

• 第二版 •

射频识别 (RFID) 技术

—— 无线电感应的应答器和
非接触IC卡的原理与应用

[德] Klaus Finkenzeller 著

陈大才 编译

王卓人 审校



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

射频识别(RFID)技术

——无线电感应的应答器和
非接触 IC 卡的原理与应用
(第二版)

(德) Klaus Finkenzeller

陈大才 编译

王卓人 审校



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry



内 容 简 介

本书主要介绍无线电感应的应答器和非接触 IC 卡(即射频识别)技术的基本作用原理和物理基础。全书列举了如:订票、公交、安检、商业、图书馆、体育比赛、动物识别、容器识别、工业自动化等方面的应用示例。

本书适合于研究、开发各种非接触感应型器件和电路的工程师们阅读,以及有关专业的大专院校师生们作教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

射频识别(RFID)技术——无线电感应的应答器和非接触 IC 卡的原理与应用/

(德)芬肯泽勒(Finkenzeller, K.)著;

陈大才编译. - 北京:电子工业出版社,2001.6

书名原文:RFID Handbuch(2. Auflage)

ISBN7-5053-4576-1

I. 射... II. ①芬... ②陈... III. 射频—无线电信号—信号识别—技术

IV. TN911.23-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 037298 号

Copyright © 2000 respectively Copyright © for the 2nd edition Carl Hanser Verlag, Munich/FRG
All rights reserved

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

本书中文简体专有翻译出版权由德国 Carl HANSER Verlag 授予电子工业出版社,该专有出版权受法律保护。

书 名:射频识别(RFID)技术——无线电感应的应答器和非接触 IC 卡的原理与应用(第二版)

著 者:(德) Klaus Finkenzeller

编 译 者:陈大才

审 校 者:王卓人

责任编辑:王惠民

印 刷 者:广州市恒远彩印有限公司

出版发行:电子工业出版社 URL: <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036 发行部电话:(010)68214070

经 销:各地新华书店经销

开 本:787×1092 1/16 印张:21.5 字数:350 千字

版 次:2001 年 6 月第 1 版 2001 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~5000 册

书 号:ISBN 7-5053-4576-1/TN·1133

定 价:42.00 元

著作权合同登记号 图字:01-2000-1230

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换。

版权所有·翻印必究



第二版前言

这本书是面向广大读者的。它首先是面向那些第一次接触射频识别技术的大学生和工程师的。对他们来说,关于射频识别技术的作用原理和物理基础以及数据处理技术等章节是基本的内容。此外,这本书也是面向那些有实际工作经验的人们的。他们作为应用者希望或必须尽可能全面而集中地了解到各种射频识别技术,法定的边界条件或应用的可能性。

此间,虽然在这个题目范围内有大量的论文。但是,正如为写这本书进行的调查研究所证实的那样,当要将这些“分散”的信息收集在一起时,确是很辛苦和很费时间的。因此,这本书在提供关于射频识别系统参考文献方面填补了一个空白。

本书使用了大量的图表,对射频识别技术作了最直观的描绘,本书的特殊意义还在于结合实际。为此,对第一版原“应用举例”一章增加了大量的实例。

射频识别技术领域的发展如此迅速,本书仅能够成为该技术的基础知识,但要成为反映最新趋势的图书还是不够的。因此,我在这里对各界,特别是来自工业界的提示和建议,表示衷心感谢。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。

我在这里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

1999 年秋于慕尼黑



本书采用的缩写

μP	微处理器
μS	微秒(10^{-6} 秒)
ABS	丙烯腈丁二烯苯乙烯
AFC	自动收费(电子车票)
AFI	识别器的应用系列(参见 ISO 14443 - 3)
AM	振幅调制
APDU	应用数据单元
ASCII	美国信息交换标准代码
ASIC	专用集成电路
ASK	振幅键控
ATR	复位应答
ATQ	对请求的应答(ATQA, ATQB: 参见 ISO 14443 - 3)
BAPT	联邦邮政电信局
Bd	波特, 传输速度(比特/秒)
BGT	数据块保护时间
BMBF	联邦教育和科研部(以前的 BMFT; 联邦科研和技术部)
BP	带通滤波器
C	电容(电容器的容量)
CCITT	国际电话、电报咨询委员会
CEN	欧洲标准委员会
CEPT	欧洲邮政、电信会议
CICC	密耦合 IC 卡
CLK	时钟脉冲(时钟信号)
CRC	循环冗余码校验
dBm	对数功率计量单位, 与 1mW 高频一功率有关($0\text{dBm} = 1\text{mW}$, $30\text{dBm} = 1\text{W}$)
DBP	差动双相编码
BIN	德国工业标准
EAN	欧洲工商品条型号
EAS	电子防盗器
EC	欧洲支票或电子现场
EEPROM	电可擦、可编程序的只读存储器
EMV	电磁兼容性
EOF	帧结束
ERP	车的等效发射
ETCS	欧洲铁路控制系统
ETS	欧洲电信标准

· X ·



ETSI	欧洲电信标准研究所
EVC	欧洲活力计算机(欧洲火车控制系统的组成部分)
EVU	能量供应企业
FCC	联邦通信委员会
FDX	全双工
FM	频率调制
FRAM	铁电随机存取存储器
FSK	频移键控
GSM	全球移动通信系统(以前的特殊移动组)
I ² C	集成电路内总线
HDX	半双工
HF	高频(3 ~ 30MHz)
ICC	IC卡(集成电路卡)
ID	识别
ISM	工业医学科学
ISO	国际标准化组织
L	感应线圈
LAN	计算机局域网
LF	低频(30 ~ 300kHz)
LPD	小功率无线电装置
LRC	纵向冗余码校验
LSB	最低有效位
MAD	MIFARE [®] 应用指南
MSB	最高有效位
NAD	节点地址
NOmL	地区非官方移动无线电(工业无线电、运输企业无线电、出租汽车无线电)
NRZ	不归零制编码
NTC	负温度系统(热敏电阻)
NVB	有效位的编号(参见 ISO 14443)
OCR	光学符号识别(清晰文字的识别)
OEM	初始设备制造商
OFW	表面波
OPNV	公众个人近距离通信
OTP	一次可编程程序
PC	个人计算机
PCD	疏耦合设备(参见 ISO 14443)
PICC	疏耦合 IC卡(参见 ISO 14443)
PP	塑料包装
PPS	聚苯硫化



PSK	相移键控
PUPI	伪单一-PICC 识别器(参见 ISO 14443—4)
PVC	聚氯乙烯
RADAR	无线电探测和测距
RAM	随机存取存储器
RCS	雷达横截面(有效反射面, 散射面)
REQ	请求
RFID	射频识别
RFU	留作备用
RTI	道路运输信息系统
RWD	读写装置
SAM	安全鉴别模块
SCL	串行时钟脉冲(I ² C - 总线接口)
SDA	串行数据地址输入、输出(I ² C - 总线接口)
SEQ	时序系统
SMD	表面固定装置
SNR	串行编号
SOF	帧开始
SRAM	静态随机存取存储器
TR	技术规程
UHF	超高频(300MHz ~ 3GHz)
UPC	通用产品条形码
VDE	联邦德国电工协会
VCD	遥耦合设备(参见 ISO15693)
VICC	遥耦合 IC 卡(参见 ISO 15693)
XOR	“异或”
ZV	允许使用的规范
MIFARE [®]	飞利浦电子产品注册商标
LEGIC	卡巴安全保险系数股份公司的注册商标
MICROLOG [®]	Idesco 公司的注册商标
TIRIS [®]	得克萨斯仪器公司的注册商标
TROVAN [®]	通用电气公司识别系统的注册商标



目 录

本书采用的缩写

第一章 导论	(1)
第一节 自动识别系统	(1)
一、条码系统	(1)
二、光学符号识别	(3)
三、生物计数测量法	(3)
1. 语音识别	(3)
2. 指纹法(指纹鉴定法)	(3)
四、IC 卡	(4)
1. 存储器卡	(4)
2. CPU 卡	(4)
五、射频识别(RFID)系统	(5)
第二节 各种识别系统的比较	(5)
第三节 射频识别(RFID)系统的组成	(6)
第二章 射频识别(RFID)系统的区别特征	(9)
第一节 基本区别特征	(9)
第二节 应答器的构造形式	(11)
一、盘形	(11)
二、玻璃外壳	(11)
三、塑料外壳	(12)
四、工具和气体瓶子的识别	(13)
五、钥匙和钥匙扣	(13)
六、手表	(15)
七、ID-1 型非接触 IC 卡	(15)
八、智能标签	(17)
九、片上线圈	(18)
十、其他的构造形式	(18)
第三节 频率、作用距离和耦合	(19)
一、密耦合	(19)
二、遥耦合	(19)
三、远距离系统	(20)
四、系统特性	(20)
1. 只读系统构成低档系统的下端	(20)
2. 中档部分	(21)

3. 系统的高档部分	(21)
第三章 基本作用原理	(23)
第一节 1 比特应答器	(23)
一、射频	(24)
二、微波	(26)
三、分频器	(27)
四、电磁法	(28)
第二节 全双工和半双工	(30)
一、电感耦合	(31)
1. 无源应答器的能量供应	(31)
2. 应答器至阅读器的数据传输	(34)
二、电磁反向散射耦合	(36)
1. 应答器的能量供应	(36)
2. 应答器至阅读器的数据传输	(37)
三、密耦合	(38)
1. 应答器的能量供应	(38)
2. 应答器至阅读器的数据传输	(39)
四、阅读器至应答器的数据传输	(39)
第三节 时序法	(40)
一、电感耦合	(40)
1. 应答器的供电	(40)
2. 全双工、半双工和时序系统的比较	(40)
3. 应答器至阅读器的数据传输	(41)
二、表面波应答器	(42)
第四章 射频识别系统的物理基础	(45)
第一节 磁场	(46)
一、磁场强度 H	(46)
1. 导体回路中的场强曲线 $H(x)$	(47)
2. 最佳天线直径	(49)
二、磁通量和磁通密度	(49)
三、感应系数 L	(50)
四、互感系数 M	(51)
五、耦合系数 k	(53)
六、感应定律	(54)
七、谐振	(56)
八、应答器的电源	(60)
1. 应答器的供电	(60)
2. 电压调节	(61)
九、动作磁场强度 H_{\min}	(62)

十、应答器——阅读器系统	(66)
1. 应答器的阻抗 Z_T' 变换	(68)
2. 影响 Z_T' 的变量	(71)
3. 负载调制	(77)
十一、系统参数的测量	(82)
1. 耦合系数 k 的测量	(82)
2. 应答器谐振频率的测量	(83)
十二、磁性材料	(85)
1. 磁性材料和铁氧体的性质	(85)
2. 低频应答器内的铁氧体天线	(86)
3. 金属周围的铁氧体屏蔽	(86)
第二节 电磁波	(87)
一、电磁波的产生	(87)
二、电磁波的反射	(89)
三、天线的散射横截面	(90)
四、调制的散射截面	(93)
五、有效长度	(93)
六、微波应答器天线的结构形式	(93)
1. 缝隙天线	(94)
2. 平面型天线	(94)
3. 天线参数一览表	(94)
第三节 表面波	(94)
一、表面波的形成	(94)
二、表面波的反射	(96)
三、表面波应答器的功能结构	(96)
四、传感器效应	(99)
1. 反射延迟线	(100)
2. 谐振传感器	(101)
3. 阻抗传感器	(103)
五、转换传感器	(103)
第五章 频率范围和允许使用的无线电规范	(105)
第一节 使用的频率范围	(105)
一、频率范围 9 ~ 135kHz	(106)
二、频率范围 6.78MHz	(107)
三、频率范围 13.56MHz	(107)
四、频率范围 27.125MHz	(107)
五、频率范围 40.680MHz	(108)
六、频率范围 433.920MHz	(108)
七、频率范围 869.0MHz	(108)

八、频率范围 915.0MHz	(108)
九、频率范围 2.45GHz	(109)
十、频率范围 5.8GHz	(109)
十一、频率范围 24.125GHz	(109)
十二、电感耦合射频识别系统的适用频率选择	(109)
第二节 允许使用的国际规范	(111)
一、CEPT/ERC 70-03 欧洲邮政、电信会议/电子研究中心	(111)
二、EN300330:9kHz~25GHz	(112)
1. 第1类发送器载波功率限值	(112)
2. 第2类发送器载波功率限值	(113)
3. 调制频带宽度	(114)
4. 寄生发射	(114)
三、EN 3000220-1, EN300220-2	(114)
四、EN 3000440	(115)
第三节 允许使用的国家规范——德国	(116)
一、17 TR 2100	(116)
1. 载波功率的极限值	(116)
2. 调制频带宽度	(116)
3. 寄生发射	(117)
二、BAPT 222 ZV125	(117)
三、BAPT 211ZV037/2050	(117)
四、BAPT 211ZV045——欧洲点状数据传输系统	(117)
第四节 允许使用的国家规范——美国	(117)
第六章 编码和调制	(119)
第一节 基带中的编码	(119)
第二节 数字调制法	(121)
一、振幅键控(ASK)	(122)
二、2-FSK(频移键控)	(124)
三、2-PSK(相移键控)	(126)
四、使用副载波的调制法	(126)
第七章 数据的完整性	(129)
第一节 校验和法	(129)
一、奇偶校验	(129)
二、纵向冗余校验(LRC)法	(130)
三、循环码冗余校验(CRC)法	(130)
第二节 多路存取法——反碰撞法	(132)
一、空分多路(SDMA)法	(134)
二、频分多路(FDMA)法	(135)
三、时分多路(TDMA)法	(136)

四、反碰撞法举例	(138)
1. ALOHA 法	(138)
2. 时隙 ALOHA 法	(140)
3. 二进制搜索算法	(143)
第八章 数据的安全性	(151)
第一节 互相对称的鉴别	(151)
第二节 用导出密钥的鉴别	(152)
第三节 加密的数据传输	(153)
第九章 标准化	(157)
第一节 动物识别	(157)
一、国际标准 ISO 11784—代码结构	(157)
二、国际标准 ISO 11785—技术准则	(157)
1. 需求	(158)
2. 全双工/半双工系统	(159)
3. 时序系统	(159)
第二节 非接触智能卡	(160)
一、国际标准 ISO 10536—密耦合 IC 卡	(160)
1. 第 1 部分—物理特性	(161)
2. 第 2 部分—耦合区的尺寸和位置	(161)
3. 第 3 部分—电信号和复位过程	(161)
4. 第 4 部分—复位应答和传输协议	(163)
二、国际标准 ISO 14443—近耦合 IC 卡	(163)
1. 第 1 部分—物理特性	(163)
2. 第 2 部分—射频接口	(164)
3. 第 3 部分—初始化和反碰撞	(167)
三、国际标准 ISO 15693—疏耦合 IC 卡(VICC)	(174)
1. 第 1 部分—物理特性	(174)
2. 第 2 部分—空间接口和初始化	(174)
四、国际标准 ISO 10373—IC 卡的测试方法	(178)
1. 第 4 部分:密耦合 IC 卡的测试方法	(179)
2. 第 6 部分:近耦合 IC 卡的测试方法	(179)
3. 第 7 部分:疏耦合 IC 卡的测试方法	(181)
第三节 德国工业标准/国际标准 DIN/ISO 69873—工具和夹具用 的数据载体	(181)
第四节 国际标准 ISO 10374—集装箱识别	(182)
第五节 德国工程师协会规范 VDI 4470—货物安全系统	(183)
一、第 1 部分—闸门系统对顾客检查规范	(183)
1. 错误报警率的测定	(183)
2. 检出率的测定	(183)

3. 规范 VDI 4470 中的表格	(184)
二、第 2 部分—去活化设备的检查规范	(184)
第十章 电子数据载体的结构	(187)
第一节 具有存储功能的应答器	(187)
一、高频界面	(188)
1. 线路举例—用副载波的负载调制	(188)
2. 线路举例—根据国际标准 ISO 14443 应答器的高频接口	(189)
二、地址和安全逻辑	(191)
三、存储器结构	(193)
1. 只读应答器	(193)
2. 可写入的应答器	(194)
3. 具有密码功能的应答器	(194)
4. 分段存储器	(196)
5. MIFARE [®] —应用目录	(198)
6. 双端口 EEPROM	(201)
第二节 微处理器—复合卡	(204)
一、双界面插件	(205)
第三节 存储器技术	(207)
一、RAM	(208)
二、EEPROM	(208)
三、FRAM	(209)
四、FRAM 和 EEPROM 的性能比较	(211)
第四节 物理参数的测量	(211)
一、具有传感器功能的应答器	(211)
二、用微波应答器进行测量	(212)
三、表面波应答器的传感器效应	(213)
第十一章 阅读器	(217)
第一节 应用系统中的数据流	(217)
第二节 阅读器的组成	(218)
一、高频接口	(219)
1. 电感耦合系统(FDX/HDX)	(219)
2. 微波系统(HDX)	(220)
3. 时序系统(SEQ)	(221)
4. 用于(SAW)表面波应答器的微波系统	(222)
二、控制单元	(223)
第三节 低成本结构的 IC 卡阅读器 U2270B	(224)
第四节 天线的连接	(226)
一、电感式系统的天线	(226)
1. 利用电流匹配来进行连接	(226)

2. 通过同轴电缆馈接	(227)
3. 品质因数 Q 的影响	(231)
二、微波系统的天线	(232)
第五节 阅读器的结构形式	(233)
一、OEM 阅读器	(233)
二、工业用读取设备	(233)
三、便携式阅读器	(234)
第十二章 应答器和非接触芯片的制造	(235)
第一节 玻璃和塑料应答器	(235)
一、模块制造	(235)
二、应答器半成品	(237)
三、整合成品	(237)
第二节 非接触 IC 卡	(238)
一、线圈制造	(238)
1. 绕制工艺	(238)
2. 布线工艺	(240)
3. 丝网印刷工艺	(240)
4. 蚀刻工艺	(242)
二、连接工艺	(242)
三、层压工序	(243)
第十三章 应用示例	(245)
第一节 非接触 IC 卡	(245)
第二节 公共交通	(247)
一、开始的形势	(247)
二、要求	(247)
1. 交易时间	(247)
2. 天气适应性、使用寿命、操作便利性	(248)
3. 使用射频识别系统的优势	(248)
四、电子车票的收费模式	(249)
1. 价目表模式 1	(249)
2. 价目表模式 2	(250)
3. 价目表模式 3	(250)
4. 最优票价结算	(250)
五、市场潜力	(250)
六、项目示例	(251)
1 韩国: 汉城	(251)
2. 德国: 吕纳堡、奥尔登堡	(252)
3. 欧盟的“ICARE”和“CALYPSO”项目	(253)
第三节 票务应用	(256)

一、汉莎航空公司的 Miles & More 卡	(256)
二、订滑雪票	(258)
第四节 门禁控制	(259)
一、在线系统	(259)
二、离线系统	(260)
三、应答器系统	(261)
第五节 交通系统	(262)
一、Eurobalise S21	(262)
二、国际集装箱运输	(264)
第六节 动物识别	(265)
一、牛的饲养	(265)
二、信鸽竞赛	(270)
第七节 电子闭锁防盗装置	(272)
一、闭锁防盗装置的功能	(273)
1. 检查单独的序列号	(274)
2. 变换编码方法(滚动编码)	(274)
3. 利用固定密钥的加密法(确证身份)	(274)
二、近期成绩回顾	(275)
三、未来展望	(276)
第八节 容器识别	(277)
一、贮气瓶和化学容器	(277)
二、垃圾清除	(278)
第九节 体育活动	(280)
第十节 工业自动化设备	(283)
一、工具识别	(283)
二、工业化生产	(286)
1. 使用射频识别系统的好处	(287)
2. 适用的射频识别系统的选择	(288)
3. 项目示例	(289)
第十四章 市场概览	(293)
第一节 选择标准	(293)
一、工作频率	(293)
二、作用距离	(293)
三、安全要求	(294)
四、存储容量	(295)
第二节 系统概览	(295)
第十五章 附录	(307)
第一节 联系地址和展览会	(307)
一、工业协会	(307)

二、专业杂志	(308)
三、展览会	(309)
四、因特网上的射频识别系统	(310)
第二节 相关的标准和规范	(310)
一、相关的标准和规范	(310)
二、标准及规范的获取来源	(313)
第三节 参考文献	(313)
第四节 印制版布线	(321)
一、符合 ISO 14443 标测的测试卡	(321)
二、场发生器线圈	(325)



第一章 导 论

近年来,自动识别方法在许多服务领域、在货物销售与后勤分配方面、在商业部门、在生产企业和材料流通领域得到了快速的普及和推广。自动识别方法的任务和目的是提供关于个人、动物、货物和商品的信息。

几年前,条形码——纸带在识别系统领域引起了一场革命并得到了广泛应用。今天,这种条形码——纸带在越来越多的情况下已经不能满足人们的需求了。条形码虽然很便宜,但它的不足之处是存储能力小以及不能改写。

一种技术上最佳的解决方案是将数据存储在一块硅芯片里。在日常生活中,具有触点排的 IC 卡(电话 IC 卡、银行卡等)是电子数据载体的最普遍的结构。然而,对 IC 卡来说,在许多情况下,机械触点的接通是不可靠的。数据载体与一个所属的阅读器之间的数据进行非接触传输将灵活得多。电子数据载体工作时所需要的能量通过阅读器非接触地传输来获取。根据使用的能量和数据传输方法,我们把非接触的识别系统称作射频识别系统(RFID - Radio Frequency Identification)。

根据从事射频识别系统开发并使产品适合市场需求的公司数量的增多,说明了这种产品的市场一定会不断地扩大。估计 20 世纪末年射频识别系统的世界总销售额可达到 20 亿美元以上。目前,射频识别系统产品市场是无线电工业增长最快的部门,包括了手机和无绳电话[isd]。

近年来,非接触识别已经逐步发展成为一个独立的跨学科的专业领域。这个专业领域与任何传统学科都不相同。它将大量来自完全不同专业领域的技术综合到一起:如高频技术、电磁兼容性、半导体技术、数据保护和密码学、电信、制造技术和许多专业应用领域。

将在下面介绍各种自动识别系统(Auto ID - Automatic Identification Systems)的概况,它们与射频识别系统的功能比较相似。

第一节 自动识别系统

一、条形码系统

近 20 年来,条形码同其他的识别系统相比获得了越来越多的认可。20 世纪 90 年代开始,根据专家们的估计,条形码系统在西欧的销售量为 30 亿德国马克[virnich]。

条形码是一种二进制代码。这种代码以平行排列的线条和分隔的间隙组成了数据。这些条形码是按照事先规定的图序排列的,并表示相关字符的数据元素。由宽的和窄的线条或间隙组成的序列可以用数字或字母来解释。通过激光扫描读出,就是说,通过照射在黑色线条和白色间隙上的激光的不同反射来读出[ident 1]。虽然它们的物理结构相同,但是在今天使用的大约十种类型的条形码的代码结构之间却存在着明显的区别。