

教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会规划教材

通信原理与应用——系统案例部分

短距离无线通信

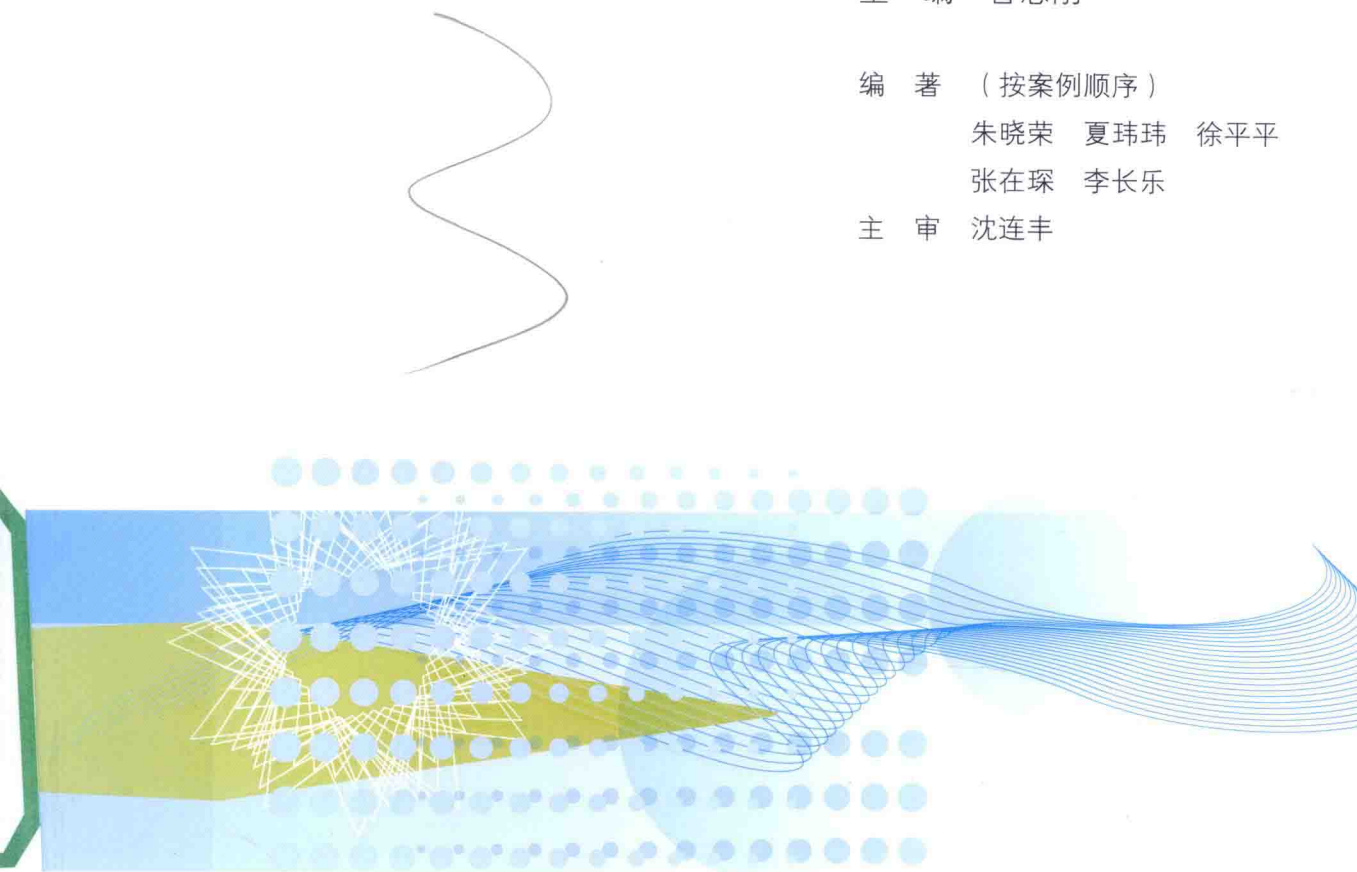
主 编 曹志刚

编 著 （按案例顺序）

朱晓荣 夏玮玮 徐平平

张在琛 李长乐

主 审 沈连丰



高等教育出版社

教育部高等学校电子

指导分委员会规划教材

通信原理与应用——系统案例部分

短距离无线通信

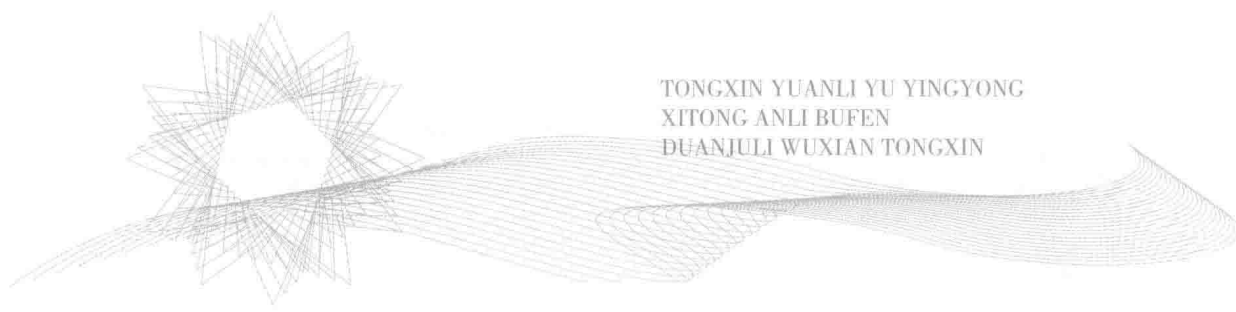
主 编 曹志刚

编 著 (按案例顺序)

朱晓荣 夏玮玮 徐平平

张在琛 李长乐

主 审 沈连丰



TONGXIN YUANLI YU YINGYONG
XITONG ANLI BUFEN
DUANJULI WUXIAN TONGXIN

高等教育出版社·北京

内容简介

本书是《通信原理与应用——系统案例部分》的短距离无线通信分册。

《通信原理与应用》是在教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会领导下组织编写的系列教材,该教材分为基础理论部分和系统案例部分,将理论部分和系统案例部分作为一个整体编写,旨在理论联系实际,学以致用。

系统案例部分按应用类别分为7个分册:移动通信、光通信、卫星通信、宽带接入、短距离无线通信、广播与多媒体通信、其他无线通信。本书是其中的短距离无线通信分册,共收纳5个案例:射频识别系统、蓝牙、ZigBee、超宽带通信、无线体域网。

配套出版的基础理论部分内容包括:绪论、随机过程基础、模拟调制、数字信号基带传输、数字调制、模拟信号数字化、差错控制编码、复用与多址技术、无线通信传输新技术。

本书可用作电子信息类专业及其他相关专业的本科生和研究生教材,也可供从事研究开发的工程技术人员参考和借鉴。教学中可以将系统案例与理论部分配合使用。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理与应用.系统案例部分.短距离无线通信/
曹志刚主编;朱晓荣等编著.--北京:高等教育出版
社,2015.7

ISBN 978-7-04-042162-0

I. ①通… II. ①曹…②朱… III. ①通信理论-高
等学校-教材②短距离-无线电通信-高等学校-教材
IV. ①TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 040026 号

策划编辑 吴陈滨
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 张江漫
责任校对 李大鹏

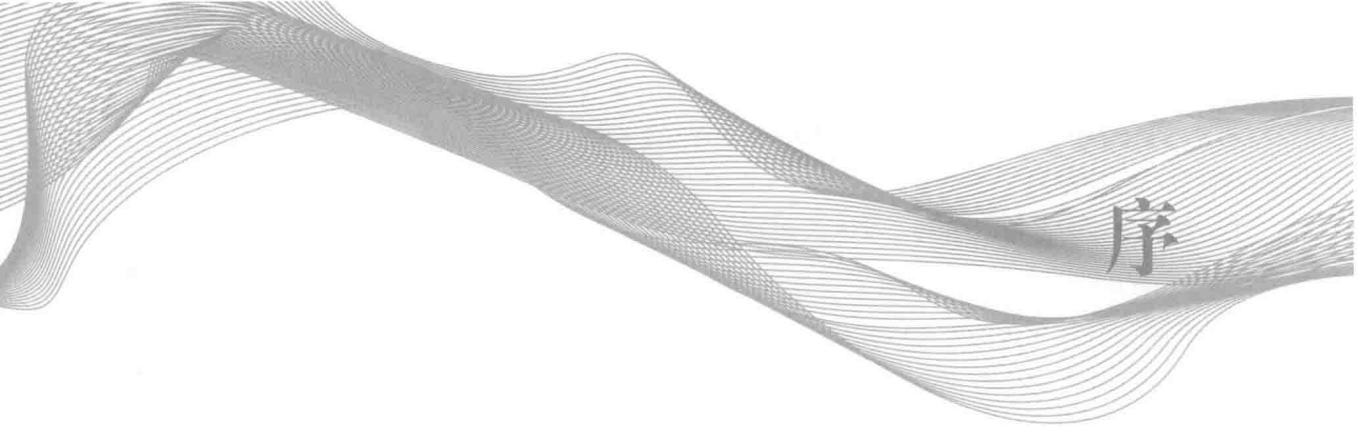
封面设计 王 雕
责任印制 毛斯璐

版式设计 杜微言

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京鑫丰华彩印有限公司
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 9.25
字 数 180 千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2015 年 7 月第 1 版
印 次 2015 年 7 月第 1 次印刷
定 价 16.40 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 42162-00



序

《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》明确指出:“高等教育承担着培养高级专门人才、发展科学技术文化、促进社会主义现代化建设的重大任务。提高质量是高等教育发展的核心任务,是建设高等教育强国的基本要求。”我国高等教育已经进入大众化教育阶段,成为工程教育大国,但还不是工程教育强国,还远不能满足当前经济建设和社会发展的需求。高等教育培养高素质工程技术人才是我国高等学校人才培养模式之一,并应置于重要的位置。高等教育培养出数量足够并且能够面向一线的优秀工程技术人员,这是中国高等学校,特别是高等工科院校不可推卸的历史责任,也是努力办好人民满意的教育、推动高等教育内涵式发展、深化教育领域综合改革和着力提高教育质量的具体实践。

国民经济与社会信息化和现代服务业的迅猛发展,对电子信息领域的人才培养提出了更高的要求,而电子信息类专业又是许多高等学校的传统专业、优势专业和主干专业,也是近年来发展最快、在校人数最多的专业类之一。

为了适应高等工程教育改革,满足社会对电子信息类专业工程技术人才的需要,教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会根据教育部卓越工程师教育培养计划要求,针对中国高等工程教育存在的工程性、创新性和多样性缺失等问题,在认真开展了学科专业发展战略的研究和《高等学校电子信息科学与工程类本科指导性专业规范(试行)》的制定基础上,2010年从以信息与通信工程学科为特色的十余所重点高等院校和知名企业遴选了有丰富的工程实践背景和教材编写经验的40余位教授和专家,组织开展编写一套体现理论基础教学与工程应用案例协同教学理念的电子信息类专业核心课程教材,并使其具有权威性、工程性、创新性和示范性。

第一批高等学校电子信息类专业核心课程涉及“通信原理与应用”“通信网络基础”和“数字信号处理”三门课程。从课程体系、教学大纲到三级目录,编写组在

广泛征求意见的基础上进行了深入的调查、分析和研究,并召开了十几次会议进行研讨。教材完稿后,又邀请相关课程领域的权威专家进行审稿。至此,第一批“高等学校电子信息类专业核心课程教材”将于2015年陆续问世。

第一批高等学校电子信息类专业核心课程教材的编写汇聚了全国相关课程优秀教育工作者和行业专家的丰硕教学和科研成果。教材内容注重体现理论基础性和工程应用性的协同。教材的理论基础严谨,概念清晰;教材的应用案例典型,特色鲜明。本系列教材有利于培养学生应用数理基础、科学与工程知识的能力,有利于培养学生根据需求设计部件、系统或过程的能力,有利于培养学生解决问题的能力,有利于激发学生提出问题的兴趣,有利于培养学生创新意识,增强学习主动性和积极性。

衷心感谢参与编写第一批高等学校电子信息类专业核心课程教材的学者和专家,正是他们高度的责任感和无私的奉献精神,使这套系列教材得以顺利出版。同时,也衷心希望这套教材能够在我国高等学校电子信息类专业课程教学中发挥积极的作用。

教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会(2001—2012年)

副主任委员

教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会(2001—2012年)

主任委员

北京交通大学 谈振辉

2014年12月

为贯彻落实走中国特色新型工业化道路、建设创新型国家、建设人力资源强国的战略部署,实施《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》,教育部提出了卓越工程师教育培养计划。其主要目标是:面向工业界、面向世界、面向未来,培养造就一大批创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量各类型工程技术人才,为建设创新型国家、实现工业化和现代化奠定坚实的人力资源优势,增强我国的核心竞争力和综合国力。

以实施卓越工程师教育培养计划为突破口,促进工程教育改革和创新,全面提高我国工程教育人才培养质量,努力建设具有世界先进水平、中国特色的社会主义现代高等工程教育体系,促进我国从工程教育大国走向工程教育强国。卓越工程师教育的核心是强化工程实践能力、工程设计能力与工程创新能力,为此需要大力改革课程体系和教学内容。

本书正是基于以上目标,在教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会领导下组织编写的。由清华大学曹志刚教授担任主编、选题并统编定稿。

全书分两部分:基础理论部分和系统案例部分。将理论部分和系统案例部分作为一个整体编写,在国内外同类教材中是一次尝试,旨在理论联系实际,学以致用,拓宽学生的工程知识。

基础理论部分共9章,第1章绪论,第2章随机过程基础,第3章模拟调制,第4章数字信号基带传输,第5章数字调制,第6章模拟信号数字化,第7章差错控制编码,第8章复用与多址技术,第9章无线通信传输新技术。以章次为序,分别由清华大学曹志刚(第1、7章)、东南大学宋铁成(第2、9章)、北京邮电大学杨鸿文(第3、5章)、清华大学陈巍(第4章)、西安电子科技大学张辉(第6、8章)编写。北京交通大学张立军参与了第7章部分内容的修改。清华大学白铂编写了第1章的1.2节。

北京交通大学谈振辉教授对基础理论部分全文进行了审阅。

系统案例部分按移动通信、光通信、卫星通信、宽带接入、短距离无线通信、广播与多媒体通信、其他无线通信等不同应用类别分为7篇,共收纳48个通信系统典型案例。案例作者由从事该领域研究和教学的高校和国内知名设备厂商中遴选,以案例编号为序,作者分别是:北京邮电大学杨鸿文,清华大学李云洲,北京邮电大学张欣、彭木根,北京交通大学孙强,北京邮电大学陈雪,中央民族大学陈根祥,北京交通大学李唐军,解放军理工大学甘仲民、李志强、李广侠、张更新,清华大学郑友泉、詹亚锋,南京邮电大学王文鼎,东南大学胡静,北京信威公司许瑞锋、唐春莺、余西西,南京邮电大学余兆明,北京邮电大学郭文彬,清华大学宋健,南京邮电大学朱晓荣,东南大学夏玮玮、徐平平、张在琛,西安电子科技大学李长乐,中国传媒大学韦博荣,清华大学薛永林,北京交通大学张立军、赵永祥,清华大学王昭诚、窦维蓓、唐昆、李晔,解放军理工大学程云鹏、王呈贵,中兴通讯股份有限公司王田甜,清华大学粟欣,西安电子科技大学卢小峰,西北工业大学陈连平。其中个别作者编写了多个案例。通信系统案例部分内容丰富,但篇幅较大。为读者使用方便,将系统案例部分按两种方式出版,一种是系统案例部分合订本;另一种是将系统案例部分分成7个分册出版,每篇自成一册。7个分册依序分别由清华大学王京、陈明华,北京大学项海格,北京邮电大学吴伟陵,东南大学沈连丰,清华大学林行刚,北京交通大学谈振辉担任评审。

限于本人水平,且作者众多,书中错误疏漏、文风不一在所难免,敬请指正。主编邮箱为 czg-dee@tsinghua.edu.cn。

本教材可用作电子信息类专业及其他相关专业的本科生和研究生教材,也可供从事研究开发的工程技术人员参考和借鉴。

曹志刚
2014年9月于清华大学

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》,其为人将承担相应的民事责任和行政责任;构成犯罪的,将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序,保护读者的合法权益,避免读者误用盗版书造成不良后果,我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为,希望及时举报,本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

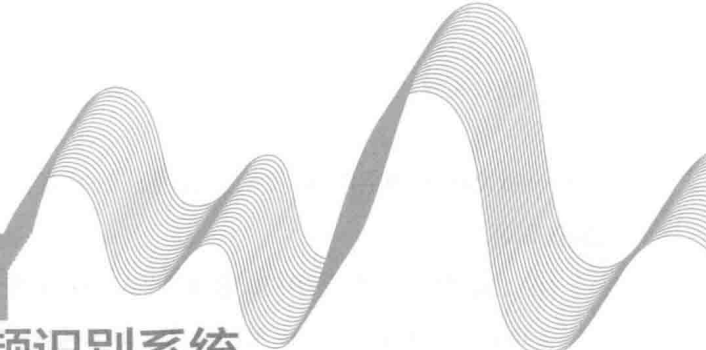
邮政编码 100120

案例三十 射频识别系统	1
30.1 RFID 系统概述	1
30.1.1 发展历史	1
30.1.2 系统构成	3
30.1.3 工作原理	9
30.1.4 工作频段	10
30.1.5 RFID 技术与物联网	11
30.2 RFID 通信协议	12
30.2.1 通信模型	12
30.2.2 能量传输方式	13
30.2.3 数据传输方式	14
30.2.4 数据编码	18
30.2.5 数据的完整性	18
30.3 RFID 标准与存在的问题及发展趋势	19
30.3.1 RFID 标准	19
30.3.2 RFID 标准存在的问题	22
30.3.3 发展趋势	27
30.4 基于 RFID 技术的应用系统	27
30.4.1 公交卡系统	28
30.4.2 ETC 收费系统	33
参考文献	35
案例三十一 蓝牙	36
31.1 蓝牙技术概述	36
31.1.1 蓝牙技术发展概况	36
31.1.2 蓝牙技术的特点	37
31.1.3 蓝牙系统组成	38

31.2 蓝牙包结构及发送和接收处理	39
31.2.1 包的一般格式	39
31.2.2 包的类型	41
31.2.3 发送和接收处理	41
31.3 蓝牙的语音编解码	42
31.4 蓝牙包的差错控制	43
31.4.1 纠错方案	43
31.4.2 包的错误校验	44
31.5 蓝牙的调制技术	45
31.6 蓝牙的工作状态	46
31.7 蓝牙的扩频调制	48
31.7.1 跳频选择方案	49
31.7.2 查询和查询扫描状态的跳频方案	49
31.7.3 连接状态的跳频方案	50
31.7.4 跳频选择内核	51
31.8 蓝牙系统的组网原理	52
31.8.1 蓝牙微微网与信道划分	53
31.8.2 物理链路	54
31.9 蓝牙系统的安全性	55
31.10 蓝牙应用举例	56
31.10.1 蓝牙耳机	57
31.10.2 蓝牙车载免提	61
31.10.3 无线个域网语音通信系统	63
参考文献	65
案例三十二 ZigBee	66
32.1 ZigBee 概述	66
32.1.1 ZigBee 网络结构	67
32.1.2 ZigBee 技术特点	67
32.1.3 ZigBee 联盟和 IEEE 标准协会	69
32.1.4 IEEE 802.15.4e 和 LR-WPAN GB/T 15629.15	70
32.2 GB/T 15629.15——2010 物理层技术	71
32.2.1 物理层服务规范	71
32.2.2 工作频段和信道划分	73

32.2.3 调制方式与传输速率	75
32.2.4 MPSK	76
32.2.5 OQPSK	78
32.3 ZigBee 应用例	80
32.3.1 ZigBee 技术主要应用领域	80
32.3.2 零售服务系统中超市采购应用例	81
32.3.3 医疗健康监控中慢性疾病的监控应用例	82
32.3.4 城市轨道交通公共安全防范系统中的 ZigBee 接入应用例	83
参考文献	85
案例三十三 超宽带通信	86
33.1 超宽带技术体制概述	86
33.2 脉冲体制超宽带无线通信系统	87
33.2.1 IR-UWB 信号形式	88
33.2.2 IR-UWB 调制方法	92
33.2.3 时间反转技术	94
33.2.4 IR-UWB 的应用	96
33.3 ECMA368 载波体制超宽带无线通信系统	96
33.3.1 频带划分与使用	97
33.3.2 帧结构	100
33.3.3 系统模型	103
33.3.4 信道编码和交织	104
33.3.5 双载波调制 DCM	107
参考文献	108
案例三十四 无线体域网	109
34.1 无线体域网概述	109
34.1.1 无线体域网概念	109
34.1.2 无线体域网展望	110
34.2 无线体域网物理层	111
34.2.1 工作频段	111
34.2.2 信道模型	112
34.2.3 调制编码技术	114
34.2.4 其他物理层关键技术	115
34.3 无线体域网 MAC 层	117

34.3.1 无线体域网 MAC 协议的设计要求	118
34.3.2 无线体域网 MAC 协议	118
34.4 无线体域网拓扑控制和安全机制	120
34.4.1 拓扑控制	120
34.4.2 安全机制	121
34.5 无线体域网标准进展	125
34.5.1 国际标准 IEEE 802.15.6	125
34.5.2 国内无线体域网标准	130
34.6 无线体域网应用	131
参考文献	133
系统案例部分总目录	135



案例三十

射频识别系统

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并获取相关数据。由于具有体积小、容量大、操作快捷方便、可工作于各种恶劣环境等优势,RFID 技术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。本案例首先介绍了 RFID 技术的系统构成、工作原理、发展历史、工作频段以及与物联网的关系,然后重点介绍了 RFID 系统的通信协议、技术标准与存在问题及发展趋势。最后,本案例以公交卡系统和电子不停车(ETC)收费系统为例介绍了 RFID 技术在具体系统中的应用。

30.1 RFID 系统概述

30.1.1 发展历史

RFID 技术的前身可以追溯到第二次世界大战期间(1940 年左右)。当时该技术被英军用于敌我双方飞机的识别,采用的方法是在英军方飞机上装上识别标签,当雷达发射微波信号时,识别标签就会做出相应的应答,使发射微波信号的系统能够判别出飞机的身份,此系统又称为敌我识别(Identity Friend or Foe,IFF)系统,最早使用 RFID 技术的是美国国防部军需供应局。

被动式 RFID 技术的使用归功于雷达技术的发展和利用,利用雷达发射无线电波可以测定和定位目标的位置和速度。1948 年,美国人 Harry Stockman 发表了 Communication by Means of

本案例由南京邮电大学通信与信息工程学院朱晓荣副教授编写。

Reflected Power(利用反射功率进行通信),描述了 RFID 的概念和实现方法,奠定了 RFID 系统的理论基础。

以十年为一个阶段,RFID 技术发展历程可以分为

1940—1950 年:雷达技术的改进和应用促进 RFID 技术诞生。

1950—1960 年:早期探索阶段,主要处于实验室理论研究。

1960—1970 年:RFID 技术理论得到发展,开始了一些应用尝试。

1970—1980 年:RFID 技术处于一个大发展时期,出现了一些早期的射频识别应用。

1980—1990 年:RFID 技术进入商业应用阶段,各种规模应用开始出现。

1990—2000 年:RFID 技术标准和体系得到重视,射频识别技术得到广泛采用,成本日趋下降,RFID 产品逐渐成为人们生活中的一部分。

2000 年后:标准化问题日趋为人们所重视,RFID 产品种类更加丰富,有源电子标签、无源电子标签及半无源电子标签均得到发展,电子标签成本不断降低,应用领域不断扩大,与其他技术日益融合,竞争日趋激烈。

RFID 技术发展非常迅速,种类繁多,行业应用规模不断扩大。为推进 RFID 技术的标准化,1999 年 10 月 1 日 Auto-ID Center 非盈利性的开发组织正式创建。Auto-ID Center 诞生后,迅速提出了产品电子代码(Electronic Product Code,EPC)的概念,并积极推进有关概念的基础研究与实验工作。

在自动识别技术的发展历程中先后出现了多种技术,如条码识别、光学字符识别、磁识别、RFID、生物特征识别以及图像识别等。不同的识别技术采用的原理不同,具有不同的特点,各有特长,因而其应用领域有所差别。表 30-1-1 是几种常用自动识别技术特点比较。

表 30-1-1 常用自动识别技术特点

类型	条码	光学字符	生物识别	语音识别	磁卡	IC 卡	RFID
信息载体	纸、薄膜、金属表面	物体表面			磁性物体	E ² PROM	E ² PROM
信息量	小	小	大	大	较小	大	大
读写性能	只读	只读	只读	只读	读/写	读/写	读/写
读取方式	CCD 或激光	光电转换	机器识别	机器识别	电磁转换	电擦写	无线电波
识别度	受约束	简单	否	简单	否	否	否
保密性	无	无	好	无	一般	好	好

续表

类型	条码	光学字符	生物识别	语音识别	磁卡	IC 卡	RFID
识别速度	低	低	很低	很低	低	低	快
通信速度	低	低	较低	较低	快	快	快
读取距离	近	很近	接触	近距离	接触	接触	远
使用期限	一次性	较短			短	长	很长
成本	最低	一般	较高	较高	低	较高	较高

RFID 技术与目前广泛使用的条码技术相比,具有许多优势。其最突出的特点在于:

- (1) 可以非接触识别,距离从 10 厘米到几十米。
- (2) 可识别高速运动物体。
- (3) 抗恶劣环境性能高。
- (4) 保密性能强。
- (5) 可同时识别多个对象。

RFID 技术以其特有的性能优势,发展势头迅猛,RFID 系统产品市场已经成为信息产业中增长最快的市场之一,在物流领域掀起一场革命,成为全球物品编码、商品流通、自动配送等领域的首选技术,受到全球各界的广泛关注。

30. 1. 2 系统构成

RFID 又称为电子标签、无线射频识别。它通过无线电信号自动识别特定的目标对象(移动或者静止),获取对象相关的数据与信息,并将获得的数据与信息传输到数据管理系统进行处理与分析。由此可见,RFID 是基于无线射频原理的非接触式自动识别技术,无需建立目标与系统之间的机械或光学接触,识别过程无需人工干预,属于无线通信范畴。

RFID 系统由三部分组成:标签、阅读器或读写器、服务器应用软件。图 30 - 1 - 1 为典型的 RFID 系统结构。

标签(Tag):由耦合元件(天线)及芯片组成。标签相当于条码技术中的条码符号,用来存储需要识别的数据与信息。每个标签具有唯一的电子编码,附着于需要标识的目标物体上,其内部结构如图 30 - 1 - 2 所示。它具有以下特点:

- (1) 具有一定的存储容量,可以存储被识别物体的相关信息;

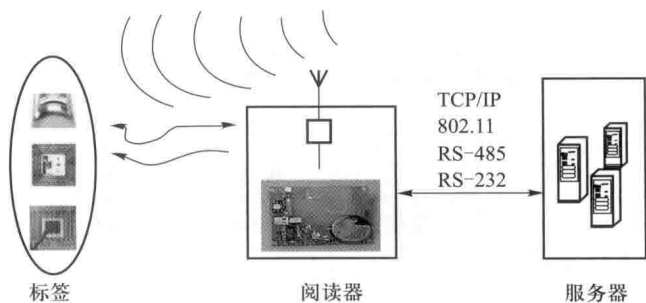


图 30-1-1 典型的 RFID 系统结构

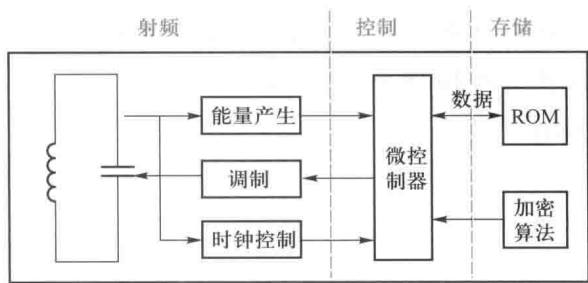


图 30-1-2 标签内部结构示意图

- (2) 能够适应一定的工作条件,可以进行数据的读写;
- (3) 能够维持识别信息的完整性;
- (4) 具有确定的使用年限,在使用期限内能够正常工作;
- (5) 可编程,但编程后关键数据不能修改。

电子标签可分为两类,一类是以集成电路芯片为基础的标签,另一类是利用物理效应的标签。以集成电路为基础的标签包括具有简单存储功能的标签和带有微处理器的标签。1 b 标签和声表面波 (Surface Acoustic Wave, SAW) 标签都属于利用物理效应的标签。

1. 具有存储功能的标签

标签的品种很多,从简单的只读标签到高档的具有智能密码功能的标签应有尽有。一般来说,具有存储功能的标签主要包括四个功能模块:天线、高频接口、存储器以及地址和安全逻辑单元。其基本结构如图 30-1-3 所示。

(1) 天线

对于只读式 RFID 系统而言,其标签天线负责将存储器中的固有信息发送给阅读器。而对于读写式 RFID 系统而言,其标签天线不仅负责将存储器信息发送给阅读器,还可接收阅读器发送过来的命令和数据,进行用户的鉴权或标签数据的更新。

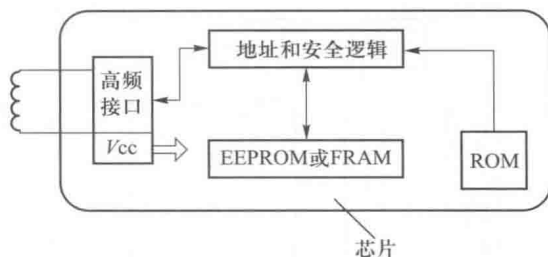


图 30-1-3 具有存储功能的标签结构

(2) 高频接口

高频接口在标签天线和其数字电路之间搭建了桥梁,其功能类似于经电话线传送模拟数据的传统的调制解调器(Modem)。

高频接口负责将来自阅读器的模拟信号解调为数字序列码,以提供给地址和安全逻辑模块进行再处理。借助阅读器信号的载频,一个时钟发生器将产生时钟脉冲并提供给标签工作使用。当需要回送数据至阅读器时,高频接口通过副载波调制器或反向散射调制器等方法对数据进行调制,然后再通过天线发送。

(3) 地址和安全逻辑

地址和安全逻辑是数据载体的心脏,控制着芯片上的所有操作。

(4) 存储器

存储器包括只读存储器、读写存储器以及带有密码保护的存储器。

2. 具有微处理器的标签

具有微处理器的非接触智能卡包含自己的操作系统,操作系统的任务是对标签进行数据存取的操作、对命令序列的控制、文件管理以及执行加密算法。

具有微处理器的标签结构如图 30-1-4 所示。其命令处理过程如下:由阅读器向非接触 IC 卡发送的命令由高频接口接收;I/O 管理器独立地进行错误识别和数据校正;密码管理器对接收到的无差错命令进行解密或检查完整性。解密后,高级命令解释程序尝试对命令译码。如果不可能,则调用返回代码管理器,它产生相应的返回代码,并经过 I/O 管理器送回阅读器。

当标签收到了一个有效命令,则与此应用命令有关的实际程序代码被执行。如果需要访问在 EEPROM 中的应用数据,则由文件管理系统和存储管理器来专门执行,它们把所有的符号地址转换成存储区的相应物理地址,即可完成对 EEPROM 的应用数据的访问。