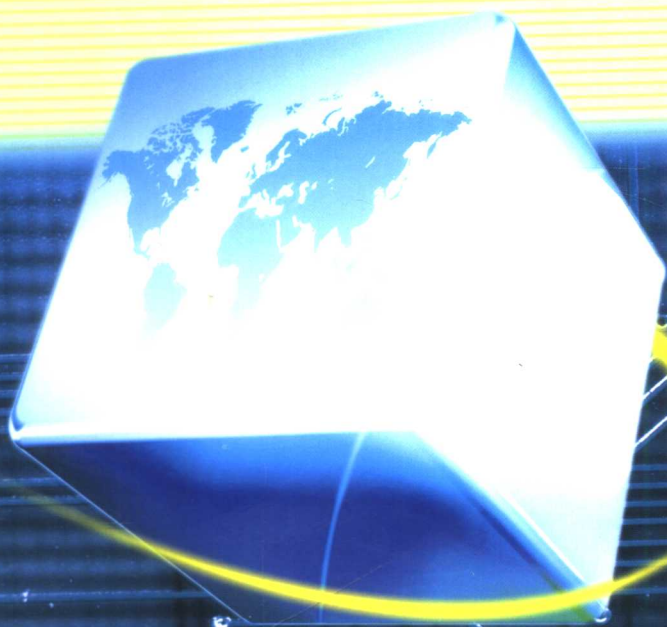




# RFID 技术 系统工程及应用指南

谭民 刘禹 曾隽芳 等编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



TN911.23

17

2007

# RFID 技术系统工程 及应用指南

谭民 刘禹 曾隽芳 编著  
谭杰 李秀萍 关强

机械工业出版社

本书从技术要素和应用模式出发,比较详尽地介绍了 RFID 技术系统工程及应用方面的基础知识和最新成果。本书分两大部分。第 1 部分为第 1~6 章,分别介绍了 RFID 技术系统工程中所涉及的共性关键技术,包括标准及标准化进展、电子标签设计与制造、读写器设计与应用、中间件与公共服务体系,以及测试技术等。第 2 部分为第 7~11 章,主要介绍了基于 RFID 技术的应用模式和实例,包括 RFID 技术在制造业中的应用模式,以及在生产制造、证件防伪、公共安全、物流与供应链中的应用方案。本书适合广大信息化工作者、相关专业师生,以及 RFID 行业技术人员和应用研究人员、系统集成商、RFID 系统用户阅读。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

RFID 技术系统工程及应用指南/谭民等编著. —北京:机械工业出版社, 2007.4

ISBN 978 - 7 - 111 - 21216 - 4

I. R… II. 谭… III. 无线电信号 - 射频 - 信号识别 - 系统工程 IV. TN911.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 039949 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 吉 玲

责任编辑: 顾 谦 版式设计: 张世琴 责任校对: 魏俊云

封面设计: 马精明 责任印制: 洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2007 年 4 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 21.75 印张 · 537 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 21216 - 4

定价: 37.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379768

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

RFID 技术作为一项先进的自动识别和数据采集技术,被认为是 21 世纪十大重要技术之一,在生产制造、销售流通、公共安全等领域有着广阔的应用前景。随着技术可靠性和可用性的提高,它已经逐渐成为提高物流与供应链管理水平和降低生产成本、提高公共安全管理信息化水平、增强国际竞争力的一项必不可少的技术手段和工具。

同时,RFID 技术是一项使能技术,必须将其与特定的应用领域相结合,才能充分发挥其高效、自动化等优点。基于 RFID 技术的应用系统开发和实施部署涉及多学科、多领域的知识与方法,是一个涉及信息、先进制造、材料、装备及工艺等诸多前沿和高技术领域的交叉融合技术群,涵盖的技术包括无线通信、计算机网络、控制理论、信息系统和管理科学等。

同传统的智能卡应用相比,当前基于 RFID 技术的应用系统体系结构更趋复杂,技术要素更加多样化。良好地实施与部署 RFID 软硬件需要更多地利用工程化的方法,如专业测试技术与方法的引入等。本书正是基于这种系统化、工程化的思想,从技术要素和应用模式出发,根据中国科学院自动化研究所和作者多年的工作积累,比较详尽地介绍了 RFID 技术系统工程及应用方面的基础知识和最新成果。此外,本书还针对技术分类、标准制定以及基础专利等读者关心的问题做了专门整理,以方便读者阅读。

全书内容可分为两大部分。第 1 部分为第 1~6 章,分别介绍了 RFID 技术系统工程中所涉及的共性关键技术,包括标准及标准化进展、电子标签设计与制造、读写器设计与应用、中间件与公共服务体系,以及测试技术等。第 2 部分为第 7~11 章,主要介绍了基于 RFID 技术的应用模式和实例,包括 RFID 技术在制造业中的应用模式,以及在生产制造、证件防伪、公共安全、物流与供应链中的应用方案。本书在为读者提供 RFID 技术领域基础知识,如电子标签、读写器的结构与设计的同时,也加入了国内外本领域的最新研究内容,如基于传感数据标签的 IEEE1451 标准、基于智能化的标签天线设计、读写器管理与防伪读写器、RFID 公共服务体系架构与示范应用、RFID 物流应用测试与服务质量测试技术、RFID 制造业应用模式研究等。这样,读者一方面可以掌握 RFID 的基础知识,另一方面还可以了解当前 RFID 技术的应用趋势和热点。

本书内容新颖、丰富,兼备知识性、系统性、可读性、实用性和指导性,适合广大信息化工作者、相关专业师生,以及 RFID 行业技术人员和应用研究人员、系统集成商、RFID 系统用户阅读。

本书由谭民、刘禹、曾隽芳、谭杰、李秀萍、关强根据国家 863 计划相关研究成果编写。感谢田利梅、柳贵东、王启刚、陈琳、罗锦、李然、徐圆圆、夏添等为本书提供的素材与资料,感谢赵健、甘霖、张云龙为本书图片与表格制作所做的工作。特别感谢机械工业出版社电工电子分社吉玲女士为本书出版所作的大量辛勤工作。感谢所有本书

#### IV RFID 技术系统工程及应用指南

---

所引用资料的作者。

由于 RFID 技术还在不断发展之中，新的标准与应用不断涌现，加之作者水平有限，编写时间仓促，书中难免存在错漏之处，恳请各位专家和读者不吝指正。欢迎各位读者在我们的专门网站 (<http://www.rfidlab.cn>) 上对本书发表见解并进行讨论。

**编著者**

# 目 录

## 前言

<b>第1章 RFID系统与应用概述</b> .....	1
1.1 关于RFID技术的几个话题 .....	1
1.1.1 RFID技术的发展历程 .....	1
1.1.2 RFID系统的组成 .....	4
1.1.3 RFID的分类方法 .....	6
1.1.4 RFID与条形码的比较 .....	10
1.1.5 RFID的使用频率 .....	11
1.2 RFID应用概述 .....	16
1.3 短距离无线通信技术综述 .....	20
1.3.1 短距离无线通信技术分析 .....	20
1.3.2 短距离无线通信技术比较 .....	27
1.3.3 短距离无线通信技术的发展趋势 .....	28
1.4 本章小结 .....	29
参考文献 .....	29
<b>第2章 RFID标准与标准化</b> .....	32
2.1 RFID标准与标准化工作现状 .....	32
2.1.1 RFID标准分类 .....	32
2.1.2 RFID标准化组织 .....	33
2.2 ISO相关标准化工作 .....	33
2.2.1 ISO概述 .....	34
2.2.2 空中接口通信协议标准 .....	39
2.2.3 应用需求概要 .....	40
2.2.4 数据内容标准 .....	40
2.2.5 性能测试和一致性测试标准 .....	40
2.2.6 实时定位系统 .....	41
2.2.7 应用标准 .....	41
2.3 EPCglobal相关标准化工作 .....	42
2.3.1 EPCglobal概述 .....	42
2.3.2 EPC基本概念 .....	43
2.3.3 EPC标签与空中接口通信协议 .....	44
2.3.4 读写器与读写器协议 .....	45
2.4 Ubiquitous ID中心相关标	

准化工作 .....	46
2.4.1 Ubiquitous ID中心概述 .....	46
2.4.2 uCode标签 .....	47
2.4.3 uID无线频段 .....	48
2.4.4 读取终端——泛在通 .....	48
2.5 国际航空运输协会 .....	49
2.6 国际自动识别制造商协会 .....	50
2.7 汽车工业行动组 .....	51
2.8 IP-X协议 .....	51
2.9 IEEE 1451 .....	51
2.10 RFID标准化的发展趋势 .....	52
2.11 本章小结 .....	53
参考文献 .....	53
<b>第3章 RFID电子标签的设计与制造</b> .....	55
3.1 RFID标签的组成及工作原理 .....	55
3.1.1 RFID标签的基本组成 .....	55
3.1.2 RFID标签的工作原理 .....	56
3.1.3 RFID标签的分类 .....	58
3.1.4 RFID标签发展面临的挑战 .....	60
3.2 RFID标签的芯片设计及制造技术 .....	63
3.2.1 RFID标签的芯片组成 .....	63
3.2.2 RFID标签的射频前端 .....	63
3.2.3 RFID标签的模拟前端 .....	64
3.2.4 RFID标签的数字基带 .....	64
3.2.5 RFID标签的存储器 .....	65
3.2.6 RFID标签的电路芯片化设计 .....	66
3.2.7 RFID标签的芯片制造技术 .....	67
3.3 RFID标签的天线设计与制造技术 .....	68
3.3.1 RFID标签的天线主要性能参数 .....	68
3.3.2 RFID标签的天线设计 .....	70
3.3.3 RFID标签的天线性能测量 .....	77
3.3.4 RFID标签的天线制造技术 .....	79

3.3.5 常见 RFID 标签的天线结构 .....	81	5.2.2 RFID 中间件的功能定位 .....	135
3.4 RFID 标签的封装技术 .....	82	5.2.3 RFID 中间件的分类 .....	136
3.4.1 RFID 标签的封装方法 .....	84	5.2.4 典型的 RFID 中间件产品 .....	137
3.4.2 RFID 标签的关键封装工艺 .....	84	5.2.5 RFID 中间件的发展趋势 .....	140
3.4.3 RFID 标签的关键封装设备 .....	86	5.3 RFID PSI 架构 .....	141
3.4.4 RFID 标签的芯片封装技术 .....	86	5.3.1 PSI 的设计原则 .....	141
3.4.5 RFID 标签的集成技术 .....	87	5.3.2 PSI 的 3 层模型 .....	142
3.5 本章小结 .....	88	5.3.3 RFID PSI 的组成要素 .....	142
参考文献 .....	88	5.3.4 RFID PSI 的工作流程 .....	144
		5.3.5 编码方式 .....	145
<b>第 4 章 RFID 读写器的设计与应用</b> .....	<b>90</b>	5.4 RFID PSI 功能要素 .....	147
4.1 读写器概述 .....	90	5.4.1 设计要点 .....	147
4.1.1 读写器的基本功能 .....	90	5.4.2 编码注册 .....	148
4.1.2 读写器的工作原理 .....	90	5.4.3 编码解析服务 .....	149
4.1.3 读写器的基本组成 .....	91	5.4.4 检索与跟踪服务 .....	151
4.2 读写器的多种形式与 工作模型 .....	93	5.4.5 物品信息服务 .....	153
4.2.1 固定式读写器 .....	94	5.5 血液管理公共服务平台 .....	154
4.2.2 OEM 模块 .....	97	5.5.1 血液管理业务分析 .....	154
4.2.3 便携式读写器 .....	97	5.5.2 设计要点说明 .....	155
4.2.4 读写器天线的结构与特性 .....	98	5.5.3 系统设计 .....	155
4.3 读写器的相关技术 .....	100	5.5.4 系统架构 .....	156
4.3.1 读写器技术的发展趋势 .....	101	5.5.5 系统功能 .....	158
4.3.2 防碰撞方法 .....	101	5.5.6 数据库设计 .....	158
4.3.3 读写器的管理技术 .....	109	5.5.7 系统实现 .....	160
4.3.4 读写器网络的部署与规划 .....	112	5.6 数据安全性 .....	166
4.4 读写器的设计与应用实例 .....	117	5.6.1 RFID 系统的安全隐患 .....	167
4.4.1 读写器的实现 .....	117	5.6.2 保护 RFID 数据安全 的解决方案 .....	167
4.4.2 基于 SIM 卡的 RFID 读写器 身份识别 .....	120	5.6.3 PSI 安全策略 .....	169
4.4.3 基于 RFID 的防伪专用读写器 及管理方法 .....	121	5.7 PSI 应用模式 .....	170
4.5 本章小结 .....	123	5.7.1 应用整合问题 .....	170
参考文献 .....	123	5.7.2 3 种应用模式 .....	171
		5.8 本章小结 .....	173
		参考文献 .....	174
<b>第 5 章 RFID 中间件与公共服务</b> .....	<b>125</b>	<b>第 6 章 RFID 测试技术</b> .....	<b>176</b>
5.1 RFID 信息网络概述 .....	125	6.1 目前仍存在的问题 .....	176
5.1.1 EPCglobal 服务体系 .....	126	6.1.1 RFID 技术问题 .....	176
5.1.2 uID 中心服务体系 .....	130	6.1.2 RFID 应用问题 .....	176
5.2 RFID 中间件 .....	134	6.1.3 国外 RFID 测试研究工作现状 .....	178
5.2.1 RFID 中间件的概述 .....	134	6.1.4 国内 RFID 测试研究工作现状 .....	179
		6.1.5 测试的主要内容 .....	180

6.1.6 测试的意义和价值 .....	181	7.5 本章小结 .....	215
6.2 RFID 物流应用测试 .....	182	参考文献 .....	215
6.2.1 RFID 测试硬件环境的建立 .....	182	<b>第 8 章 RFID 技术在生产中的应用</b> .....	217
6.2.2 RFID 测试软件的设计与开发 .....	183	8.1 家电行业的 RFID 应用系统 .....	217
6.2.3 RFID 测试软件的测试流程 .....	187	8.1.1 概述 .....	217
6.2.4 RFID 物流应用的测试方法 .....	188	8.1.2 基于 Web Service 的企业级 RFID 应用架构 .....	218
6.3 RFID 服务质量测试 .....	189	8.1.3 生产线 RFID 应用系统架构 .....	219
6.3.1 服务测试的需求 .....	189	8.1.4 系统功能软件及其模块 .....	220
6.3.2 RFID 服务质量测试的 系统设计 .....	190	8.2 基于 RFID 的电器产品全生命 周期管理系统 .....	221
6.3.3 RFID 服务质量测试的流程 .....	191	8.2.1 概述 .....	221
6.4 本章小结 .....	192	8.2.2 RFID 应用于 EPLM 系统 的实施要点 .....	222
参考文献 .....	193	8.2.3 RFID 电子标签单元的主要 功能及其作用 .....	223
<b>第 7 章 RFID 的制造业应用模式</b> .....	194	8.2.4 RFID 电子标签单元的 工作原理 .....	223
7.1 RFID 在制造业中的 应用概述 .....	194	8.2.5 RFID 应用系统及其优缺点 .....	224
7.1.1 RFID 在制造业中应用的 需求及现状 .....	194	8.3 烟草制造业的 RFID 应用系统 .....	225
7.1.2 RFID 在制造业中的 应用特点 .....	195	8.3.1 概述 .....	225
7.1.3 制造业中使用 RFID 技术 的优点 .....	198	8.3.2 系统实施方案 .....	225
7.2 RFID 在制造业生产线自动化 控制中的应用 .....	198	8.3.3 电子托盘 .....	226
7.2.1 制造业控制信息系统结构 .....	199	8.3.4 电子标签信息的写入 .....	226
7.2.2 制造业控制中使用产品 身份信息 .....	201	8.3.5 电子标签在烟草制造企业的仓库和 流通中的应用 .....	227
7.2.3 RFID 在制造业控制中 的应用 .....	201	8.4 服装加工行业的 RFID 应用系统 .....	228
7.3 RFID 在制造业中的分 布式应用 .....	203	8.4.1 概述 .....	228
7.3.1 RFID 在制造业中的水平分 布式应用 .....	203	8.4.2 服装加工工作流程简介 .....	228
7.3.2 RFID 在制造业中的垂直分 布式应用 .....	205	8.4.3 系统总体结构 .....	228
7.4 RFID 在企业管理中的应用 .....	207	8.4.4 RFID 智能操作终端 及其功能 .....	231
7.4.1 原材料管理 .....	207	8.4.5 RFID 技术应用效果 .....	231
7.4.2 成品库管理 .....	208	8.5 仓库管理中的 RFID 应用系统 .....	231
7.4.3 RFID 在产品全生命周期 管理中的应用 .....	214	8.5.1 概述 .....	231
		8.5.2 系统组成 .....	232
		8.5.3 系统主要功能及其流程 .....	233



8.5.4 系统安全性分析 .....	234	10.2 RFID 在医药卫生领域	
8.6 钢铁企业的 RFID 应用 .....	234	的应用 .....	256
8.6.1 概述 .....	234	10.2.1 目前存在的问题 .....	256
8.6.2 总体系统结构 .....	234	10.2.2 RFID 在医药卫生领域的	
8.6.3 实际应用 .....	234	应用优势 .....	256
8.7 原材料管理的 RFID 应用 .....	235	10.2.3 RFID 在医药卫生领域的应用 .....	257
8.7.1 概述 .....	235	10.2.4 RFID 在医药卫生领域的	
8.7.2 RFID 软硬件的选择 .....	236	应用案例 .....	258
8.7.3 RFID 应用系统的实施要点 .....	236	10.3 RFID 在食品安全领域	
8.7.4 RFID 系统的应用效果 .....	237	的应用 .....	261
8.8 本章小结 .....	237	10.3.1 食品安全技术现状 .....	261
参考文献 .....	238	10.3.2 RFID 应用于食品安全	
		领域的优势 .....	261
		10.3.3 RFID 食品安全可追溯	
		解决方案 .....	262
		10.3.4 RFID 在食品安全领域	
		的应用案例 .....	269
<b>第 9 章 RFID 在证件与防伪上的</b>		10.4 RFID 在矿井安全领域	
<b>应用</b> .....	239	的应用 .....	269
9.1 RFID 技术在电子证件上		10.4.1 矿井安全领域的现状 .....	269
的应用 .....	239	10.4.2 RFID 在矿井应用领域	
9.1.1 目前的票证种类 .....	239	中的特点 .....	270
9.1.2 目前国内的票证技术现状 .....	240	10.4.3 RFID 技术在煤矿井下	
9.1.3 RFID 应用于电子证件的		的应用方案 .....	270
典型方案 .....	241	10.4.4 RFID 在矿井安全领域	
9.1.4 RFID 技术电子证件		的应用案例 .....	272
应用实例 .....	242	10.5 本章小结 .....	276
9.1.5 应用前景 .....	246	参考文献 .....	277
9.2 RFID 技术的防伪应用 .....	246		
9.2.1 防伪行业的技术问题与需求 .....	246	<b>第 11 章 RFID 在物流与供应链管</b>	
9.2.2 RFID 应用于防伪的现状 .....	247	<b>理中的应用</b> .....	278
9.2.3 RFID 应用于流通防伪方案 .....	248	11.1 RFID 技术在物流行业中	
9.2.4 酒类防伪解决方案 .....	251	的应用架构 .....	278
9.3 本章小结 .....	252	11.1.1 RFID 技术在物流行业的应用过程	
参考文献 .....	252	中所存在的问题 .....	278
		11.1.2 现代物流状况 .....	278
		11.1.3 面向物流应用的 RFID	
		应用框架 .....	280
		11.1.4 分布式 RFID 应用体系 .....	281
<b>第 10 章 RFID 在公共安全方面</b>		11.2 RFID 在集装箱中的应用 .....	283
<b>的应用</b> .....	253	11.2.1 应用需求 .....	283
10.1 RFID 在危险品管理领			
域的应用 .....	253		
10.1.1 目前在危险品管理中存			
在的问题 .....	253		
10.1.2 RFID 危险品管理的特点 .....	253		
10.1.3 RFID 危险品管理技术难点 .....	254		
10.1.4 RFID 危险品管理应用案例 .....	254		

11.2.2 目前的集装箱自动识别技术 .....	284	B.2·国际厂商 .....	312
11.2.3 基于 RFID 技术的信息 化集装箱 .....	284	B.2.1 行业应用系统与解决方案 .....	312
11.2.4 应用案例 .....	287	B.2.2 RFID 组件供应商 .....	314
11.3 RFID 在邮政行业中的应用 .....	288	B.2.3 芯片、导电墨水、线圈、微带 及高密度集成技术供应商 .....	315
11.3.1 RFID 在邮政领域的优势 与挑战 .....	289	B.2.4 咨询与顾问研究组织 .....	316
11.3.2 邮政行业的 RFID 解决方案 .....	289	附录 C RFID 部分机构、杂 志与网站 .....	316
11.3.3 应用案例 .....	291	附录 D 物体表面单 RFID 电子标签 位置确定测试规范 .....	320
11.4 RFID 在机场管理中的应用 .....	292	D.1 测试目的 .....	320
11.4.1 目前航空行李包管理中 存在的问题 .....	292	D.2 测试环境 .....	320
11.4.2 RFID 在航空行李包管理 中的应用 .....	293	D.2.1 硬件环境及测试设备 .....	320
11.4.3 应用方案 .....	295	D.2.2 软件环境 .....	320
11.5 本章小结 .....	297	D.3 基本参数 .....	320
参考文献 .....	297	D.3.1 货箱 .....	320
附录 .....	299	D.3.2 读写器及天线 .....	320
附录 A RFID 术语表 .....	299	D.3.3 标签 .....	321
附录 B RFID 部分厂商 .....	309	D.3.4 测试环境 .....	321
B.1 国内厂商 .....	309	D.3.5 中间件 .....	321
B.1.1 RFID 系统集成和解决 方案提供商 .....	309	D.4 术语和定义 .....	321
B.1.2 标签和读写器生产 制造企业 .....	310	D.5 测试方法 .....	321
B.1.3 芯片/集成电路制造企业 .....	311	D.5.1 优选区域测试 .....	321
B.1.4 RFID 产品代理企业 .....	311	D.5.2 静态读取测试 .....	322
B.1.5 其他 .....	312	D.5.3 动态读取测试 .....	324
		D.5.4 读取率介质替换测试 .....	325
		D.5.5 静态写入测试 .....	326
		D.5.6 动态写入测试 .....	327
		D.5.7 写入率介质替换测试 .....	328
		附录 E RFID 基础技术专利 .....	328

# 第 1 章 RFID 系统与应用概述

射频识别 (Radio Frequency Identification, RFID) 技术起源于第二次世界大战期间的敌我识别系统, 是一种基于射频原理实现的非接触式自动识别技术。RFID 技术以无线通信技术和大规模集成电路技术为核心, 利用射频信号及其空间耦合、传输特性, 驱动电子标签电路发射其存储的惟一编码。它可以对静止或移动的目标进行自动识别, 并高效地获取目标信息数据, 通过与互联网技术的进一步结合, 还可以实现全球范围内的目标跟踪与信息共享。

作为一项具有广泛应用前景的技术, RFID 产品近年来已被广泛应用于社会、经济、国防等众多领域, 在物流与供应链管理、防伪和安全控制、交通管理与控制、生产管理与控制等方面发挥了重要的作用, 并提升了现代服务业、生产制造、商业流通、交通运输、医药卫生、军事、邮政、烟草、煤炭等行业的管理效率和商业价值。随着 RFID 技术的不断发展, 可以解决供应链管理中多目标识读的可靠性问题, 与其他无线通信技术进一步融合, 最终将形成一个连通物流与信息流的 RFID 信息网络和无所不在的无线传感器网。可以预测, RFID 技术将会成为 21 世纪改变人类生活的一项重要技术。

## 1.1 关于 RFID 技术的几个话题

### 1.1.1 RFID 技术的发展历程

RFID 技术是一种直接继承了雷达的概念, 并由此发展起来的具有革命性的自动识别技术。1948 年哈里·斯托克曼 (Harry Stockman) 在无线电工程师协会 (Institute of Radio Engineers) 学报上发表的《利用能量反射进行通信 (Communication by Means of Reflected Power)》奠定了 RFID 技术的理论基础。随着无线通信和大规模集成电路技术的发展, RFID 产品成本逐渐降低, 进入了实用化阶段。特别是 RFID 技术在高速运动物体识别、多目标识别和非接触识别等方面的优势, 使它在制造业、商业、军事、日常生活等领域显示出巨大的发展潜力与应用空间, RFID 技术有望成为 21 世纪最有发展前途的技术之一。

Jeremy Landt 博士曾工作于美国洛斯阿拉莫斯国家实验室, 是 RFID 技术最早的五位研究人员之一。他在《光阴荏苒——RFID 技术的历史》(Shrouds of Time——The history of RFID) 一文中写道: “在历史的进程中, 有些事情会随着时间的推移被人们遗忘。对后来者来说, 追根溯源将是一项艰巨而富有挑战性的任务。但是, 只有了解过去才能展望未来, 最终它将会带给我们应有的回报。不管我们是否意识到, RFID 已经成为我们生活中的重要组成部分。它在效率和便利性等方面的优势使得它在成百上千个地方都有应用, 如汽车防盗系统、不停车收费管理、交通管理、门禁系统、停车场自动化、机动车通道控制系统、机场或者校园的一体化管理、物流配送、滑雪场管理、图书管理、供应链管理、资产追溯与跟踪, 甚至买个汉堡包都离不开它。”

从公元前 1 世纪发明指南针的中国人，到 18 世纪的发明家本杰明·富兰克林，再到 19 世纪的迈克尔·法拉第、詹姆斯·麦克斯维尔、海因里希鲁道夫·赫兹、亚历山大·波波夫、古列尔莫·马可尼等先驱，人们对未知领域不断的探索使电磁技术和无线电技术产生了前所未有的跨越。1906 年，第一台连续波信号发生器和无线信号接收器的诞生标志着近代无线通信时代的诞生。

20 世纪初，大约于 1922 年，雷达诞生了。雷达发出无线电波，通过接收所探测物体的反射电波来测定物体的位置和速度。在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，从而避免误伤己方飞机，但当时的应用仅仅是一种加密的 ID（Identification）号而已。

1948 年 10 月，哈里·斯托克曼在《利用能量反射进行通信》一文中指出：“反射能量通信方式还有很多问题没有解决，它的应用方向也尚未找到，但是很显然，相关的研究和开发工作必须要做。”

实现哈里·斯托克曼的梦想走了 30 年。相关技术如晶体管、集成电路、微处理器、通信网络技术在这期间相继取得了突破。20 世纪 50 年代 F.L. 弗农提出“微波零差应用”的想法，D.B. 哈里斯也申请了“带可调制无源应答器的无线传输系统”的发明专利。1963 ~ 1964 年，R. F. Harrington 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，讨论了 RFID 相关的电磁理论。Robert Richardson 于 1963 年发明了“遥控启动射频装置”，J.P. Vinding 于 1967 年发明了“询问器—应答器识别系统”，J.H. Vogelmann 于 1968 年发明了“利用雷达波束的被动数据传输技术”，Otto Rittenback 于 1969 年发明了“雷达波束通信”。在诸多前辈的努力下，RFID 技术发展的车轮开始了转动。

最初的商业中使用 RFID 技术的行为在 20 世纪 60 年代开始出现。如 60 年代末成立的 Sensormatic 和 Checkpoint 公司，它们与 Knogo 等公司开发了电子防盗器（Electronic Article Surveillance, EAS）来对付商场里的窃贼。这类系统使用存储量只有 1 位的标签来标记商品是否已售出，既可以使用基于超高频和微波的电磁反向散射系统，也可以使用基于高频的电磁耦合系统，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 技术继续吸引着人们的广泛关注。如 Raytheon 公司（美国国防公司）于 1973 年推出了“RayTag（射标）”，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（美国精密仪器公司）的 Thomas Meyers 和 Ashley Leigh 于 1978 年开发了“被动编码的微波发射机”等。纽约—新泽西港还对通用电子、西屋电器、飞利浦和 Glenayre 等公司建立的系统进行了测试，结果令人满意。在欧洲，由于动物标记受到重视，瑞典 Alfa Laval 公司、荷兰 Nedap 公司等都开发了各自的 RFID 系统。国际桥梁隧道和收费公路协会（IBTTA）以及美国联邦高速公路管理局于 1973 年资助的一次会议，结束了没有政府部门关注电子车牌识别标准的历史。这个决定使 RFID 技术尚在襁褓期内就得到了与其他技术同台表演的机会。

RFID 技术在 20 世纪 80 年代全面开花，在不同地域和不同应用方向上都焕发了生机。美国人的兴趣主要在交通管理、人员控制，而对动物管理的需求则次之；欧洲人则主要关注

短距离动物识别以及工商业的应用,挪威于1987年建成了全球第一个商业化的公路电子收费系统,意大利、法国、西班牙和葡萄牙等国的高速公路,也相继安装了该系统。继挪威之后,美国铁路协会和集装箱管理合作计划委员会也积极推动RFID技术的应用,并于1989年在达拉斯北部公路投入商用。同时,纽约—新泽西港也开始在经过林肯隧道的公共汽车上商业运行RFID系统。RFID技术终于通过电子收费系统找到了实用化的立足点,并不断扩大了应用领域。

20世纪90年代电子收费系统的大规模应用可以看作是RFID技术发展中的重要里程碑。在这十年中还对电子收费系统提出了一些创新。1991年,世界上第一个开放的高速公路电子收费系统在美国俄克拉荷马州建立。在这条公路上,汽车可以高速通过收费点,而不需要设置升降栏杆阻挡以及照相机拍摄车牌,这使我们进入了不停车收费的时代。世界上最早的集成交通管理和收费的系统也于1992年在休斯顿投入使用。堪萨斯州收费公路首次安装了符合21号标准(Title 21 Standard,美国加州交通部制定的电子收费规范)的读写器,使其能够识别南部相邻的俄克拉荷马州车辆的电子标签信息。乔治亚州也迅速跟进,使用升级之后的读写器,不仅能够读取新的21号标准标签,还可以兼容以前使用的标签。可以说这两个电子收费系统的应用开创了多协议兼容的先河。欧洲的许多公司,如Microdesign、CGA、Alcatel、Bosch以及飞利浦的子公司Combitech、Baume和Tagmaster等也加入到了RFID的竞赛当中。这些公司还在欧洲标准化委员会(CEN)的组织下建立了统一的欧洲电子收费标准。同时,电子收费和铁路方面的RFID应用也在澳大利亚、中国、中国香港、菲律宾、阿根廷、巴西、墨西哥、加拿大、日本、马来西亚、新加坡、泰国、韩国、南非等国家和地区出现。

值得一提的是20世纪90年代中期,中国铁道部建设的铁路车号自动识别系统(ATIS)是使用RFID技术作为解决“货车自动抄车号”的最佳方案。ATIS的目标是在所有机车、货车上安装电子标签,在所有区段站、编组站、大型货运站和分界站安置地面识别设备(AEI),对运行的列车及车辆信息进行准确的识别。经计算机处理后为铁路管理信息系统(TMIS)等系统提供列车、车辆、集装箱实时追踪管理所需的准确的、实时的基础信息。此外,还可以为分界站货车的精确统计提供保证,为红外轴温探测系统提供车次、车号的准确信息,实现部、局、车站各级车的实时管理、车流的精确统计和实时调整等功能。在此基础上建立的铁路列车号码、标识、属性和位置等信息的计算机自动报告采集系统,实现了铁路车辆管理系统统计的实时化、自动化,成为亚洲RFID技术最成功的应用之一。

在这个时期,新技术的研究和开发继续深入并不断扩展了RFID的功能。肖特基二极管首次被集成在标准CMOS集成电路上,这使得电子标签的射频前端也能够集成于集成电路芯片上,解决了长期以来电感耦合和电磁反向散射收发机设计中的体积限制。IBM(该技术后被转让给Intermec)、Micron和Single Chip Systems等公司为此做出了巨大贡献。

进入21世纪,随着全球几家大型零售商WalMart、Metro、Tesco等为了提高供应链的透明度和效率,相继宣布了各自的RFID计划,并得到了供应商的支持。从此,RFID技术打开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器网络、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。

可以预见,随着数字化时代的到来,人们对网络信息化管理、移动计算、现代服务的需求将更加迫切,无所不在的RFID技术必将对人类的生产和生活方式产生深远的影响。

### 1.1.2 RFID 系统的组成

RFID 技术具有广泛的应用前景，RFID 设备的多样性也使应用系统架构的复杂程度大为提高，但 RFID 系统的基本组成却相对简单而且清晰。

最基本的 RFID 系统由以下几部分组成：

#### 1. 电子标签 (Tag)

电子标签由芯片和标签天线或线圈组成，通过电感耦合或电磁反向散射原理与读写器进行通信。标签中存储一个编码，类似于条形码，其地址空间足够为地球上每一颗沙砾分配一个唯一的编号。当标签进入读写器的作用区域后，可以根据通信协议从存储器中读/写信息，微控制器还可以进一步加入诸如密码或防碰撞算法等复杂功能。某些有源电子标签中还集成了 MEMS (微型机电系统) 传感器等扩展单元。电子标签内部结构如图 1-1 所示。

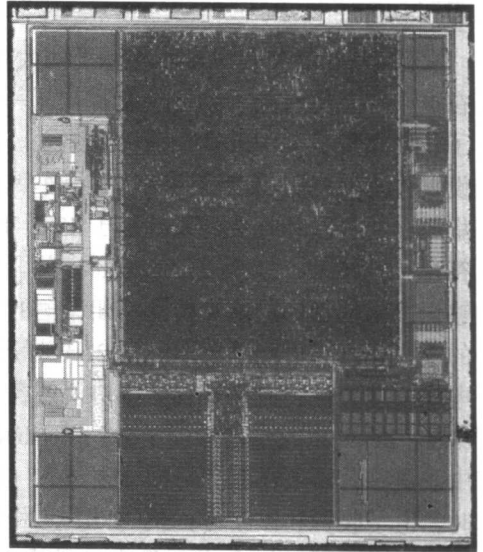


图 1-1 电子标签内部结构图

#### 2. 读写器 (Reader, Interrogator)

读写器是读/写标签信息的设备。作为数据收集的终端，读写器还需要与中间件进行数据交换。在很多读写器中微处理器集成了嵌入式系统，因此中间件的一部分功能，如信号状态控制、奇偶位错误校验与修正等功能已经可以由嵌入式系统在读写器中完成。读写器模块图如图 1-2 所示。

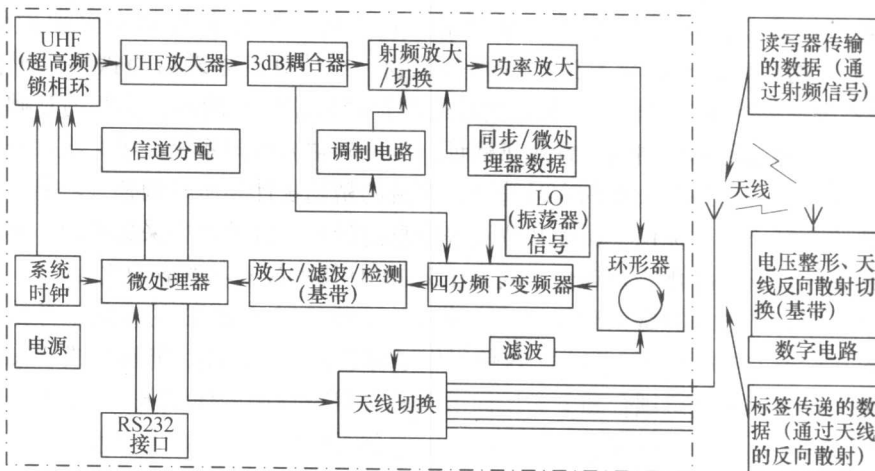


图 1-2 读写器模块图

#### 3. 天线 (Antenna)

天线是为标签和读写器提供射频信号空间传播的设备。它可以内置于读写器中，也可以通过同轴电缆与读写器天线接口相连。发射天线和接收天线从原理上说应该分离，但采用射

频模块收发分离技术可以使同一副天线完成发射和接收任务。在实际应用中，系统功率、天线的结构以及环境因素是影响系统识别距离的主要因素。

#### 4. 中间件 (Middle-ware)

中间件是连接 RFID 设备和企业应用程序的纽带，也是 RFID 应用系统的核心。中间件将基于不同平台、不同需求的应用环境与 RFID 物理设备连接起来，并提供合适的接口使之能够进行数据交换。

RFID 中间件体系架构如图 1-3 所示。

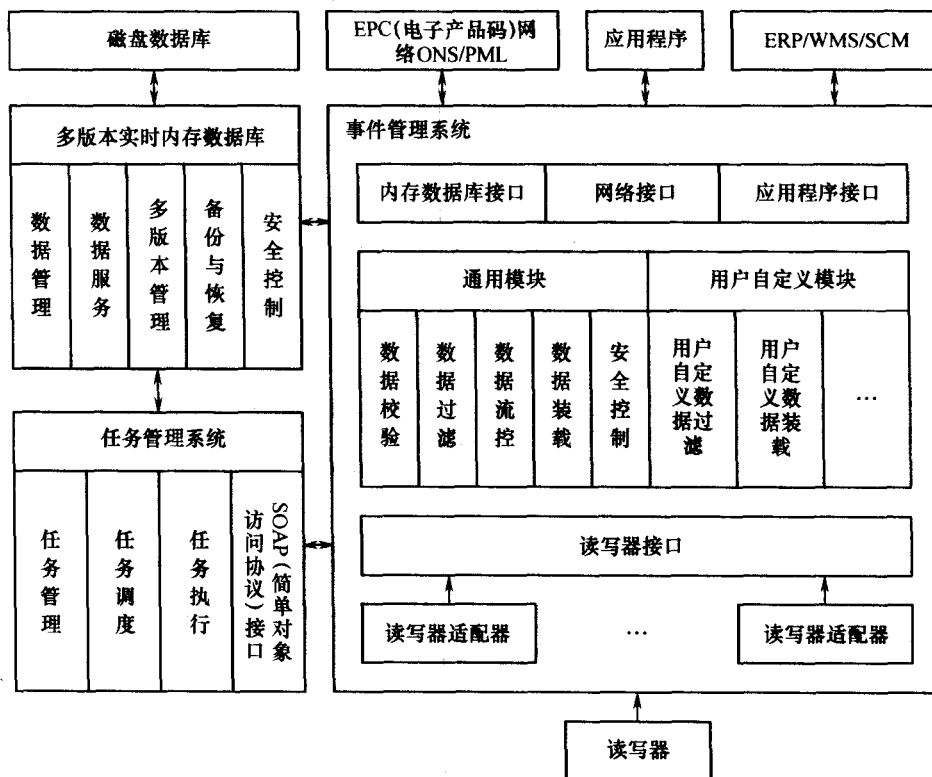


图 1-3 RFID 中间件体系架构

目前国外已经有少数软件公司推出了 RFID 中间件产品，大部分软件厂商都在进行开发或试验之中。而其中一些大公司的产品及其体系架构具有前瞻性，如表 1-1 所示。

表 1-1 国外系统集成和数据管理软件平台解决方案

国外厂商	功能层定义	功能描述
IBM	RFID Controller	连接（同步或异步连接） 软件实施（设备驱动、过滤、收集和动态加载软件） 安全（读写器的识别） 过滤（过滤重复读、不完全读、读错误相关信息）

(续)

国外厂商	功能层定义	功能描述
IBM	RFID Premises Server	支持 RFID Controller 的所有功能 向网络中连接的控制器传递命令与日期 是所有 RFID 相关数据的中央访问节点 提供对进程管理的有限支持 作为可被本地或远程访问的产品电子编码信息系统 (Information System, IS) 的网关, 使用 HTTP (超文本传输协议) 或数据库查找的方式
	RFID Integration Server	支持 Premises Server 的功能 提供过程集成
Microsoft	Layer 0	Devices: RFID 系统中的外围设备
	Layer 1	Data Collection and Management: 数据收集和管理层, 由基本的操作环境和解决方案体系的基础组成, 包括硬件、操作系统、网络和其他分布式实施基础组件
	Layer 2	Event Management: 有效处理底层所获取的实时数据, 提供多个设备和多方应用的集成结构, 并且与事件中的产品电子编码网络部件进行互操作
	Layer 3	Services: 提供应用程序接口 (Application Program Interface, API) 服务与 Web (网络) 服务
	Layer 4	Applications Solutions: 终端用户驱动业务流程
Sun	连接服务	保证读写器设备是在网络上被授权的, 可以和 RFID 事件与信息管理器、信息系统通信
	管理服务	提供动态监视与管理 RFID 网络中硬件和软件组件的功能
	控制与同步服务	协调在 RFID 网络中的设备与服务, 更新、配置或优化操作
	Provisioning	配置、更新设备与服务
SAP		SAP 公司 RFID 解决方案是以开放式的 SAP NetWeaver 技术平台为基础, 提供 SAP 公司业务信息仓库中的自动辨识基础架构、事件管理与事先配置的电子产品编码报告, 并可整合到以企业资源规划 (ERP) 为基础的供应链执行与资产管理流程中, 能够帮助用户将他们的 RFID 进行自动化作业, 并在后端系统逐步导入 RFID 业务流程

图 1-4 给出了 RFID 的系统组成。其基本工作流程是：读写器通过发射天线发送一定频率的射频信号，当电子标签进入发射天线工作区域时产生感应电流，电子标签获得能量被激活；电子标签将自身编码等信息通过卡内置发送天线发送出去；系统接收天线接收到从电子标签发送来的载波信号，经天线调节器传送到读写器，读写器对接收的信号进行解调和解码然后送到后台主系统进行相关处理；主系统根据逻辑运算判断该卡的合法性，针对不同的设定做出相应的处理和控制在，发出指令信号控制执行机构动作。

### 1.1.3 RFID 的分类方法

RFID 技术诞生至今，在使用频率、电子标签、读写器以及数据传输等方面都呈现出多



样化的趋势,很难找到一种方法来给全部的 RFID 系统进行分类。通常会这样定义某个产品:13.56MHz 无源 2KB 射频卡;符合 EPC Gen2 协议(第二代协议)的带有两个圆极化天线的固定式读写器。类似这样的说明实际上同时使用了多种分类方法来缩小特指的范畴。下面就对 RFID 的几种分类方法进行介绍。

### 1. 使用频率

不同的使用频率会在读写距离、数据传输速率和抗干扰性等参数上产生区别。可以说决定 RFID 系统主要性能和应用可行性的主要因素,首先在于该系统所用的无线电频率。由于频率不同,一些电子标签信号能穿透液体或金属,而另一些却被一堵薄薄的墙所阻挡。

(1) 读取距离。读取距离是指 RFID 标签和读写器能够进行有效通信的距离,它又可分为识读距离和写入距离。基于工作时的功率消耗,电子标签的识读距离往往比写入距离更远。根据频率特性,中高频段电子标签识读距离一般不超过 1m,而超高频标签和微波频段标签识读距离可达数米,且数据传输速率也更高。

(2) 信号频段:RFID 频段主要分为四个频段。

1) 低频(9~135kHz):使用这个频段的系统有一个缺点,识读距离只有几厘米。但是由于该频段的信号能穿透动物体内的高湿环境,因此被广泛应用于动物识别。

2) 高频(13.56MHz):这是一个开放频段,标签的识读距离最远为 1~1.5m,写入距离最远也可达 1m。在这个频段运行的标签绝大部分是无源的,依靠读写器供给能源。采用这个频段的 RFID 系统得到了许多 RFID 制造商的支持,如德州仪器、索尼和飞利浦等,有广泛的应用基础。我国的厂商也已具备该频段标签的设计和制造能力,并应用于居民第二代身份证、学生证铁路优惠卡等物品中。

3) 超高频(300MHz~1.2GHz):这个频段的标签和读写器在空气中的有效通信距离最远。这个频段的信号虽然不能穿透金属和湿气,但是数据传输速率更高,并可同时读取多个标签。860~960MHz 是 ISO(国际标准化组织)规定的无源超高频设备使用的频段,但是这个频段在各国均被分配为移动通信专用频段,很容易引起国家之间的频段冲突。

4) 微波(2.45~5.8GHz):这个频段的优势在于其受各种强电磁场(如电机、焊接系统等)的干扰较小,识别距离介于高频和超高频系统之间,而且标签可以设计得很小,但是成本较高。

(3) 读写器频率。读写器可以捕捉到单一频率或多种频率的电子标签。多频读写器设计中通常采用射频前端分立、数字后端共享的方法,用于识别多种频率或多种协议的标签。常见的多频读写器如 125kHz/2.45GHz、13.56MHz/915MHz 等。

(4) 标签的反射频率。当标签接收到读写器的无线信号后,根据通信协议的不同,反射的频率可以是读写器频率的次谐波(subharmonic),与读写器频率一致;可以是读写器频率的谐波或非谐波。了解标签的反射机制很重要,因为即使读写器本身不会造成对现有通信系

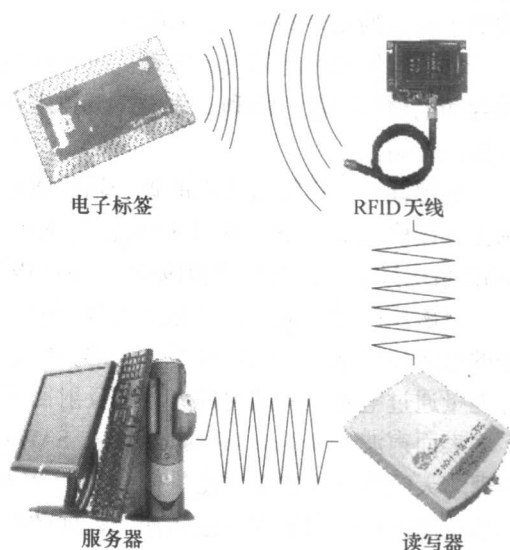


图 1-4 RFID 系统示意图