

特高射频 识别技术及应用

ULTRA HIGH FREQUENCY
IDENTIFICATION TECHNOLOGY AND APPLICATIONS

李全圣 刘忠立 吴里江 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

特高射频识别技术及应用

ULTRA HIGH FREQUENCY IDENTIFICATION TECHNOLOGY AND APPLICATIONS

李全圣 刘忠立 吴里江 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

特高射频识别技术及应用/李全圣,刘忠立,吴里江编
著. —北京:国防工业出版社,2010.7

ISBN 978-7-118-06804-7

I. ①特... II. ①李... ②刘... ③吴... III. ①无线
电信号—射频—信号识别 IV. ①TN911.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 086013 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 12% 字数 312 千字

2010 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 56.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评

审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金
评审委员会**

国防科技图书出版基金

第六届评审委员会组成人员

主任委员 刘成海

副主任委员 宋家树 蔡 镭 程洪彬

秘书长 程洪彬

副秘书长 邢海鹰 贺 明

委 员 于景元 才鸿年 马伟明 王小谟

(按姓氏笔画排序) 甘茂治 甘晓华 卢秉恒 邬江兴

刘世参 芮筱亭 李言荣 李德仁

李德毅 杨 伟 肖志力 吴有生

吴宏鑫 何新贵 张信威 陈良惠

陈冀胜 周一宇 赵万生 赵凤起

崔尔杰 韩祖南 傅惠民 魏炳波

本书主审委员 李德毅

金基融 序 言

员人组里会员委审评国六第

50年前集成电路的发明和飞速发展,为社会经济结构和人民的生活方式带来巨大的变革。器件的特征尺寸已从20世纪70年代的 $10\mu\text{m}$ 发展到今天的 32nm ,集成度从几十个晶体管发展到几亿只,微处理器的时钟频率从几兆赫到几千兆赫,存储器的成本下降了7个数量级。过去认为难以做到的事,目前已经成为现实。集成化和数字化结合导致信息技术发生了根本的改变,微电子、计算机、通信、网络、家电等先进技术形成了庞大的信息产业。集成电路的应用已广泛渗透到社会生活的各个领域,其功能也日益复杂。近年来,伴随微电子技术的发展,射频识别(RFID)技术得到快速普及和推广,成为信息领域的一个重要分支。

自动识别是可以提供关于人物、动物、货物和商品等特征和信息的一门先进技术,具有广泛的应用领域。目前自动识别系统有条形码识别、光学符号识别(特殊的字符)、生物特征识别(语音、指纹或人脸)、计算机图像识别、非接触IC卡和射频识别等多种方法。RFID具有可远距离识别、存储容量大、随时写入信息、快速识别和可追溯等优点,有可能发展成为今后全球商品或物流中最广为采用的技术。我国RFID的频率范围主要在 13.56MHz 的高频和 $840\text{MHz} \sim 845\text{MHz}$ 与 $920\text{MHz} \sim 925\text{MHz}$ 的特高频频段,未来将延伸至微波(2.45GHz 左右)频段。当前高频应用占市场的主流地位,但是特高频RFID具有快速、大容量、远距离、移动识别、长期跟踪等优点,其应用呈现快速发展的趋势。RFID是一门综合性技术,包含高频技术、电磁兼容、微电子学、计算机、数据安全和密码学、无线通信和网络等系统集成技术。

未来的发展前景将以RFID系统为基础形成庞大的物联网,

由众多联网的标签阅读器和移动的电子标签组成物联网,实现自动的、实时的对物体进行识别、定位、追踪、监测和控制等。构筑基于下一代网络技术的 RFID 信息服务体系,这将成为 21 世纪信息产业的又一生长点。

目前已有若干 RFID 技术的书籍问世,主要介绍高频 RFID 技术和应用。作为此类技术出版物的补充,本书全面和翔实地阐述特高频 RFID 方面的知识,总结了作者多年从事芯片设计及应用、RFID 系统和检测等方面丰富的实践经验,凝聚了作者数十年的心血。该书深入浅出、实用性强,是广大高校教师、学生、研究院所和企业科技人员有实用价值的参考书籍,相信它的出版能对特高频 RFID 的科研与开发起到有益的作用。

吴世馨

前 言

特高射频识别是利用 860MHz ~ 960MHz 的无线电频率,通过电子标签识别物体的技术,通常用英文缩写词 UHF-RFID 表示,其中 UHF 是 Ultra High Frequency 的缩写,而 RFID 是 Radio Frequency Identification 的缩写。RFID 起源于雷达技术,但早期发展比较缓慢。20 世纪 90 年代以来,由于微电子技术的突飞猛进,才使 RFID 技术以极快的速度进入我们的生活。第二代身份证、公交一卡通是低频和高频 RFID 技术很好的应用实例。而采用特高频 RFID 的电子标签,不但具有体积小、容量大、寿命长、可重复使用等优点,而且支持快速识别、远距离识别、移动识别、多目标识别、定位及长期跟踪管理。因此,在公共安全、生产管理、现代物流与供应链管理、交通管理、军事、重大活动等领域,具有广泛的应用。UHF-RFID 技术显示出巨大的发展潜力,被认为是 21 世纪最有发展前途的信息技术之一。

UHF-RFID 是涉及微电子、计算机和通信领域的综合技术,其关键技术包括技术标准、关键芯片(标签芯片和读写器芯片)、天线设计与制造、标签制造与设备、读写器设计与制造、标签测试、标签应用系统的开发、UHF-RFID 项目的实施等。本书从微电子技术的角度,结合 IC(集成电路)卡和非接触 IC 卡的研发经验和工程实践,着重介绍特高频电子标签设计的关键技术和实施技术,其中包括芯片的 IP(知识产权)复用、SOC(系统芯片)设计等前沿技术。

本书共9章。第1章描述 UHF-RFID 系统的构成,工作频率的选择和限制,RFID 产业链及应用领域,并从微电子发展的角度展望 RFID 的发展趋势。第2章介绍 UHF-RFID 设计技术基础,包括数字通信、信道编码、数字调制与解调、数据加密、数据校验、数据存储以及防碰撞处理技术等。第3章介绍 UHF-RFID 的技术标准,除一般阐述低频和高频 RFID 常用技术标准外,重点介绍 UHF-RFID 技术标准所涉及的技术细节,包括标签与读写器之间的通信模型、物理特性、数据编码、调制解调、通信协议、命令设置、防碰撞机制等。第4章介绍 UHF 标签专用 IC 的设计制造,主要内容包括设计输入文档、设计方案、设计流程、MPW(多目标晶圆片)投片与测试等。第5章介绍电子标签的构成、技术指标、标签天线、标签制造、标签测试、标签初始化等技术。第6章介绍电子标签读写器的构成、工作原理、类型、射频模块、读写器天线、控制模块、读写器开发系统及读写器专用 IC 设计技术,包括 SOC 技术、IP 模块及 IP 模块复用技术。第7章介绍 UHF-RFID 应用系统的设计方法,包括系统构成模型、运行环境、接口方式、应用软件、方案评估等内容,其中给出 UHF-RFID 在停车场管理的应用示例。第8章介绍 UHF-RFID 应用系统设计示例,包括军械库管理、服装生产销售、图书销售、机车车辆管理等,并简述 UHF-RFID 在军事物流中的应用前景。第9章介绍 UHF-RFID 项目的实施技术,包括需求分析、可行性论证、质量管理、质量问题归零、过程控制、项目监理、验收与推广应用等。

通过本书,读者可以比较全面地了解 UHF-RFID 所涉及的关键技术,并可以结合实际进行应用方案的设计。本书适合从事 RFID 及关键技术研发的科技人员阅读,也可以供电子学等

相关专业的教师、本科生及研究生作为教学参考书。

本书由中国科学院项目监理部策划,监理部岳志夫主任组织,三位作者集体构思,一人执笔。在编写过程中,参考了许多国内外相关资料,使本书尽量做到内容丰富,具有前瞻性。最后本书由胡行毅监理进行了审阅校正。

感谢周先璐、拜海霞、冉淑蓉对本书文稿的编排、整理及打印;感谢宁波友恒睿德电子科技有限公司岑金达先生提供的帮助;感谢本书参考文献的所有作者。

由于作者水平有限,书中难免有不完善或错误之处,敬请读者批评指正。

作者

目 录

第1章 UHF-RFID 系统概述	1
1.1 RFID 的基本概念	1
1.1.1 什么是 RFID	1
1.1.2 RFID 的发展	2
1.1.3 电子标签与条形码	3
1.1.4 RFID 的关键技术	4
1.2 RFID 系统构成	6
1.2.1 RFID 系统构成及工作原理	6
1.2.2 电子标签	7
1.2.3 标签读写器	8
1.2.4 标签识别系统	10
1.3 RFID 的频率选择	12
1.3.1 无线电频率管理	12
1.3.2 无线电频率划分	13
1.3.3 RFID 技术频率规划	14
1.3.4 800MHz/900MHz 频段技术应用规定	15
1.3.5 部分国家和地区 UHF 频段应用频率	17
1.4 RFID 产业链	17
1.4.1 电子标签生产过程	17
1.4.2 标签芯片设计制造	18
1.4.3 标签天线的制造	19
1.4.4 标签的制造	19
1.4.5 标签读写机具	21

1.5	RFID 应用领域	22
1.5.1	公共安全	22
1.5.2	生产管理与控制	22
1.5.3	现代物流与供应链管理	22
1.5.4	口岸进出口货物管理	22
1.5.5	交通管理	23
1.5.6	军事应用	23
1.5.7	重大工程与活动	23
1.6	电子标签发展展望	23
1.6.1	微电子技术是电子标签发展的关键	23
1.6.2	微电子技术发展路线图	24
1.6.3	微电子对电子标签的影响	26
1.7	本章小结	27
第2章	UHF-RFID 设计技术基础	29
2.1	数字通信基础	29
2.1.1	数字通信模型	29
2.1.2	数字通信的特点和主要性能指标	30
2.1.3	RFID 通信方式	32
2.2	信道编码	33
2.2.1	码型的选择	33
2.2.2	常用码型	33
2.3	数字调制与解调电路	36
2.3.1	幅移键控(ASK)	37
2.3.2	频移键控(FSK)	39
2.3.3	相移键控(PSK)	41
2.4	数据加密	43
2.4.1	DES 加密算法	43
2.4.2	相互对称鉴别	49
2.4.3	利用导出密钥的鉴别	50
2.5	数据校验	50

2.5.1	奇偶校验	51
2.5.2	纵向冗余校验	51
2.5.3	循环冗余码校验	52
2.6	数据存储	54
2.6.1	ROM	54
2.6.2	EEPROM	55
2.6.3	快闪存储器	57
2.6.4	随机存储器 RAM	59
2.6.5	几种存储器的比较	61
2.7	防碰撞处理	61
2.7.1	碰撞的基本概念	61
2.7.2	时隙 ALOHA 法	64
2.7.3	二进制搜索法	65
2.7.4	类型 A 推荐算法	67
2.8	本章小结	69
第3章	UHF-RFID 技术标准	70
3.1	概述	70
3.1.1	技术标准的属性	70
3.1.2	RFID 标准分类	71
3.1.3	UHF-RFID 技术标准的功能特点	73
3.2	LF/HF-RFID 技术标准简介	74
3.2.1	常用 LF/HF-RFID 标准类型	74
3.2.2	ISO 10536——紧耦合非接触 IC 卡	74
3.2.3	ISO 14443——近耦合非接触 IC 卡	74
3.2.4	ISO 15693——疏耦合 IC 卡	76
3.3	术语、符号和缩写词	77
3.3.1	术语定义	77
3.3.2	符号	79
3.3.3	缩写词	80
3.4	读写器上下电和跳频特性	82

12	3.4.1	读写器上电和下电波形	82
12	3.4.2	载波跳频上升和下降时间	83
12	3.5	通信模型	84
42	3.5.1	读写器与标签通信架构	84
42	3.5.2	标签向读写器传送数据	86
32	3.5.3	读写器向标签传送数据	89
12	3.6	标签数据格式	93
42	3.6.1	唯一识别符(UID)	93
10	3.6.2	局部识别符(SUID)	94
14	3.6.3	应用识别符	94
10	3.6.4	数据存储格式识别符(DSFID)	95
14	3.6.5	类型 A 和类型 B 标签存储器	95
20	3.6.6	类型 C 标签存储器	96
10	3.7	数据传输协议	98
24	3.7.1	概述	98
02	3.7.2	命令格式	99
05	3.7.3	命令类型	100
02	3.7.4	标签回答格式	102
12	3.8	防碰撞机制	104
12	3.8.1	防碰撞机制基础	104
42	3.8.2	防碰撞机制一般描述	104
42	3.8.3	标签签名	106
42	3.8.4	标签状态及状态转换	106
42	3.8.5	标签状态保持时间	107
42	3.8.6	正反向链接转换时间	107
42	3.8.7	确认时间窗口	108
42	3.9	本章小结	110
08	第 4 章	标签 IC 的设计制造	111
08	4.1	集成电路简介	111
38	4.1.1	集成电路的发展概况	111

4.1.2	集成电路类型	112
4.1.3	集成电路制造流程	114
4.1.4	电路设计	114
4.1.5	版图设计	115
4.1.6	掩模版制造	116
4.1.7	工艺制造	117
4.1.8	集成电路测试	120
4.1.9	集成电路封装	122
4.2	设计输入文档	122
4.2.1	确定企业需求	123
4.2.2	形成初步技术指标文档	124
4.2.3	标签 IC 设计的依托条件	127
4.3	设计方案	130
4.3.1	标签 IC 的基本构成	130
4.3.2	技术功能指标	131
4.3.3	操作命令设置	132
4.3.4	电路方案	133
4.3.5	工艺方案	136
4.3.6	测试方案	137
4.3.7	设计流程	139
4.3.8	模块化设计	140
4.3.9	EDA 工具	140
4.4	IC 芯片制造与测试	142
4.4.1	MPW 投片	142
4.4.2	工程投片	143
4.4.3	测试与初始化	145
4.5	几种标签 IC 芯片简介	145
4.5.1	XRA00	145
4.5.2	ATA5590	149
4.6	本章小结	150

第5章 电子标签的设计制造	151
5.1 电子标签的构成与类型	151
5.1.1 电子标签的构成	151
5.1.2 电子标签的类型	152
5.2 标签的技术指标	153
5.2.1 标签的外形指标	153
5.2.2 标签的技术功能指标	154
5.3 标签天线	156
5.3.1 天线的形状	156
5.3.2 天线的等效电路	158
5.3.3 天线的性能	159
5.3.4 天线的制造	160
5.4 标签的制造	161
5.4.1 标签制造的工艺过程	161
5.4.2 关键工艺技术	163
5.5 标签的测试	166
5.5.1 标签测试的原则	167
5.5.2 标签产品测试	168
5.5.3 标签性能测试	169
5.5.4 应用测试	172
5.6 标签初始化	175
5.6.1 标签初始化的定义和类型	175
5.6.2 标签初始化条件	175
5.6.3 EEPROM 的初始化结构	176
5.7 本章小结	177
第6章 标签读写器的设计	178
6.1 读写器概述	178
6.1.1 读写器基本构成	178
6.1.2 读写器工作原理	179
6.1.3 读写器技术功能指标	181