



刘禹关强 编著

RFID

系统测试与应用实务



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
<http://www.phei.com.cn>

RFID 系统测试与 应用实务

刘禹 关强 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书基于 RFID 应用系统部署的实际需求,对 RFID 系统测试技术进行了全面的介绍。主要包括 RFID 相关基础知识、标准化、空中接口协议详解、性能基准测试建模、性能基准测试方法学以及系统实施和测试优化,还包括 RFID 系统人体电磁生物效应分析、RFID 技术与物联网等内容。

本书不仅对 RFID 系统测试的理论架构进行了系统的分析,同时侧重于工程实践,结合大量测试方法与实践以及相关无线频谱分析图,对 RFID 技术系统开发及应用中普遍存在的设备选型与部署等问题进行了详尽的解答。

本书内容新颖丰富、翔实全面,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 行业技术人员阅读。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

RFID 系统测试与应用实务/刘禹,关强编著. — 北京:电子工业出版社,2010.11
ISBN 978-7-121-12035-0

I. ①R… II. ①刘… ②关… 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 203969 号

策划编辑:万子芬

责任编辑:窦 昊

印 刷:北京季蜂印刷有限公司

装 订:三河市鹏成印业有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:21.25 字数:544 千字

印 次:2010 年 11 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:46.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

近年来物联网被视为全球经济复苏的技术引擎，世界上很多国家都在投入巨资建设物联网环境。简单来说，物联网可分为感知层、传输层和应用层，而射频识别（RFID）技术即为物联网感知层的核心技术之一。事实上，RFID 作为一项新兴的自动识别技术，已在全球范围内广泛应用于生产制造和装配、航空行李处理、邮件/快运包裹处理、文档追踪/图书管理、身份标识、移动车辆的自动识别、运动计时、身份认证、智能交通、网络家电控制、门禁控制/电子门票、物流与供应链管理等众多领域，与人们的生产、生活息息相关。对 RFID 技术和 RFID 产品进行深入研究，不论对于国民经济发展还是对于国家安全都具有重要的意义。

物联网的实现前提之一是实现“普适环境下的信息获取”，而 RFID 标签就是一种普适计算的前端典型载体。在实际应用中，由于环境千差万别，系统的需求又不尽相同，RFID 产品性能也受到无源器件的功能限制，内部和外部因素共存，给 RFID 系统的应用部署和设备选型带来了挑战。RFID 测试技术是 RFID 应用的关键技术之一，为解决传统 RFID 应用部署中所遇到的可靠性、互操作性和一致性问题提供了重要的参考依据。通过研究 RFID 测试方法，进而实施相关的 RFID 系统测试例程，特别是 RFID 性能基准测试例程，不仅可以协助使用者分析 RFID 设备在实际应用中出现的主要问题和影响因素，还能够为设备选型和部署提供指导依据，为大规模推广应用提供技术参考。由此可见，RFID 测试技术作为 RFID 技术与产业链上的关键环节，对于提升 RFID 可靠性、推动 RFID 应用发展起到了重要作用。

正是基于上述理念，本书从分析环境因素和设备差异对 RFID 系统性能造成的影响出发，对 RFID 系统测试，特别是 RFID 性能基准测试进行详尽的介绍，以期使读者在 RFID 系统测试方面有一个清晰、全面的认识。

本书内容可分为三部分。

第一部分对 RFID 系统开发与应用中的一些概念和关键技术进行介绍，包括第 1 章对 RFID 系统的简要概述、第 2 章 RFID 系统电磁学与通信基本原理，以及第 3 章 RFID 标准化。

第二部分从第 4 章至第 8 章，主要对 RFID 系统测试进行介绍。对于 RFID 应用与开发而言，理解和掌握 RFID 系统的“语言”——空中接口协议具有重要的意义，同时协议一致性测试也是设备测试的基础。因此，第 4 章基于实时频谱分析仪的测试结果，利用大量的无线频谱图对 RFID 空中接口协议的关键要素进行详尽分析，希望能够使读者对 RFID 系统底层通信机制有一个直观感性的认识。第 5 章主要讨论 RFID 性能基准测试建模，即解决实际应用中“测什么”的问题，从射频理论和应用需求两个方面给出测试指标的选取方法，并利用 Petri 网建立 RFID 性能测试的形式化模型。第 6 章介绍 RFID 性能基准测试方法学，实际上就是要解决“怎么测”的问题，并公开多个 RFID 性能基准测试方法。第 7 章则讨论 RFID 性能基准测试系统的构建，即明确“用什么测”。在第 8 章中，进一步基于试验设计给出 RFID 性能测试优化方法，即“如何更快地测”。

第三部分为第 9 章和第 10 章，其中第 9 章针对大众普遍关心的 RFID 系统生物电磁辐射效应进行分析，而第 10 章则对 RFID 技术与物联网的联系以及物联网核心技术进行介绍。

本书以 RFID 空中接口协议的详细分析、系统性能基准测试方法与应用系统部署与设备选型为主线，以国家 863 课题“射频识别基础测试技术研究及测试系统的开发”（2006AA04A103）的研究成果为核心内容，并汇总了我们在工作中所收集和整理的各类数据和经验而成。本书将基础理论与实践经验相结合，不仅给出了 RFID 性能基准测试的基本性理论框架，也解答了开发和应用过程中遇到的涉及 RFID 底层通信及系统选型等方面的实际问题，同时书中首次公开的 RFID 性能测试方法也可作为 RFID 工程师和架构师的参考。

本书第 2 章与第 4 章由关强编写，其余各章均由刘禹编写。书中参考了中国科学院自动化研究所 RFID 实验室曾隽芳、倪晚成、任禾、梁慧、刘怀达、程虹、朱智源、赵健、李一斌、田利梅、王宏伟、蒋灵都、王云灵等人的研究报告。另外，在本书的编写过程中，还参考了不少专家学者的著作与学术论文，在此一并表示最诚挚的谢意！

限于作者的水平，书中难免会有不足与错误之处，恳请广大读者与专家批评指正。

作 者

2010 年 8 月于北京

目 录

第 1 章 RFID 技术概述	1
1.1 RFID 技术的发展历程	1
1.2 RFID 系统组成及工作原理	4
1.2.1 RFID 标签	5
1.2.2 读写器	5
1.2.3 天线	6
1.2.4 中间件	6
1.2.5 应用软件	6
1.2.6 RFID 系统工作原理	6
1.2.7 RFID 领域的关键技术	7
1.3 RFID 分类方法	8
1.3.1 根据使用频率进行分类	8
1.3.2 根据交互原理进行分类	11
1.3.3 RFID 标签分类	14
1.3.4 根据读写器和天线进行分类	14
1.3.5 根据安全算法进行分类	15
1.4 RFID 典型应用概述	15
1.5 RFID 基准测试	19
1.5.1 RFID 基准测试的分类	19
1.5.2 RFID 基准测试的挑战	20
1.5.3 RFID 基准测试的价值	22
1.6 小结	22
参考文献	23
第 2 章 RFID 技术基础	24
2.1 电磁波传播	24
2.1.1 电磁场基本定律和方程	24
2.1.2 电磁波的频谱	26
2.1.3 自由空间中的电波传播	28
2.2 编码、调制与多路复用	31
2.2.1 基带编码	31
2.2.2 数字调制技术	34

2.2.3 多路复用	38
2.3 反向散射	40
2.3.1 电磁波的散射	40
2.3.2 雷达基本原理	41
2.3.3 RFID 系统的反向散射调制	42
2.4 RFID 天线	44
2.4.1 天线基础	44
2.4.2 天线的特性参数	46
2.4.3 UHF 频段 RFID 天线的种类	50
2.5 小结	53
参考文献	53
第 3 章 RFID 标准与标准化	54
3.1 RFID 标准和标准化工作概述	54
3.1.1 标准的种类和层级	54
3.1.2 RFID 国际标准化机构	55
3.2 ISO 相关标准化工作概述	55
3.2.1 ISO 的 RFID 标准体系	55
3.2.2 空中接口通信协议标准	56
3.2.3 应用需求概要	57
3.2.4 数据内容标准	58
3.2.5 性能测试和一致性测试标准	58
3.2.6 实时定位系统	58
3.3 EPCglobal 相关标准化工作概述	59
3.3.1 EPCglobal 概述	59
3.3.2 EPCglobal 的 RFID 标准体系	61
3.3.3 EPCglobal 网络	63
3.3.4 EPCglobal 标准和接口介绍	64
3.4 我国 RFID 标准化工作	69
3.5 小结	70
参考文献	71
第 4 章 RFID 空中接口通信协议详解	72
4.1 ISO/IEC 18000-6C 空中接口通信协议	72
4.1.1 ISO/IEC 18000-6C 空中接口通信协议的基本要素	72
4.1.2 分析测试对象与方法	85
4.2 标签功能性测试	86
4.2.1 标签功能参考测试环境	86

4.2.2	标签频率范围	88
4.2.3	标签解调能力	94
4.2.4	标签占空比	96
4.2.5	标签导言信号	98
4.2.6	标签后向链路频率容限	101
4.2.7	标签后向链路时间参数 T1	103
4.2.8	标签后向链路(读写器前向链路)时间参数 T2	105
4.3	读写器功能性测试	108
4.3.1	读写器功能参考测试环境	108
4.3.2	读写器数据编码	110
4.3.3	读写器 RF 包络	111
4.3.4	读写器导言信号	112
4.3.5	读写器上电与下电波形	114
4.3.6	读写器时间参数 T3	115
4.3.7	读写器时间参数 T4	118
4.4	ISO/IEC 18000-6C 协议访问流程测试分析	120
4.4.1	测试部署与方法	121
4.4.2	测试结果分析	121
4.5	小结	128
	参考文献	128

第 5 章 RFID 性能基准测试建模 129

5.1	RFID 性能基准测试	129
5.2	基于无线射频原理的 RFID 性能评价标准	130
5.2.1	前向链路的激活	131
5.2.2	后向链路的解调	131
5.2.3	并发链路的可靠性	132
5.2.4	时序调度的效率	132
5.3	基于应用效果的 RFID 性能评价标准	132
5.3.1	识别范围	133
5.3.2	识读率	136
5.3.3	RFID 标签反向散射强度	137
5.4	基于 Petri 网的 RFID 自动测试系统建模	138
5.4.1	Petri 网的基本定义	139
5.4.2	结合 RFID 基准测试特点的 Petri 网	141
5.4.3	Petri 网建模分析举例	144
5.5	小结	147
	参考文献	148

第 6 章 RFID 性能基准测试方法学研究	150
6.1 基准测试研究的三个阶段	150
6.2 测试方法学的研究内容	152
6.3 RFID 基准测试系统结构	154
6.4 RFID 基准测试系统设计	155
6.5 RFID 标签基准测试需求分析	160
6.6 读写器基准测试需求分析	165
6.7 天线基准测试需求分析	170
6.8 RFID 系统性能基准组合测试	172
6.9 小结	175
参考文献	176
第 7 章 RFID 性能基准测试系统规划与实施	177
7.1 RFID 基本测试环境	177
7.2 RFID 基准测试仪器	183
7.2.1 频谱分析仪	183
7.2.2 矢量信号发生器	185
7.2.3 标准读写器信令单元	187
7.3 RFID 基准测试工具	189
7.3.1 一维直线导轨	189
7.3.2 天线转台	190
7.3.3 基准测试龙门架 (α Gate)	190
7.3.4 测试辅助器件	191
7.4 RFID 基准测试软件设计	193
7.4.1 架构设计	193
7.4.2 基准测试中间件设计	195
7.4.3 数据库设计	198
7.5 RFID 性能基准测试的实施	201
7.5.1 RFID 标签响应频率测试	201
7.5.2 RFID 标签介质影响测试	204
7.5.3 RFID 标签排列密度测试	207
7.5.4 RFID 标签天线一致性测试	211
7.5.5 RFID 标签芯片稳定性测试	214
7.5.6 RFID 标签芯片功耗测试	217
7.5.7 读写器频谱表现测试	220
7.5.8 读写器接收灵敏度测试	221
7.5.9 读写器防碰撞能力测试	223
7.5.10 读写器抗邻道干扰测试	227

7.5.11	天线能量分布测试	230
7.5.12	天线频带增益测试	233
7.6	小结	235
	参考文献	237
第 8 章	RFID 基准测试优化设计	239
8.1	RFID 基准测试的试验策略	240
8.1.1	输入/输出模型的刻画	240
8.1.2	RFID 基准测试的三种试验策略	241
8.1.3	试验设计的三个基本原则	241
8.2	基准测试的误差分析	241
8.2.1	误差的基本概念	242
8.2.2	测试数据误差的统计检验	243
8.3	测试结果的影响显著性分析	245
8.3.1	单因子方差分析	245
8.3.2	双因子方差分析	246
8.4	基准测试的正交试验设计	248
8.4.1	正交试验设计概述	248
8.4.2	RFID 组合测试正交试验设计举例	250
8.5	基准测试的响应面分析法	256
8.5.1	响应面设计方法	257
8.5.2	基于响应面分析的龙门架快速部署测试	258
8.6	小结	266
	参考文献	267
第 9 章	RFID 人体电磁生物效应分析	268
9.1	生物电磁学的理论基础	268
9.1.1	生物体电磁特性	268
9.1.2	射频和微波电磁场对人体健康的影响	269
9.1.3	射频电磁场的安全标准	271
9.2	电磁生物效应的常用研究方法	272
9.2.1	有限元法 (FEM)	273
9.2.2	矩量法 (MoM)	273
9.2.3	时域有限差分法 (FDTD)	274
9.3	RFID 系统的电磁生物效应建模	275
9.3.1	RFID 系统的比吸收率计算方法	275
9.3.2	RFID 系统人体生物电磁计算结果	277
9.4	小结	280

参考文献	280
第 10 章 构建物联网新世界	281
10.1 物联网概念	281
10.1.1 物联网的初级探索	281
10.1.2 物联网应用架构	284
10.1.3 物联网的感知能力	285
10.2 物联网核心技术	286
10.2.1 CPS: 增强型感知终端	286
10.2.2 数据发现: 数据的共享与追溯机制	288
10.2.3 公共服务平台: 行业级数据管理与聚合中心	293
10.3 物联网典型应用	298
10.4 小结	304
参考文献	304
附录 A ISO SC-31 的相关标准	305
A.1 ISO SC-31 正式执行的标准	305
A.2 ISO SC-31 正在制定的标准	311
A.3 ISO SC-31 已经取消的标准	316
附录 B RFID 基础技术专利	319

第 1 章 RFID 技术概述

射频识别 (Radio Frequency Identification, RFID) 技术起源于第二次世界大战中的敌我识别系统, 是一种基于无线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, 利用无线射频信号及其空间耦合和传输特性, 驱动 RFID 标签电路发射其存储的唯一编码, 可以对静止或移动目标进行自动识别, 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。

1.1 RFID 技术的发展历程

回顾 RFID 技术的发展史, 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, 但当时的应用方式仅仅是一种加密的 ID 号而已。随后的三十年间随着晶体管、集成电路、微处理器、通信网络等技术相继取得突破, 在商场和超市中使用电子防盗器 (Electronic Article Surveillance, EAS) 来对付窃贼成为 RFID 技术首个世界范围的商用模式。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焕发生机。美国人的兴趣主要在交通管理、人员控制, 对动物管理的需求次之; 而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 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。美国铁路协会和集装箱管理合作计划委员会积极推动 RFID 技术的应用, RFID 电子收费系统的测试持续了数年, 继挪威之后于 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实用化的立足点, 并不断扩大应用领域。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) 以 RFID 技术作为解决“货车自动抄车号”的最佳方案, 从而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、实时的基础信息, 成为亚洲 RFID 技术最成功的应用之一。进入 21 世纪, 几家跨国大型零售商 WalMart、Metro、Tesco 等相继宣布了各自的 RFID 计划, 以提高供应链的透明度和效率, 并得到供应商的支持。从此, RFID 技术打开了一个新的巨大市场。时至今日, RFID 技术已经在生产制造和装配、航空行李处理、邮件/快运包裹处理、文档追踪/图书管理、身份标识、移动车辆的自动识别、运动计时、身份认证、智能交通、网络家电控制、门禁控制/电子门票、物流与供应链管理等领域被广泛使用。其中, 近距离 RFID 系统主要使用 125 kHz、13.56 MHz 等低频 (LF) 和高频 (HF) 频段, 技术最为成熟; 远距离 RFID 系统主要使用 433 MHz、860 MHz~960 MHz 等超高频 (UHF) 频段, 以及 2.45 GHz、5.8 GHz 等微波频段。而在中国, 除了前面提到的铁路车号自动识别系统之外, 主要应用在近距离 125 kHz 和 13.56 MHz 等频段的非接触 IC 卡方面, 特别是第二代公民



身份证、学生证铁路优惠卡、2008 年北京奥运以及 2010 年上海世博门票等量大面广的应用领域，也带动了相关产业的迅速发展。

RFID 技术的诸多特点决定了其应用领域具有广泛性，但是其各项核心技术的成熟度不同又决定了其应用必是分阶段实现的。20 世纪 70 年代兴起的不停车收费技术是基于管理部门提高服务水平要求的结果，而 RFID 标签的体积和成本则不是主要的考虑内容。随后出现的电子防盗系统关注的是可靠性和成本，尽管功能相对简单，但仍取得了商业上的成功。进入 21 世纪，一方面大规模集成电路设计技术取得了突飞猛进的发展，另一方面企业出于提高自身竞争力的考虑，主动寻找新的技术提高管理和流通效率，成本越来越低的 RFID 标签可以方便地粘贴于商品的包装上，并取代条码成为供应链管理增值的重要手段。此外生物特征识别（biometrics）技术、微电子机械系统（MEMS）技术的兴起，也促成了一些集成多种功能的 RFID 应用，比如集成指纹、虹膜等身份信息的机器可读旅行证件（Machine Readable Traveling Document, MRTD，又称电子护照），或集成微传感器的 RFID 标签传感器等。基于下一代移动通信技术与互联网技术的不断成熟，对物品进行精确管理的涉及公共安全方面的需求也在不断产生，如高价值资产管理、危险品跟踪、食品安全追溯等。特别是 RFID 技术与卫星定位及移动通信技术具有很强的互补性，未来组成的无线传感网可以应用于室内定位和未知环境探测等方面。

RFID 技术一方面在不断拓展应用领域的广度，另一方面也在拓展着深度。例如在制造业中，RFID 技术就正在进入制造过程的核心，在信息管理、制造执行、质量控制、标准符合性、跟踪和追溯、资产管理，以及仓储量可视化等方面发挥着越来越大的作用。通过在工厂车间层逐步采用 RFID 技术，制造商可以无缝且不间断地获取从 RFID 捕获的信息并链接到现有的信息系统基础结构中，无须更新已有的制造执行系统（MES）和制造信息系统（MIS），就可以获得准确、可靠的实时生产过程信息，从而提高企业的生产率和市场竞争力。企业在部署 RFID 应用时，可以充分利用已经存在的各种工业基础设施。特别在流程管理中，使用 RFID 标签不仅可以作为产品的身份标识，而且还可以在相应的硬件及软件支持下，实现产品类型信息与实时控制决策之间的高效集成。使用 RFID 标签作为产品身份信息的载体，其优势包括以下五个方面：

（1）数据可视性。在生产实时监控、物料配送及质量检测等很多方面，RFID 标签都有助于信息系统实现更高的数据可视性。例如，在现代化的生产线上，产品的质量检测是由分布在若干处的一些检测岗位来完成的。在生产结束、产品验收之前必须能用该产品所有先前收集到的数据明确地表达其质量。利用 RFID 标签作为产品身份信息载体可以很方便地做到这一点，因为在整个生产过程中所取得的质量数据可以与产品同步到达检测点。

（2）实时性。在生产信息同步、现场设备控制和调度方面，使用 RFID 标签都可以更加准确、高效地控制产品的生产。例如，对于通用可编程的机器人和生产设备的设置数据，可以在预处理阶段写入到那些随着物料运行的 RFID 标签载体中，并且在需用的工位读取和使用这些设置数据。利用这种技术可以生产小批量的产品，而不必通过中央服务器来与每个产品进行复杂的通信来交换信息。

（3）安全性。将产品生产数据的调用从上层服务器端转移到物料上将大大提高系统的安全性。即使出现了软件崩溃或中央服务器的瘫痪，一个产品和它当前的数据之间的



关系也随时能够建立起来。如果需要,系统恢复后还可以将生产过程信息重新从 RFID 标签中取出,而不会丢失数据。

(4) 环境适应性。RFID 标签经过合适的封装后,可在灰尘、潮湿、油污、冷却剂、粉屑、有害气体、高温等恶劣的生产环境中工作。玻璃或塑料标签通常满足 IP67 保护类型的要求,即防尘和防水。传统光学扫描镜头在尘土特别多的条件下,很快就会受到污染而无法正确读取形码,RFID 标签在这些场合下却可以胜任。

(5) 向产品全生命周期管理延伸的潜力。一方面,通过 RFID 标签统计得到的产品生产信息和产品质量信息较之以往的人工记录或条码等手段更加准确,不仅可以根据每个工序所用的时间对生产线的流程进行优化和实时调度,还可以将出现故障的情况进行汇总,反馈给设计部门进行改进。另一方面,如果产品身份信息在产品下线后仍然保留,那么还可以继续在产品的仓储、运输、销售乃至售后服务等环节发挥作用,为企业创造更大的价值。

RFID 设备作为前端数据采集系统可以被看做供应链管理中的末端神经元,通过业务信息系统接口与企业原有基础设施,如 MES、SCM、BI、ERP 等进行数据交换。图 1-1 简要分析了 RFID 信息集成系统在制造信息系统和控制环境中的应用层次。RFID 信息集成系统的核心价值在于提高企业订单的执行效率,以及通过对产品类型信息的判断实现对操作流程和生产线设备的实时控制。同时,由于当前的工业级数据库系统对于存储大量实时信息已经变得更加可靠和方便,因此可以采集更加完整、准确、实时的信息反馈给上层的调度/优化系统以及订单规划系统,实现订单的在线调度/优化和物料的有效控制。基于产品型号数据库的支持,当前产品的 RFID 信息还可以直接为生产线最前端的设备和仪器提供控制策略,实现更高程度的自动化操作。

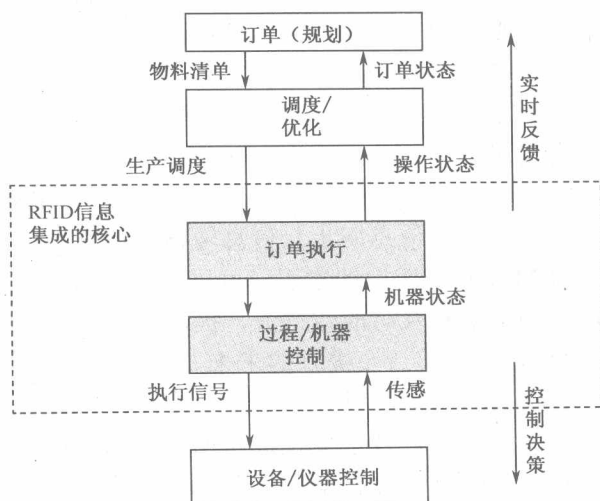


图 1-1 RFID 信息集成在制造信息控制系统和控制环境中的应用层次

在实时控制系统和 MES 领域中大量的功能实现可以直接从产品身份信息中获益,这些产品身份信息是为了更好地做出控制决策而在生产线上设定的。产品身份信息为整个企业的信息流管理提供了反馈,从而提升了制造业流程管理的效率和管理手段,其价值可以体现在以下四个方面:



(1) 产品跟踪和追溯。产品跟踪和追溯是产品身份信息最相关也是最紧迫的应用需求。产品跟踪功能提供了生产线在线流程管理的可视化功能,可以在任何时候报告任意产品当前的加工状态,实现更加透明和准确的在制品(Work-In-Process, WIP)管理,比如哪台机器在什么时间加工了哪些在制品,某个在制品正在进行的工序是什么,这种在制品都需要进行哪些工序,操作流程怎样,加工它们还需要哪些物料,谁能提供这些物料。产品追溯功能则提供了出现质量问题后的责任认定,对某一型号产品的长期追溯还可以为产品设计提供有价值的反馈意见。

(2) 数据自动读取和写入。信息采集的可靠性是流程管理实现信息化、自动化的主要前提。想要通过在线设备实时采集、处理在制品的信息和响应在制品的需求,就必须实现信息的自动读取和写入。特别是信息的写入功能,它可以使系统在网络连接不畅的情况下,仍能顺利地存储和提取在制品的产品生产信息,包括产品身份、型号、操作流程、配件,并为具有优先级的产品或者订单提供级别更高的过程监控和质量追溯功能,还能在网络连接恢复之后更新数据库信息,保证后台信息系统的数据可靠性。虽然可视化的信息更利于人工读取,但是在生产自动化程度越来越高的今天,远距离、非视距、大容量的电子信息存储装置可以更好地帮助操作者完成这一任务。

(3) 物料配送、分发和装配。物料配送是指将物料从预生产或仓储地点运输到生产线工位。产品之间具有不同的聚合或者是包含关系,例如对于大规模运输,多种产品类型可能具有相同的路径或运输机制,此时,在每个产品处理步骤就需要切换产品运输路径。另外,较为重要的产品(马上到期或高存储成本的产品)应该以较高的优先级配送。物料分发是指在离散制造中,当某个工序由于加工复杂程度成为过程瓶颈时,可以在瓶颈工序设立若干条子生产线,并在自生产线之间分派加工物料。而在物料装配方面,产品身份信息中所包含的产品型号也可将该产品的装配操作规范、所需零件型号等信息向操作者进行提示,实现更强的控制功能。

(4) 过程控制管理。就处理顺序而言,不同类型产品的集成(或分解)、打包、装盘,以及中间存储可能有很多不同的处理方法,如产品的混合打包就是产品身份信息的一个重要应用。在自动化、半导体和电子行业中,由于多数产品都需要由不同的组件集成,或是组件的分离,因此在生产信息同步、信息转移和信息绑定等方面都有着较高的需求。产品身份信息作为 MIS 数据库中的索引,可以在工序内、工序间,以及生产线和上层信息系统之间提供更加准确和及时的数据流,提高企业的生产效率。

RFID 技术及其产业正在展现出一个美好的未来。2006 年 6 月 9 日和 2009 年 11 月 3 日,由中国多个部委联合发布的《中国射频识别技术政策白皮书》和《中国射频识别技术发展与应用报告》,不仅为中国 RFID 产业发展指明了方向,也全面带动了全国范围内 RFID 应用的发展。特别是 2009 年 8 月温家宝总理提出建立“感知中国”中心,推进物联网发展,实现流通现代化的目标后,RFID 应用的全面推进更是指日可待。

1.2 RFID 系统组成及工作原理

作为物联网的核心技术之一,RFID 技术的应用领域非常广泛。由于不同领域的应用需求不同,造成了目前多种标准和协议的 RFID 设备共存的局面,这就使得应用系统



架构的复杂程度大为提高。但是就基本的 RFID 系统来说,其组成相对简单而清晰,主要包括 RFID 标签、读写器、天线、中间件和应用软件等五部分。

1.2.1 RFID 标签

RFID 标签俗称电子标签,也称应答器 (tag, transponder, responder),根据工作方式可分为主动式 (有源) 和被动式 (无源) 两大类。由于被动式 RFID 系统是目前研究的重点,如无特别说明,本书以后章节中出现的 RFID 标签均指被动式 RFID 标签及系统。被动式 RFID 标签由标签芯片和标签天线或线圈组成,利用电感耦合或电磁反向散射耦合原理实现与读写器之间的通信。RFID 标签中存储一个唯一编码,通常为 64 bit、96 bit 甚至更高,其地址空间大大高于条码所能提供的空间,因此可以实现单品级的物品编码。当 RFID 标签进入读写器的作用区域,就可以根据电感耦合原理 (近场作用范围内) 或电磁反向散射耦合原理 (远场作用范围内) 在标签天线两端产生感应电势差,并在标签芯片通路中形成微弱电流,如果这个电流强度超过一个阈值,就将激活 RFID 标签芯片,电路工作,从而对标签芯片中的存储器进行读/写操作,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。图 1-2 是一款 RFID 标签芯片的内部结构图,主要包括射频前端、模拟前端、数字基带处理单元和 EEPROM 存储单元四部分。

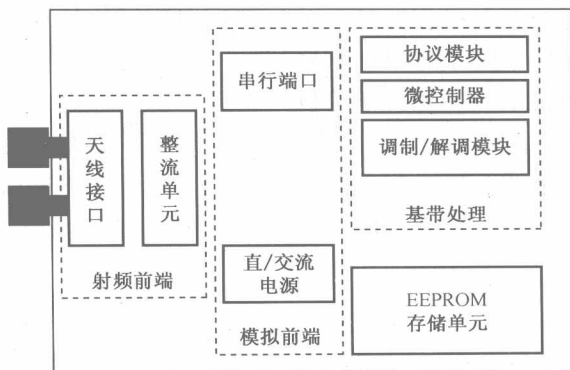


图 1-2 RFID 标签芯片的内部结构示意图

1.2.2 读写器

读写器也称阅读器 (reader)、询问器 (interrogator),是对 RFID 标签进行读/写操作的设备,主要包括射频模块和数字信号处理单元两部分。读写器是 RFID 系统中最重要基础设施,一方面,RFID 标签返回的微弱电磁信号通过天线进入读写器的射频模块中并转换为数字信号,再经过读写器的数字信号处理单元对其进行必要的加工整形,最后从中解调出返回的信息,完成对 RFID 标签的识别或读/写操作;另一方面,上层中间件及应用软件与读写器进行交互,实现操作指令的执行和数据汇总上传。在上传数据时,读写器会对 RFID 标签原子事件进行去重过滤或简单的条件过滤,将其加工为读写器事件后再上传,以减少与中间件及应用软件之间数据交换的流量,因此在很多读写器中还集成了微处理器和嵌入式系统,实现一部分中间件的功能,如信号状态控制、奇偶位错误校验与修正等。未来的读写器呈现出智能化、小型化和集成化趋势,还将具备更加强



大的前端控制功能，例如直接与工业现场的其他设备进行交互甚至是作为控制器进行在线调度。在物联网中，读写器将成为同时具有通信、控制和计算（communication, control, computing）功能的 C3 核心设备。

1.2.3 天线

天线（antenna）是 RFID 标签和读写器之间实现射频信号空间传播和建立无线通信连接的设备。RFID 系统中包括两类天线，一类是 RFID 标签上的天线，由于它已经和 RFID 标签集成为一体，因此不再单独讨论，另一类是读写器天线，既可以内置于读写器中，也可以通过同轴电缆与读写器的射频输出端口相连。目前的天线产品多采用收/发分离技术来实现发射和接收功能的集成。天线在 RFID 系统中的重要性往往被人们忽视，在实际应用中，天线设计参数是影响 RFID 系统识别范围的主要因素。高性能的天线不仅要求具有良好的阻抗匹配特性，还需要根据应用环境的特点对方向特性、极化特性和频率特性等进行专门设计。

1.2.4 中间件

中间件（middleware）是一种面向消息的、可以接收应用软件端发出的请求、对指定的一个或者多个读写器发起操作并接收、处理后向应用软件返回结果数据的特殊化软件。中间件在 RFID 应用中除了可以屏蔽底层硬件带来的多种业务场景、硬件接口、适用标准造成的可靠性和稳定性问题，还可以为上层应用软件提供多层、分布式、异构的信息环境下业务信息和管理信息的协同。中间件的内存数据库还可以根据一个或多个读写器的读写器事件进行过滤、聚合和计算，抽象出对应用软件有意义的业务逻辑信息构成业务事件，以满足来自多个客户端的检索、发布/订阅和控制请求。

1.2.5 应用软件

应用软件（application software）是直接面向 RFID 应用最终用户的人机交互界面，协助使用者完成对读写器的指令操作以及对中间件的逻辑设置，逐级将 RFID 原子事件转化为使用者可以理解的业务事件，并使用可视化界面进行展示。由于应用软件需要根据不同应用领域的不同企业进行专门制定，因此很难具有通用性。从应用评价标准来说，使用者在应用软件端的用户体验是判断一个 RFID 应用案例成功与否的决定性因素之一。

1.2.6 RFID 系统工作原理

图 1-3 给出了 RFID 系统的基本工作原理。使用者希望获得经过某个位置的 RFID 标签列表，即在应用软件端向与该位置相关的逻辑读写器 ID 发出识读 RFID 标签指令。该指令传送到中间件层后，将逻辑读写器 ID 转换为映射表中的物理读写器 ID，并按照该物理读写器的通信协议向其发出指令。读写器接收到该指令后，通过天线散射一定频率的射频信号，当 RFID 标签进入天线工作区域时产生感应电流，RFID 标签获得能量被激活。处于激活状态的 RFID 标签将返回应答信号（RFID 标签原子事件）。天线接收到从 RFID 标签发送来的载波信号后传送到读写器，读写器进行解调和过滤后将 RFID 标签 ID 信息（读写器事件）返回给中间件。中间件首先将来自不同物理读写器的信息格式进行