积极推动RFID技术在制造、物流、零售、交通等行业的应用。RFID技术及其应用正处于迅速上升的时期,被业界公认为是本世纪最具潜力的技术之一,它的发展和推广应用将是自动识别行业的一场技术革命。

开设RFID课程的专业包括应用电子技术、计算机、物联网工程和自动化等信息技术类专业。本书根据这些专业的发展方向和教学需要,结合射频识别技术的最新发展及其应用现状编写而成。全书包括理论部分和实验部分两篇,共11章。

第1章至第7章为理论部分。第1章介绍了RFID系统结构、工作模式、发展历程及应用现状;第2章介绍了RFID天线技术及设计;第3、4章分别介绍了RFID电子标签和读写器的组成、功能及设计;第5章介绍了与射频识别相关的安全和隐私问题及解决办法;第6章介绍了多个电子标签和读写器同时出现时的碰撞问题及防碰撞算法,射频识别技术因此可同时辨识多个RFID标签;第7章介绍了基于RFID的内河船舶实时监控系统和图书馆管理系统两个应用案例。第8章至第11章为实验篇。第8、9、10章分别为低频、高频、超高频RFID系统实验,第11章为主动式RFID系统实验。

第一篇理论部分在介绍射频识别原理的基础上,注重理论与实践的有机结合,以帮助初学者建立RFID系统及系统设计的整体概念。为了便于读者对射频识别技术的理解和自学,书中给出了与重点知识相关的习题和应用案例。第二篇实验部分提供了RFID综合实验系统实验讲义,各频段共11个实验项目,方便广大师

生选用。读者通过对本书的学习,可以了解射频识别技术及应用的一般知识,掌握设计一个射频识别应用系统的初步能力。

以下老师参与了本书的编写。王利强参与编写第1、2、6章,张桂英参与编写第1、3、4章,高凤友参与编写第2、5、6章,杨旭参与编写第3、4、5章,张巍参与编写第6~11章,王林年参与编写第7~11章。全书由王林年统稿。

本书在编写过程中,得到了北京瀚恒星火科技有限公司董事长暨北京师范大学信息交叉与智能计算研究院副院长李朱峰先生和天津大学出版社有关人员的大力支持和帮助,在此表示感谢!此外,本书在编写过程中,参考了众多的书籍和网络资料,在此对书籍和资料的作者一并表示感谢!

由于编者水平有限,书中难免有疏漏之处,敬请读者批评指正。

编者

2019年1月



# 目录

## 第一篇 理论部分

<b>第 1 章 绪论</b> .....	3
1.1 RFID 的概念 .....	3
1.2 RFID 系统结构 .....	3
1.3 RFID 系统的工作流程 .....	4
1.4 RFID 的工作模式 .....	5
1.5 RFID 的工作频率 .....	6
1.6 RFID 系统的分类 .....	7
1.7 ISO/IEC RFID 标准体系 .....	9
1.8 EPC 系统 .....	12
1.9 RFID 的发展历程 .....	13
1.10 RFID 的应用现状 .....	14
习题 1 .....	15
<b>第 2 章 RFID 天线技术</b> .....	16
2.1 天线知识 .....	16
2.2 RFID 天线 .....	17
2.3 常用 RFID 天线的工作原理及其主要参数 .....	18
2.4 RFID 天线的工作频段 .....	19
2.5 RFID 天线设计 .....	20
2.6 RFID 天线的制作方法 .....	22
习题 2 .....	27
<b>第 3 章 RFID 电子标签</b> .....	29
3.1 电子标签的基本组成及功能 .....	29
3.2 电子标签的分类 .....	30
3.3 电子标签的工作原理 .....	34
3.4 电子标签的芯片设计及制造技术 .....	36
3.5 电子标签的封装 .....	41
3.6 电子标签的发展趋势及挑战 .....	44

习题 3 .....	46
<b>第 4 章 读写器</b> .....	<b>47</b>
4.1 读写器的功能 .....	47
4.2 读写器的组成 .....	48
4.3 读写器的形式 .....	49
4.4 读写器的工作原理 .....	50
4.5 读写器的技术功能指标 .....	52
4.6 读写器的设计与应用 .....	53
4.7 读写器的发展趋势 .....	61
习题 4 .....	62
<b>第 5 章 RFID 安全</b> .....	<b>63</b>
5.1 RFID 系统的开放信道 .....	63
5.2 RFID 系统的安全性 .....	64
5.3 RFID 系统面临的安全与隐私问题 .....	65
5.4 RFID 系统安全与隐私问题的解决方法 .....	67
5.5 RFID 系统用户的安全策略 .....	70
习题 5 .....	71
<b>第 6 章 防碰撞算法</b> .....	<b>72</b>
6.1 防碰撞问题概述 .....	72
6.2 防碰撞问题分类 .....	72
6.3 防碰撞算法的基本原理 .....	75
6.4 标签防碰撞算法 .....	79
6.5 改进的确定性标签防碰撞算法 .....	88
6.6 读写器防碰撞算法 .....	89
习题 6 .....	92
<b>第 7 章 应用案例</b> .....	<b>93</b>
7.1 基于 RFID 的内河船舶实时监控系統 .....	93
7.2 图书馆管理系统 .....	101
习题 7 .....	107
<b>第二篇 实验部分</b>	
<b>第 8 章 低频(LF)RFID 系统实验</b> .....	<b>111</b>
8.1 验证性实验 .....	111
8.2 设计性实验 .....	121
<b>第 9 章 高频(HF)RFID 系统实验</b> .....	<b>124</b>
9.1 验证性实验 .....	124
9.2 设计性实验 .....	132

---

第 10 章 超高频( UHF )RFID 系统实验 .....	135
10.1 验证性实验 .....	135
10.2 设计性实验 .....	144
第 11 章 主动式( Active )RFID 系统实验 .....	147
11.1 验证性实验 .....	147
11.2 设计性实验 .....	149
参考文献 .....	153



# 第一篇 理论部分



# 第 1 章 绪论

## 1.1 RFID 的概念

射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)技术是无线电广播技术和雷达技术的结合,又称为电子标签技术。无线电广播技术是一种使用无线电波发射、传播和接收语音、图像、数字、符号的技术;雷达技术是一种基于无线电波的反射理论的技术,雷达发射电磁波对目标进行照射并接收其回波,由此获得目标至电磁波发射点的距离、距离变化率(径向速度)、方位及高度等信息。

RFID 技术通过无线射频信号实现非接触方式下的双向通信,完成对目标对象的自动识别和数据的读写操作,是物流过程中实施货品跟踪的一种很有效的技术。

## 1.2 RFID 系统结构

典型的 RFID 系统主要由读写器、电子标签及应用系统软件组成,如图 1-1 所示。

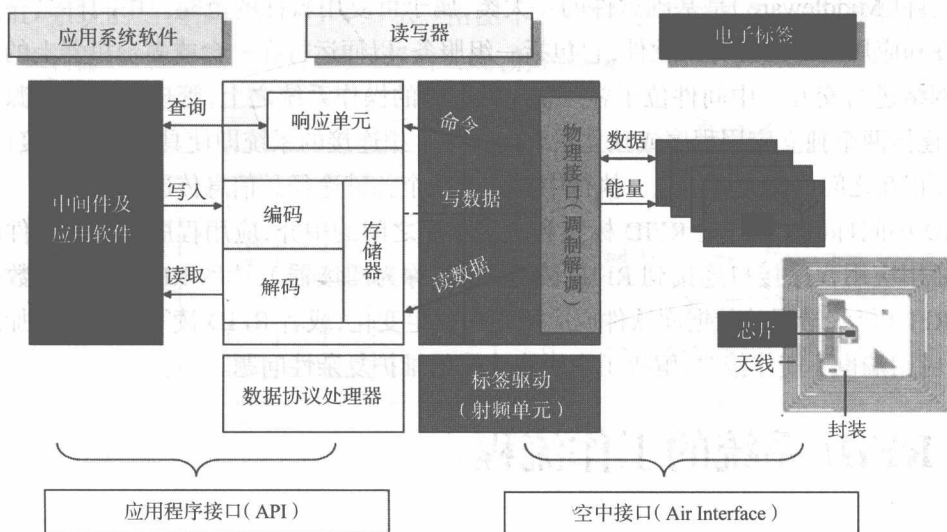


图 1-1 RFID 系统结构

## 1.2.1 读写器

读写器主要负责与电子标签的双向通信,同时接收来自主机系统的控制指令。读写器的频率决定了 RFID 系统工作的频段,其功率决定了射频识别的有效距离。根据结构和技术的不同,读写器可以是读或读写装置,它是 RFID 系统信息控制和处理中心。

## 1.2.2 电子标签

电子标签 (Electronic Tag) 也称为智能标签 (Smart Tag),是由 IC 芯片和无线通信天线组成的超微型的小标签,其内置的射频天线用于和读写器进行通信。电子标签是 RFID 系统中真正的数据载体。系统工作时读写器发出查询信号,若为无源标签,接收到的查询信号的一部分能量被整流为直流电能,供标签内的电路工作;另一部分能量则被电子标签内保存的数据信息调制后反射回读写器。

## 1.2.3 应用系统软件

应用系统软件包括中间件和应用软件。应用软件的主要作用是对阅读器上报的标签数据进行管理,针对应用需要,发送指令给阅读器以实现对标签的操作。在通信过程中,必须保证整体射频系统的通畅,正确、迅速地采集数据,确保数据读取内容的可靠性,以及有效地将数据传送到后端系统。传统的数据采集系统中数据采集与后端应用程序之间的数据分发通过中间件架构解决,并发展出各种应用服务器软件。

中间件 (Middleware) 是基础软件的一大类,属于可复用软件的范畴。中间件是一类连接软件组件和应用程序的计算机软件,它包括一组服务,以便运行在一台或多台机器上的多个软件通过网络进行交互。中间件位于客户机/服务器的操作系统之上,管理计算机资源和网络通信,是连接两个独立应用程序或独立系统的软件。相连接的系统即使具有不同的接口,但通过中间件相互之间仍能交换信息。执行中间件的一个关键途径是信息传递。

RFID 中间件(图 1-2)是 RFID 标签和应用程序之间的中介,应用程序使用中间件所提供的一组通用应用程序接口连接到 RFID 读写器(又称为阅读器),读取 RFID 标签的数据。即使存储 RFID 标签情报的数据库软件或应用程序发生变化,或者 RFID 读写器种类增加或发生变化等,应用端也不需作修改,解决了多对多连接的维护复杂性问题。

# 1.3 RFID 系统的工作流程

RFID 系统的一般工作流程如下。

- (1) RFID 读写器将无线电载波信号经过发射天线向外发射。
- (2) 当 RFID 电子标签进入发射天线的工作区域时,电子标签被激活,将自身信息的代码经天线发射出去。

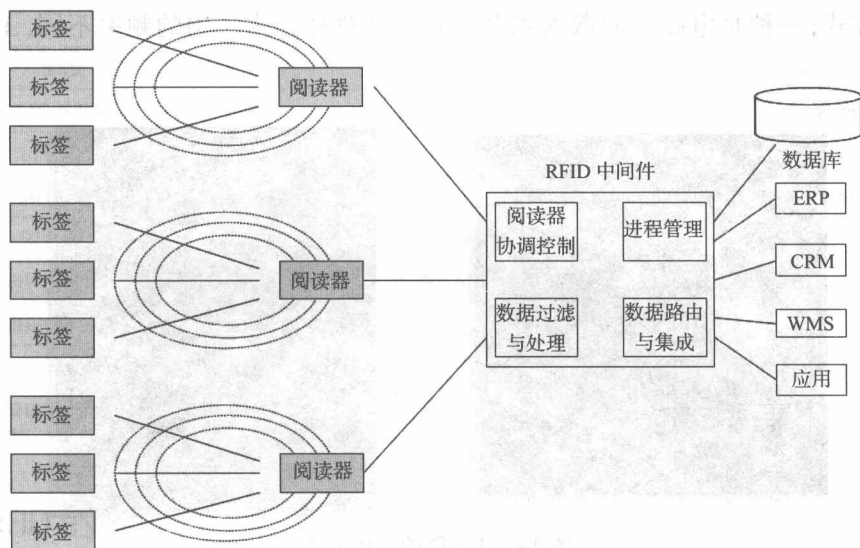


图 1-2 RFID 中间件

(3) RFID 系统的接收天线接收电子标签发出的载波信号,经天线的调节器传输给 RFID 读写器。读写器对接收到的信号进行解调解码,并送往后台的计算机控制系统。

(4) 计算机控制系统根据逻辑运算判断该电子标签的合法性,针对不同的设定做出相应的处理和控制在,发出指令信号给执行机构,并让执行机构按照计算机系统的指令执行动作。

(5) 通过计算机通信网络将各个监控点连接起来,构成总控信息平台,根据不同的项目设计不同的软件来完成要实现的功能。

RFID 系统的结构框图如图 1-3 所示。由图 1-3 可知,电子标签由天线、控制器、存储器、编码器、调制器、时钟和电源构成,读写器由天线、射频模块、控制模块和接口模块构成。

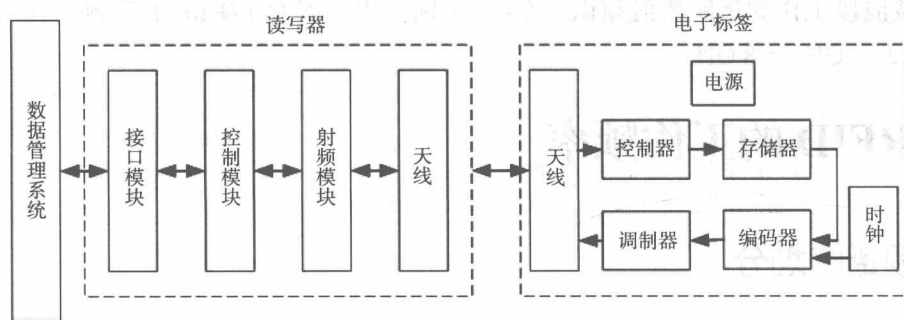


图 1-3 RFID 系统结构框图

## 1.4 RFID 的工作模式

RFID 系统在读写器和电子标签之间通过射频无线电信号自动识别目标对象,并由此获得相关的数据。如图 1-4 所示,读写器和电子标签之间射频信号的传输主要有两种方式:一种是

电感耦合方式;一种是电磁反向散射耦合方式。这两种方式采用的频率不同,工作原理也不同。

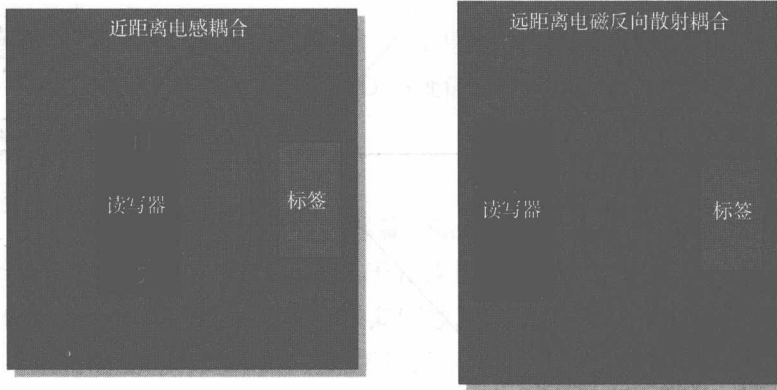


图 1-4 RFID 的工作模式

电感耦合式系统的工作模型如图 1-4 左图所示,类似于变压器模型,其中变压器的初级和次级线圈分别对应读写器和电子标签的天线线圈,通过空间高频交变磁场实现耦合,依据的是电磁感应定律。电磁反向散射耦合基于雷达模型,如图 1-4 右图所示,发射出去的电磁波碰到目标后反射,同时携带目标信息,依据的是电磁波的空间传播规律。

电磁反向散射耦合与电感耦合的差别在于电磁反向散射耦合方式中读写器将射频能量以电磁波的形式发送出去;在电感耦合方式中,读写器将射频能量束缚在读写器电感线圈的周围,通过交变闭合的线圈磁场,沟通读写器线圈与射频标签线圈之间的射频通道,没有向空间辐射电磁能量。电感耦合方式一般适合中、低频工作的近距离射频识别系统,识别作用距离小于 1 m,常用的工作频率有 125 kHz、225 kHz 和 13.56 MHz;电磁反向散射耦合方式一般适合高频、微波波段工作的远距离射频识别系统,识别作用距离大于 1 m,工作频率有 433 MHz、915 MHz、2.45 GHz、5.8 GHz。

## 1.5 RFID 的工作频率

### 1.5.1 频谱的划分

RFID 系统应用领域众多,对频谱的划分有多种形式,如今较为通用的是电气和电子工程师协会(IEEE)建立的频谱分段法,如表 1-1 所示。

表 1-1 IEEE 频谱

频段	频率	波长
ELF(极低频)	30~300 Hz	1 000~10 000 km
VF(音频)	300 Hz~3 kHz	100~1 000 km

续表

频段	频率	波长
VLF(甚低频)	3~30 kHz	10~100 km
LF(低频)	30~300 kHz	1~10 km
MF(中频)	300 kHz~3 MHz	0.1~1 km
HF(高频)	3~30 MHz	10~100 m
VHF(甚高频)	30~300 MHz	1~10 m
UHF(超高频)	300 MHz~3 GHz	10~100 cm
SHF(特高频)	3~30 GHz	1~10 cm
EHF(极高频)	30~300 GHz	0.1~1 cm

## 1.5.2 RFID的频段

RFID工作频率的选择要顾及其他无线电服务。为了避免对其他无线电服务造成干扰,RFID系统通常使用为工业、科学和医疗特别保留的ISM频段。ISM频段为6.78 MHz、13.56 MHz、27.125 MHz、40.68 MHz、433.92 MHz、869.0 MHz、915.0 MHz、2.45 GHz、5.8 GHz以及24.125 GHz等,RFID除了采用以上ISM频段之外,也采用0~135 kHz之间的频率。各个频段RFID技术的对比如表1-2所示。

表1-2 不同频段RFID技术的对比

参数	低频(LF)	高频(HF)	超高频(UHF)	微波(MW)
频率	125~134 kHz	13.56 MHz	433 MHz, 860~960 MHz	2.45 GHz, 5.8 GHz
技术特点	穿透及绕射能力强(能穿透水及绕射金属物质)、速度慢、距离近	性价比适中,适用于绝大多数环境,但抗冲突能力差	速度快、作用距离远;穿透能力弱(不能穿透水,被金属物质全反射),且全球标准不统一	一般为有源系统,作用距离远,但抗干扰力差
作用距离	<10 cm	1~20 cm	3~8 m	>10 m
主要应用	门禁、防盗系统、畜牧、宠物管理、固定设备、天然气使用管理、洗衣店等	智能卡、电子票务、图书管理、商品防伪、货架、运输等产品跟踪	仓储管理,物流跟踪,航空包裹,自动控制,货架、卡车、拖车跟踪等	收费站(道路收费)、集装箱等

## 1.6 RFID系统的分类

RFID系统的分类方法很多,常用的分类方法有按照工作频率分类、按照供电方式分类、按照工作方式分类、按照技术方式分类等。

### 1. 按照工作频率分类

#### 1) 低频系统

低频系统的工作频率一般为30~300 kHz,典型的工作频率为125 kHz和133 kHz。低频

系统的基本特点是标签的成本较低,标签内保存的数据量较少,阅读距离较短(无源情况下典型阅读距离为 10 cm),电子标签外形多样(卡状、环状、钮扣状、笔状)以及阅读天线方向性不强等。典型应用为门禁考勤管理和动物识别等。

## 2)中高频系统

中高频系统的工作频率一般为 3~30 MHz,典型的工作频率为 13.56 MHz。中高频系统的基本特点是电子标签及读写器成本均较高,标签内保存的数据量较大,阅读距离较远(可达几米至十几米),可用于高速物体运动,工作性能好,外形一般为卡状,阅读天线及电子标签天线均有较强的方向性。广泛应用于电子票证、电子身份证及小区物业管理等。

## 3)超高频和微波系统

超高频和微波系统简称为微波系统。微波系统的工作频率一般为 300 MHz~3 GHz 或大于 3 GHz,典型工作频率为 433 MHz(有源)、902~928 MHz、2.45 GHz 和 5.8 GHz。主要应用于铁路车辆自动识别系统,还可用于公路车辆识别系统。

### 2. 按照供电方式分类

电子标签按供电方式可以分为有源(Active)标签和无源(Passive)标签,对应的 RFID 系统可分为有源供电系统和无源供电系统。

#### 1)无源供电系统

无源供电系统,顾名思义,自己没有电源。因此,无源供电系统内标签所需的工作能量要从读写器发出的射频波束中获取,经过整流、存储后提供电子标签所需的工作电压。无源电子标签识别距离相对较短,但使用寿命长,且对环境要求不高。无源供电系统的读写器要发射更大的射频功率。

#### 2)有源供电系统

有源电子标签通常都内装有电池,为电子标签的工作提供全部或部分能量。电子标签未进入工作状态,一直处于休眠状态时,标签内电池能量消耗较少,因而电池可以维持几年,甚至长达 10 年。有源电子标签本身带有微型电池,由于不需要射频供电,其识别距离更远,读写器需要的功率较小。

### 3. 按照工作方式分类

按照射频识别系统的基本工作方式来划分,可以将射频识别系统分为全双工系统、半双工系统和时序系统。

#### 1)全双工系统

在全双工系统中,数据在读写器和电子标签之间的双向传输是同时进行的,并且从读写器到电子标签的能量传输是连续的,与传输的方向无关。其中,电子标签发送数据的频率是读写器频率的几分之一,即采用“分谐波”,或是用一种完全独立的“非谐波频率”。

#### 2)半双工系统

在半双工系统中,从读写器到电子标签的数据传输和从电子标签到读写器的数据传输是交替进行的,并且从读写器到电子标签的能量传输是连续的,与传输的方向无关。



### 3) 时序系统

在时序系统中,从电子标签到读写器的数据传输是在电子标签的能量供应间歇时进行的,而从读写器到电子标签的能量传输总是在限定的时间间隔内进行。时序系统的缺点是在读写器发送间歇时,电子标签的能量供应中断,这就要求系统必须有足够大容量的辅助电容器或辅助电池对电子标签进行能量补偿。

### 4. 按照技术方式分类

在射频识别系统中,按照读写器读取电子标签内存储数据的技术实现手段,可将射频识别系统划分为主动广播式、被动倍频式和反射调制式。

#### 1) 主动广播式

主动广播式射频识别系统实现起来最简单。电子标签采用有源方式工作,并实时将储存的标识信息向外广播,读写器相当于一个只收不发的接收机。这种系统的优点是电能充足、工作可靠性高、信号传输距离远;缺点是电子标签必须不停地向外发射信息,既耗电,又对环境造成电磁污染。

#### 2) 被动倍频式

被动倍频式射频识别系统实现起来有一定难度。一般情况下,读写器发出射频查询信号,电子标签返回的信号载频为读写器发出射频的倍频。这种工作模式为读写器接收处理回波信号提供了便利,但是,对无源电子标签来说,电子标签将接收的读写器射频能量转换为倍频回波载频时,其能量转换效率较低,提高转换效率需要较高的微波技术,这就意味着需要更高的电子标签成本。同时这种系统工作需占用两个工作频点,一般较难获得无线电频率管理部门的产品应用许可。

#### 3) 反射调制式

反射调制式射频识别系统实现起来需要解决同频收发问题。系统工作时,读写器发出微波查询(能量)信号,电子标签(无源)将一部分接收到的微波查询能量信号整流为直流电供电子标签内的电路工作,另一部分微波能量信号被电子标签内保存的数据信号调制(ASK)后反射回读写器。读写器接收到反射回的幅度调制信号后,从中解析出电子标签所保存的标识数据信息。系统工作过程中,读写器发出微波信号与接收反射回的幅度调制信号是同时进行的。

## 1.7 ISO/IEC RFID 标准体系

ISO/IEC 是制定 RFID 标准最早的组织,大部分的 RFID 标准都是由 ISO/IEC 制定的。作为自动识别身份和采集数据的一种技术,制定 RFID 标准不仅要考虑物流供应链领域的单品标识,还要考虑电子票证、物品防伪、动物管理、食品与医药管理、固定资产管理等应用领域。随着物联网概念的提出,EPC Global 和 UID 相继提出了物联网 RFID 标准,于是 ISO/IEC 又制定了新的 RFID 标准。目前 EPC Global 专注于 860~960 MHz 频段,UID 专注于 2.45 GHz 和 13.56 MHz 频段,而 ISO/IEC 在射频识别的每个频段都发布了标准。