

射频识别技术

(第3版)

RFID-Handbuch

Grundlagen und praktische Anwendungen
induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten

* 感应式无线电设备 * 应答器 * 非接触式IC卡

[德] Klaus Finkenzeller 著

吴晓峰 陈大才 译

RFID

3., aktualisierte
und erweiterte Auflage



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

射 频 识 别 技 术

(第 3 版)

RFID-Handbuch

Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen,

Transponder und kontaktloser Chipkarten

3.,aktualisierte und erweiterte Auflage

[德] Klaus Finkenzeller 著

吴晓峰 陈大才 译

電 子 工 業 出 版 社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是由德国 Carl Hanser 出版社出版的面向实际应用的专业性射频识别技术的书籍。本书主要介绍射频识别技术的工作原理、射频识别 (RFID) 系统的特征、射频识别系统的物理基础、国际标准与规范、编码和调制、数据的完整性与安全性、阅读器与应答器的结构和制造; 本书列举了订票、公交、安检、商业、图书馆、体育比赛、动物识别、工业自动化等方面的应用示例。

本书作为一本注重实际应用的专业性技术参考书, 不仅适用于从事射频识别技术的工程技术人员和有关专业的大专院校师生, 同时也适用于复合型的现代企业管理人员。

Copyright © 2002

Carl Hanser Verlag, Munich/FRG

All Rights reserved.

Authorized translation from the original German language edition published by Carl Hanser, Munich/FRG.

本书中文简体版专有出版权由 Carl Hanser Verlag 授予电子工业出版社, 未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权贸易合同登记号: 图字: 01-2005-3111

图书在版编目(CIP)数据

射频识别技术: 第3版/(德) 芬肯才勒(Finkenzeller, K.) 著; 吴晓峰, 陈大才译. —北京: 电子工业出版社, 2006.10
书名原文: RFID-Handbuch

ISBN 7-121-02917-0

I. 射… II. ①芬… ②吴… III. 射频—无线电信号—信号识别 IV. TN911.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 082386 号

责任编辑: 龚立堇

印 刷: 北京天宇星印刷厂

装 订: 三河市皇庄路通装订厂

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: 22.5 字数: 566.4 千字

印 次: 2006 年 10 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 39.00 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, 联系电话: (010) 68279077; 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。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应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，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

译者序

近年来,自动识别技术已经逐步发展成为一门独立的跨学科的专业技术。它与任何传统学科都不同,是将诸多专业领域的技术综合到一起:如:射频技术、电磁兼容性、半导体技术、数据保护、密码学、通信技术、制造技术和其他应用技术等。尤其是随着电子技术的迅猛发展和制造技术水平的不断提高,采用无线电和雷达技术实现的射频识别(RFID)技术的发展非常迅速,正在诸如货物采购与分配、商业贸易、生产制造、防盗技术、识别技术和医学应用等领域中,得到广泛地普及和应用。

此外,射频IC卡在国内已广泛应用于公交、地铁等公用事业的收费系统;同时具有接触通信和射频通信功能的双界面CPU卡也越来越受到人们关注。大连公交一卡通是世界上首次大规模商业应用双界面CPU卡作为公共交通收费卡的一个成功案例,随后粤通高速收费系统、苏州城市一卡通等也采用了双界面CPU卡。

自动识别技术和应用发展迅猛,但比较全面的专业书籍目前还比较少,难以满足广大技术人员和管理人员了解和学习自动识别技术的需要。

本书是由德国 Carl Hanser 出版社出版的面向实际应用的专业性射频识别技术的书籍,共有 14 章,涉及射频识别技术的工作原理、射频识别(RFID)系统的特征、射频识别系统的物理基础、国际标准与规范、编码和调制、数据的完整性与安全性、阅读器与应答器的结构和制造以及各类应用示例等方面的内容。同时,特别值得一提的是,本书作者为再版这本书很辛苦和很费时地将“零散”的最新有关论文信息收集、整理到一起,使得其内容更加系统和充实。本书作为一本注重实际应用的专业性技术参考书,不仅适用于从事射频识别技术的工程技术人员和大学生,同时也适用于复合型的现代企业管理人员。

笔者在拿到本书德文版(第3版)之初,即深感由于 RFID 技术发展历史较短,国内尚缺少此类较为系统地描述 RFID 技术的书籍,本书中文译本第2版由电子工业出版社于2001年出版,此次中文译本第3版的出版将在一定程度上填补我国关于 RFID 最新文献方面的空白。笔者有幸受邀翻译此书,也争取为我国射频识别技术的发展略尽绵薄之力。

本书内容因专业技术性强,涉及专业领域较广,如有错漏之处,衷心希望得到大家的批评指正。

译者

2005年12月12日

第 3 版前言

这本书是面向广大读者的。首先，它是面向那些第一次接触射频识别技术的大学生和工程技术人员，给他们提供了关于射频识别技术的作用原理、物理和数据处理方面的基础知识。除此之外，这本书也是面向那些有实际工作经验的专业人员的。他们作为应用者希望和必须尽可能全面而集中地了解到各种射频识别技术、法定的边界条件，以及应用的可能性。

虽然针对这个题目已有大量的单篇论文发表，但是，正如为编写这本书对最新进展进行调查研究所证实的那样，当要将这些“分散”的信息收集到一起时，的确是一件很辛苦和费时费力的事情。因此，本书也算是填补了关于射频识别系统参考文献方面的一个空白。在这一技术领域中，对技术基础文献到底有多大的实际需求，可以通过一个令人高兴的事实来证明：本书已翻译成英文、中文和日文出版发行^①。

本书使用了大量的图表，对射频识别技术作了最直观的描述。本书的一个特殊重点是描述了射频识别技术的物理基础，并在此基础上形成了内容丰富的其他章节。本书的特殊价值还在于联系实际。在“应用实例”一章中包含有大量、多方面的应用实例。

射频识别技术的发展非常迅速，本书仅能够作为该技术的基础，要在产品、标准和规范等方面动态地反映其最新的进展还是不够的。因此，在此我对各界，特别是来自工业界的提示和建议，表示衷心地感谢。我相信本书的基本知识和物理基础是理解现实发展的良好前提。

遗憾的是，在第 3 版中将“市场概览”一章删去，这是因为生产厂家不断增加、应答器产品日趋繁多，很难给出一个相对稳定的市场概况。在第 3 版中，详细地补充了关于 UHF 和微波系统（参见 4.2 节“电磁波”）方面的物理基础，它对应于 868 MHz 频率范围，将会在欧洲越来越重要。另外，在“标准化”一章中补充了在这一领域中的最新进展。

在这里，我还要对为本书获得成功而友好地提供大量技术数据、报告原稿和照片的公司表示诚挚的感谢。

Klaus Finkenzeller
2002 年夏于慕尼黑

^① 关于本书的出版发行和翻译方面的信息，可登录以下网页查阅：<http://RFID-handbook.com>。

本书采用的缩写

μP	Microprocessor 微处理器
μs	Microsecond (10^{-6} seconds) 微秒 (10^{-6} 秒)
ABS	Acrylnitrilbutadienstyrol 丙烯腈丁二烯苯乙烯
ACM	Access Configuration Matrix 存取配置矩阵
AFC	Automatic Fare Collection 自动收费 (电子车票)
AFI	Application Family Identifier (see ISO 14443-3) 标识符的应用系列 (参见 ISO 14443-3)
AI	Application Identifier 应用标识符
AM	Amplitude Modulation 幅度调制
APDU	Application Data Unit 应用数据单元
ASCII	American Standard Code for Information Interchange 美国信息交换标准代码
ASIC	Application Specific Integrated Circuit 专用集成电路
ASK	Amplitude Shift Keying 振幅键控
ATR	Answer to Reset 复位应答
ATQ	Answer to Request (ATQA, ATQB: see ISO 14443-3) 对请求的应答 (ATQA, ATQB: 参见 ISO 14443-3)

AVI	Automatic Vehicle Identification (for Railways) 自动车辆识别 (铁路)
BAPT	Bundesamt für Post und Telekommunikation 联邦邮政电信局
Bd	Baud, transmission speed in bit/s 波特, 传输速度 (比特/秒)
BGT	Block Guard Time (数据)块保护时间
BMFB	Bundesministerium für Bildung und Forschung (Ministry for Education and Research, was BMFT) 联邦教育和科研部 (以前的 BMFT; 联邦科研和技术部)
BP	Bandpass filter 带通 (滤波器)
C	Capacitance (of a capacitor) 电容 (电容器的容量)
CCG	Centrale für Coorganisation GmbH (central allocation point for EAN codes in Germany) 德国的欧洲商品条形码的分配中心
CCITT	Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique 国际电话、电报咨询委员会
CEN	Comité Européen de Normalisation 欧洲标准委员会
CEPT	Conférence Européenne des Postes et Télécommunications 欧洲邮政、电信会议
CICC	Close Coupling Integrated Circuit Chip Card 紧耦合集成电路芯片卡
CIU	Contactless Interface Unit (transmission/receiving module for contactless microprocessor interfaces) 非接触式接口单元 (用于非接触式微处理器接口的发射/接收器件)
CLK	Clock (timing signal) 时钟脉冲 (时钟信号)
CRC	Cyclic Redundancy Checksum 循环冗余码校验
dBm	Logarithmic measure of power, related to 1 mW HF-power (0 dBm = 1 mW, 30 dBm = 1 W) 对数功率计量单位, 与 1mW 高频功率有关 (0 dBm = 1 mW, 30 dBm = 1 W)
DBP	Differential Bi-Phase encoding 差分双相编码

DIN	Deutsche Industrienorm (German industrial standard) 德国工业标准
EAN	European Article Number (barcode on groceries and goods) 欧洲商品条形码
EAS	Electronic Article Surveillance 电子商品防盗
EC	Eurocheque or electronic cash 欧洲支票或电子现金
ECC	European Communications Committee 欧洲通信委员会
EDI	Electronic Document Interchange 电子文档交换
EEPROM	Electric Erasable and Programmable Read-Only Memory 电可擦、可编程序的只读存储器
EMC	Electromagnetic Compatibility 电磁兼容性
EOF	End of Frame 帧结束
ERC	European Radiocommunications Committee 欧洲无线电通信委员会
ERM	Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters 电磁兼容性和无线电频谱
ERO	European Radiocommunications Organisation 欧洲无线电通信组织
ERP	Equivalent Radiated Power 等效辐射功率
ETCS	European Train Control System 欧洲铁路控制系统
ETS	European Telecommunication Standard 欧洲电信标准
ETSI	European Telecommunication Standards Institute 欧洲电信标准研究所
EVC	European Vital Computer (part of ETCS) 欧洲核心计算机 (欧洲火车控制系统的组成部分)

FCC	Federal Commission of Communication 联邦通信委员会
FDX	Full-Duplex 全双工
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum 频率跳动分布谱
FM	Frequency modulation 频率调制
FRAM	Ferroelectric Random Access Memory 铁电随机存取存储器
FSK	Frequency Shift Keying 频移键控
GSM	Global System fo Mobile Communication 全球移动通信系统
GTAG	Global-Tag (RFID Initiative of EAN and the UCC) 全球标签 (EAN 和 UCC 的射频识别系统的初始化)
HDX	Half-Duplex 半双工
HF	High Frequency (3…30 MHz) 高频 (3~30 MHz)
I ² C	Inter-IC-Bus 集成电路内部总线
ICC	Integrated Chip Card IC 卡 (集成电路卡)
ID	Identification 识别
ISM	Industrial Scientific Medical (frequency range) 工业科学医学 (频率范围)
ISO	International Organization for Standardization 国际标准化组织
L	Loop (inductance of a coil) 线圈 (一个线圈的电感)

LAN	Local Area Network 计算机局域网
LF	Low Frequency (30…300 kHz) 低频 (30~300 kHz)
LPD	Low Power Device (low power radio system for the transmission of data or speech over a few hundred metres) 小功率无线电装置 (指能对数据或语言信号传输几百米的无线电装置)
LRC	Longitudinal Redundancy Check 纵向冗余码校验
LSB	Least Significant Bit 最低有效位
MAD	MIFARE® Application Directory MIFARE®应用指南
MSB	Most Significant Bit 最高有效位
NAD	Node Address 节点地址
nöml	Nicht-öffentlicher mobiler Landfunk (Industriefunk, Transportunternehmen, Taxifunk etc.) 地区非官方的移动无线电 (工业无线电、运输企业无线电、出租汽车无线电等)
NRZ	Non-Return-to-Zero Encoding 不归零制编码
NTC	Negative Temperature Coefficient (thermal resistor) 负温度系数 (热敏电阻)
NVB	Number of Valid Bits (see ISO 14443-3) 有效位的编号 (参见 ISO 14443)
OCR	Optical Character Recognition 光学符号识别 (清晰文字的识别)
OEM	Original Equipment Manufacturer 原始设备制造商
ÖPNV	Öffentlicher Personen Nahverkehr 公共个人近距离通信
OTP	One Time Programmable 一次可编程序

PC	Personal Computer 个人计算机
PCD	Proximity Card Device (see ISO 14443) 疏耦合卡设备 (参见 ISO 14443)
PICC	Proximity Integrated Contactless Chip Card (see ISO 14443) 疏耦合 IC 卡 (参见 ISO 14443)
PKI	Public Key Infrastructure 公共密钥结构
PMU	Power Management Unit 电源管理单元
PP	Plastic Package 塑料包装
PPS	Polyphenylensulfide 聚苯硫化
PSK	Phase Shift Keying 相移键控
PUPI	Pseudo Unique PICC Identifier (see ISO 14443-3) 伪单一-PICC 标识符 (参见 ISO 14443-4)
PVC	Polyvinylchloride 聚氯乙烯
R&TTE	Radio and Telecommunication Terminal Equipment (The Radio Equipment and Telecommunications Terminal Equipment Directive (1999/5/EC)) 无线电通信终端设备
RADAR	Radio Detecting and Ranging 无线电探测和测距
RAM	Random Access Memory 随机存取存储器
RCS	Radar Cross-Section 雷达横截面 (有效反射面、散射面)
REQ	Request 请求
RFID	Radio Frequency Identification 射频识别
RFU	Reserved for Future Use 留作备用

RTI	Returnable Trade Items 可重复利用的商业物品
RTTT	Road Transport & Traffic Telematics 公路运输及交通（运输）量的遥测
RWD	Read Write Device 读写装置
SAM	Security Authentication Module 安全鉴别模块
SAW	Surface Acoustic Wave 表面波
SCL	Serial Clock (I ² C Bus Interface) 串行时钟脉冲 (I ² C-总线接口)
SDA	Serial Data Address Input Output (I ² C Bus Interface) 串行数据地址输入、输出 (I ² C-总线接口)
SEQ	Sequential System 时序系统
SMD	Surface Mounted Devices 表面安装装置
SNR	Serial Number 串行编号（序列号）
SOF	Start of Frame 帧开始
SRAM	Static Random Access Memory 静态随机存取存储器
SRD	Short Range Devices (low power radio systems for the transmission of data or voice over short distances, typically a few hundred metres) 短距离装置（用于在几百米范围内传输语言或数据信号的无线电装置）
TR	Technische Richtlinie (Technical Guideline) 技术规程
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter (transmission/receiving module for computer interfaces) 通用异步接收/发送器（用于计算机接口的接收/发送器）
UCC	Universal Code Council 通用代码委员会

UHF	Ultra High Frequency (300 MHz~3 GHz) 超高频 (300 MHz~3 GHz)
UPC	Universal Product Code 通用产品代码
VCD	Vicinity Card Device (see ISO 15693) 疏耦合卡设备 (参见 ISO 15693)
VDE	Verein Deutscher Elektrotechniker (German Association of Electrical Engineers) 联邦德国电工协会
VICC	Vicinity Integrated Contactless Chip Card (see ISO 15693) 疏耦合非接触式 IC 卡 (参见 ISO 15693)
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio 电压驻波比
XOR	eXclusive-OR “异或”
ZV	Zulassungsvorschrift (Licensing Regulation) 允许使用的规范
HITAG [®] , i • Code [®] and MIFARE [®]	are registered trademarks of Philips electronics N.V. 飞利浦 (Philips) 公司的电子产品注册商标
LEGIC [®]	is a registered trademark of Kaba Security Locking Systems AG 卡巴 (Kaba) 安全闭锁系统股份公司的注册商标
MICROLOG [®]	is a registered trademark of Idesco Idesco 公司的注册商标
TagIt [®] and TIRIS [®]	is a registered trademark of Texas Instruments 得克萨斯仪器 (Texas) 公司的注册商标
TROVAN [®]	is a registered trademark of AEG ID systems 通用电气 (AGE) 公司识别系统的注册商标

目 录

本书采用的缩写

第 1 章 导论	1
1.1 自动识别系统	2
1.1.1 条形码系统	2
1.1.2 光学符号识别	3
1.1.3 生物识别	3
1.1.3.1 语音识别	3
1.1.3.2 指纹法（指纹鉴定法）	4
1.1.4 IC 卡	4
1.1.4.1 存储器卡	4
1.1.4.2 微处理器卡	5
1.1.5 射频识别（RFID）系统	5
1.2 各种识别系统的比较	5
1.3 射频识别（RFID）系统的组成	6
第 2 章 射频识别（RFID）系统的区别特征	8
2.1 基本区别特征	8
2.2 应答器的构造形式	10
2.2.1 盘状和硬币形	10
2.2.2 玻璃外壳	11
2.2.3 塑料外壳	12
2.2.4 工具和气体瓶子的识别	12
2.2.5 钥匙和钥匙扣	13
2.2.6 手表式	14
2.2.7 ID-1 型非接触式 IC 卡	14
2.2.8 智能标签	16
2.2.9 片上线圈	17
2.2.10 其他的结构形式	17
2.3 频率、作用距离和耦合	17
2.4 应答器中的信息处理	18
2.5 射频识别（RFID）系统的选择准则	20
2.5.1 工作频率	20
2.5.2 作用距离	21
2.5.3 可靠性要求	21
2.5.4 存储器容量	22

第3章 基本作用原理	23
3.1 1位应答器	23
3.1.1 射频	24
3.1.2 微波	26
3.1.3 分频器	27
3.1.4 电磁法	28
3.1.5 声磁法	30
3.2 全双工和半双工	31
3.2.1 电感耦合	32
3.2.1.1 无源应答器的供电	32
3.2.1.2 应答器至阅读器的数据传输	34
3.2.2 电磁反向散射耦合	37
3.2.2.1 应答器的供电	37
3.2.2.2 应答器至阅读器的数据传输	38
3.2.3 紧耦合	39
3.2.3.1 应答器的供电	39
3.2.3.2 应答器至阅读器的数据传输	40
3.2.3.3 阅读器至应答器的数据传输	40
3.2.4 电耦合	40
3.2.4.1 无源应答器的供电	40
3.2.4.2 应答器至阅读器的数据传输	42
3.3 时序法	42
3.3.1 电感耦合	42
3.3.1.1 应答器的供电	42
3.3.1.2 全双工、半双工和时序系统的比较	43
3.3.1.3 应答器至阅读器的数据传输	44
3.3.2 表面波应答器	44
第4章 射频识别系统的物理基础	47
4.1 磁场	48
4.1.1 磁场强度 H	48
4.1.1.1 导体回路中的磁场强度曲线 $H(x)$	49
4.1.1.2 最佳天线直径	50
4.1.2 磁通量和磁通量密度	51
4.1.3 电感 L	52
4.1.3.1 导体回路的电感	52
4.1.4 互感 M	52
4.1.5 耦合因数 k	54
4.1.6 感应定律	55
4.1.7 谐振	57

4.1.8 应答器的实际工作	60
4.1.8.1 应答器的供电	60
4.1.8.2 电压调节	60
4.1.9 动作磁场强度 $H_{\min}$	62
4.1.9.1 应答器系统的“能量作用范围”	64
4.1.9.2 阅读器的作用范围	65
4.1.10 应答器-阅读器系统	67
4.1.10.1 应答器的复数变换阻抗 Z'_T	68
4.1.10.2 影响 Z'_T 的变量	70
4.1.10.3 负载调制	76
4.1.11 系统参数的测量	81
4.1.11.1 耦合因数 k 的测量	81
4.1.11.2 应答器谐振频率的测量	82
4.1.12 磁性材料	84
4.1.12.1 磁性材料和铁氧体的性质	84
4.1.12.2 低频应答器内的铁氧体天线	85
4.1.12.3 金属周围的铁氧体屏蔽	86
4.1.12.4 金属中的应答器构造	86
4.2 电磁波	87
4.2.1 电磁波的产生	87
4.2.1.1 导电回路从近场向远场的过渡	89
4.2.2 辐射功率密度(坡印廷矢量) S	90
4.2.3 场波阻抗和电场强度 E	90
4.2.4 电磁波的极化	91
4.2.4.1 电磁波的反射	91
4.2.5 天线	93
4.2.5.1 增益与方向性	93
4.2.5.2 EIRP 和 ERP	94
4.2.5.3 输入阻抗	94
4.2.5.4 有效面积和反射横截面	95
4.2.5.5 有效长度	97
4.2.5.6 偶极天线	98
4.2.5.7 Yagi-Uda 天线	99
4.2.5.8 片状或微带天线	100
4.2.5.9 缝隙天线	102
4.2.6 微波应答器的实际工作	102
4.2.6.1 应答器的等效电路图	103
4.2.6.2 无源应答器的供电	104
4.2.6.3 有源应答器的供电	111