

RFID TECHNOLOGY AND APPLICATIONS

RFID 技术及应用

唐拥政 王明辉 王春风 编著


 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

盐城工学院学术专著出版基金资助

RFID 技术及应用

唐拥政 王明辉·王春风 编著

RFID TECHNOLOGY AND APPLICATIONS

 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS
镇江

图书在版编目(CIP)数据

RFID 技术及应用 / 唐拥政, 王明辉, 王春风编著
— 镇江 : 江苏大学出版社, 2014. 11
ISBN 978-7-81130-847-1

I. ①R… II. ①唐… ②王… ③王… III. ①无线电
信号—射频—信号识别—应用 IV. ①TN911.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 263026 号

RFID 技术及应用

RFID JISHU JI YINGYONG

编 著/唐拥政 王明辉 王春风

责任编辑/徐 婷

出版发行/江苏大学出版社

地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)

电 话/0511-84446464(传真)

网 址/http://press. ujs. edu. cn

排 版/镇江新民洲印刷有限公司

印 刷/丹阳市兴华印刷厂

经 销/江苏省新华书店

开 本/890 mm×1 240 mm 1/32

印 张/5

字 数/130 千字

版 次/2014 年 12 月第 1 版 2014 年 12 月第 1 次印刷

书 号/ISBN 978-7-81130-847-1

定 价/25.00 元

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话:0511-84440882)

前 言

物联网已经成为我国的战略新兴产业,市场规模迅速扩大,作为物联网发展的最关键技术,射频识别(RFID)技术也有着巨大的应用发展前景。

作者根据多年 RFID 及物联网的研究经验,较为系统地介绍了射频识别(RFID)技术的基本概念、基本原理、关键技术及其应用。无线射频识别(RFID)技术具有非接触式自动识别、距离远、多标签识别、物理环境适应性强具有唯一的 ID 号等特点,因此在物流与供应链、小额支付、门禁控制、交通管理、物联网等方面得到了十分广泛的应用。

本书包括 RFID 技术的基本概念和典型架构,射频识别技术的工作原理,无线射频识别的频率标准与技术规范,读写器和电子标签的结构,射频识别应用系统,以及 RFID 在通信应用中的相关协议算法等主要内容,并着重介绍了 RFID 在公共安全和仓储物料管理等领域的应用,同时针对 RFID 技术的基本结构和关键技术进行了全面分析,从 RFID 系统的角度出发,全面总结了 RFID 系统常见的攻击方法并提出了多个 RFID 认证协议。

编者

2014 年 10 月

目 录

- 第 1 章 射频识别技术概论 001
 - 1.1 射频识别技术及其特点 001
 - 1.2 射频识别技术的发展 002
 - 1.3 RFID 系统的组成 004
 - 1.3.1 RFID 系统的硬件 004
 - 1.3.2 RFID 系统的软件 014
 - 1.4 射频识别的基本原理 016
 - 1.4.1 RFID 的工作频率 016
 - 1.4.2 RFID 的工作原理 019
 - 1.4.3 RFID 读写器防冲撞原理 021
 - 1.5 无线电业务介绍 022
 - 1.6 RFID 技术的应用和发展前景 024
 - 1.6.1 RFID 技术的应用 024
 - 1.6.2 RFID 技术的发展前景 027

- 第 2 章 RFID 中的天线技术 030
 - 2.1 天线的概念 030
 - 2.2 天线的参数 031
 - 2.2.1 天线的输入阻抗 031
 - 2.2.2 天线方向性 032
 - 2.2.3 天线方向性增强 033
 - 2.2.4 增益 034
 - 2.2.5 天线效率 034

- 2.2.6 波瓣宽度 035
- 2.2.7 上旁瓣抑制 035
- 2.2.8 天线的极化 036
- 2.3 天线的分类 036
- 2.4 RFID 天线设计与仿真 039
 - 2.4.1 RFID 天线设计 039
 - 2.4.2 RFID 天线仿真 042
- 第 3 章 RFID 系统的编码、调制与解调 045**
 - 3.1 数据与编码 045
 - 3.1.1 数据和信号 045
 - 3.1.2 编码 046
 - 3.2 RFID 中常用的编码方式 051
 - 3.3 调制与解调 054
 - 3.3.1 模拟调制与解调 054
 - 3.3.2 数字调制与解调 055
- 第 4 章 RFID 系统的安全性 056**
 - 4.1 信息安全的概念 056
 - 4.2 数字签名 057
 - 4.2.1 数字签名概念 057
 - 4.2.2 数字签名的安全性 060
 - 4.2.3 RSA 数字签名方案 062
 - 4.2.4 数字签名标准 DSS 063
 - 4.2.5 无证书数字签名 064
 - 4.3 认证协议 068
 - 4.3.1 认证技术 068
 - 4.3.2 认证模型 072
 - 4.3.3 基于 Hash 函数的 RFID 认证协议 074

4.3.4	EPCGen2 标准下强安全 RFID 认证协议	081
4.3.5	一种新型超高频 RFID 系统认证机制	085
4.3.6	其他典型的认证协议	092
4.5	密钥管理	100
4.5.1	密钥管理流程	100
4.5.2	密钥管理技术的分类	103
第 5 章	RFID 在仓库物料管理中的应用	105
5.1	仓库物料管理的现状	105
5.2	RFID 在仓库物料管理中的应用前景	106
5.2.1	RFID 电子标签与条形码的优点比较	106
5.2.2	RFID 在仓库物料管理中的优势	107
5.3	仓库物料管理的 RFID 解决方案	108
5.3.1	应用架构	108
5.3.2	具体模块	110
5.3.3	硬件结构	112
5.3.4	RFID 标签选型	114
5.4	基于 RFID 技术的仓库物料管理应用案例	114
5.4.1	料团库解决方案	114
5.4.2	钢材库解决方案	117
5.4.3	开关零件库解决方案	118
5.5	本章小结	120
第 6 章	RFID 在公共安全方面的应用	121
6.1	RFID 在危险品管理领域的应用	121
6.1.1	危险品管理现状	121
6.1.2	RFID 在危险品钢瓶管理中的特点	122
6.1.3	危险品钢瓶管理的 RFID 解决方案	123

- 6.2 RFID 在煤矿安全生产领域的应用 130
 - 6.2.1 煤矿安全生产的现状 130
 - 6.2.2 煤矿安全定位 RFID 系统的特点 131
 - 6.2.3 煤矿安全定位的 RFID 解决方案 131
- 6.3 本章小结 137

参考文献 138

第 1 章 射频识别技术概论

1.1 射频识别技术及其特点

射频识别(Radio Frequency Identification,RFID)技术是从 20 世纪 80 年代起走向成熟的一种非接触式的自动识别技术,它利用射频信号通过空间耦合(交变磁场或电磁场)实现无接触信息传递,并通过所传递的信息达到识别目标的目的。从概念上来讲,RFID 识别目标的过程类似于条码扫描,对于条码技术而言,它是将已编码的条形码附着于目标物并使用专用的扫描读写器利用光电信号将信息由条形磁传送到扫描读写器;而 RFID 则使用专用的 RFID 读写器及专门的可附着于目标物的 RFID 单元,利用射频信号将信息由 RFID 标签传送至 RFID 读写器。RFID 单元中载有关于目标物的各类相关信息,如物件的名称、物件运输的起始地址、中转地点及目标物经过某一地的具体时间等。RFID 单元(如标签、卡等)可灵活附着于从车辆到载货底盘的各类物品。

RFID 是一项易于操控、简单实用且特别适合用于自动化控制的应用技术,识别工作无须人工干预,它既可支持只读工作模式也可支持读写工作模式且无须接触或瞄准,还可以自由工作在各种恶劣环境下。短距离射频产品在油渍、灰尘污染等恶劣的环境下,可以替代条码,如用在工厂的流水线上跟踪物体;长距射频产品多用于交通上,识别距离可达几十米,如自动收费或识别车辆身份等。RFID 所具备的独特优越性是所有其他识别技术无法企

及的。

RFID 主要有以下几个方面的特点:

(1) 读取方便快捷。数据的读取无须光源,甚至可以透过外包装来进行。有效识别距离更大,采用自带电池的主动标签时,有效识别距离可达到数十米以上。

(2) 识别速度快。标签一进入磁场,解读器就可以即时读取其中的信息,而且能够同时处理多个标签,实现批量识别。

(3) 数据容量大。数据容量最大的二维条形码,最多也只能存储 2 725 个数字,若包含字母,存储量则会更少。RFID 标签则可以根据用户的需要扩充到数十 k。

(4) 使用寿命长,应用范围广。RFID 的无线电通信方式,使其可以应用于粉尘、油污等高污染环境 and 放射性环境,而且其封闭包装使得其寿命大大超过印刷的条形码。

(5) 标签数据可动态更改。利用编程器可以写入数据,从而赋予 RFID 标签交互式便携数据文件的功能,而且写入时间相比打印条形码更少。

(6) 更好的安全性。不仅可以将 RFID 标签嵌入或附着在不同形状、类型的产品上,而且可以为标签数据的读写设置密码保护,从而具有更高的安全性。

(7) 动态实时通信。标签以每秒 50 ~ 100 次的频率与解读器进行通信,所以只要 RFID 标签所附着的物体出现在解读器的有效识别范围内,就可以对其位置进行动态地追踪和监控。

1.2 射频识别技术的发展

随着无线射频识别技术的发展,全球多家大公司,如沃尔玛、宝洁和波音公司等商业巨头,无不积极推动 RFID 在制造、物流、零售和交通等行业的应用。RFID 技术及其应用正处于迅速上升的时期,被业界公认为是 21 世纪最具潜力的技术之一,它的发展

和应用推广将是自动识别行业的一场技术革命;而 RFID 在交通、物流行业的应用更是为通信技术提供了一个崭新的舞台,将成为未来电信业最具潜力的利润增长点之一。

从信息传递的基本原理来说,射频识别技术在低频段基于变压器耦合模型(初级与次级之间的能量传递及信号传递),在高频段基于雷达探测目标的空间耦合模型(雷达发射电磁波信号碰到目标后携带目标信息返回雷达接收机)。1948年,哈里斯托克曼发表《利用反射功率的通信》,奠定了射频识别技术的理论基础。

射频识别技术的发展按时间段划分如下。

(1) 1940—1950年,雷达的改进和应用催生了射频识别技术,1948年奠定了射频识别技术的理论基础。

(2) 1950—1960年,早期射频识别技术的探索阶段,主要处于实验室实验研究。

(3) 1960—1970年,射频识别技术的理论得到了发展,开始了一些应用尝试。

(4) 1970—1980年,射频识别技术与产品研发处于一个大发展时期,各种射频识别技术测试得到加速发展,出现了一些最早的射频识别应用。

(5) 1980—1990年,射频识别技术及产品进入商业应用阶段,各种规模应用开始出现。

(6) 1990—2000年,射频识别技术标准化问题更加得到重视,射频识别产品得到广泛采用,射频识别产品逐渐成为人们生活中的一部分。

(7) 2000年以后,标准化问题更加为人们所重视,射频识别产品种类更加丰富,有源电子标签、无源电子标签及半无源电子标签均得到了发展,电子标签成本不断降低,行业规模不断扩大。

至今,射频识别技术的理论得到了丰富和完善。单芯片电子标签、多电子标签识读、无线可读可写、无源电子标签的远距离识

别、适应高速移动物体的射频识别技术与产品正成为现实并走向应用。

1.3 RFID 系统的组成

1.3.1 RFID 系统的硬件

RFID 系统中的硬件组件包括电子标签、读写器(包括传感器、执行器、报警器和边沿接口电路)、控制器和读写天线;系统中当然还包括主机、用于处理数据的应用软件程序,并连接网络。

(1) 电子标签

电子标签也称应答器,是一个微型的无线收发装置,主要由内置天线和芯片组成。芯片中存储有能够识别目标的信息,当读写器查询时它会发射数据给读写器。RFID 标签具有持久性、信息接收传播穿透性强、存储信息容量大和种类多等特点。根据电子标签组成原理和工作方式的不同,有被动式、主动式和半主动式电子标签之分。

① 被动式电子标签

被动式电子标签无板载电源,其电源由读写器供给。电子标签必须利用读写器的载波来调制自身的信号,标签产生电能的装置是天线和线圈。标签进入 RFID 系统工作区后,天线接收特定的电磁波,线圈产生感应电流供给标签工作。被动式电子标签与读写器之间的通信,总是由读写器发起,标签响应,然后由读写器接收标签发出的数据。被动式电子标签的读写距离小于主动式和半主动式标签,一般为 0.03 ~ 9 m。

被动式电子标签由微芯片和天线组成,如图 1.1 所示。

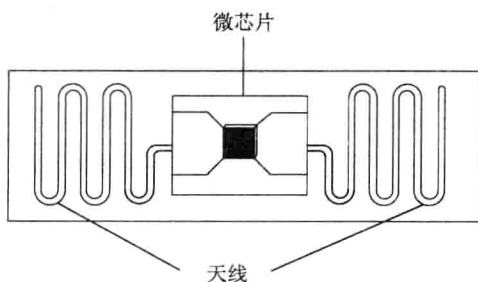


图 1.1 被动式电子标签组成原理示意图

a. 微芯片

微芯片主要由数字电路及存储器组成,图 1.2 为被动式电子标签微芯片的内部结构原理示意图。电源控制/整流器模块将读写器发出的天线电磁波交流信号经过整流转换为直流电源,为微芯片及其组件工作供电;时钟提取器从读写器的天线信号中提取时钟信号;调制器调制接收的读写器信号,标签对接收的调制信号做出响应,然后传回读写器;逻辑单元负责标签和读写器之间通信协议的实施;存储器用于存储微处理器记忆数据,记忆体一般是分段的(分块或字段),寻址能力就是地址读写范围,不同的分块可以存储不同的数据类型,例如部分标记标签对象的标识数据、数据校验(循环冗余校验 CRC)保证发送数据的准确性等。近年来随着技术的进步,可以将小规模微芯片做得很小,然而一个标签的物理尺寸不仅取决于它的芯片的大小,还与其天线有关。

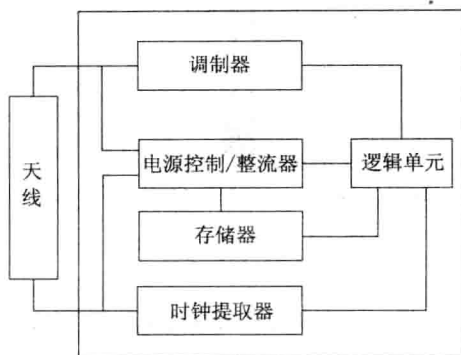


图 1.2 微芯片内部结构原理示意图

b. 天线

天线是电子标签与读写器的空中接口,不管是何种电子标签读写设备均少不了天线或耦合线圈。天线用于接收读写器的射频能量和相关的指令信息,发射带有标签信息的反射信号。标签天线设计与标签相关,其长度与标签波长成正比。一个偶极子天线由直线电导体组成,总长度是 $1/2$ 波长。双偶极子天线由 2 个偶极子组成,大大降低了标签的敏感性。因此,读写器可以在不同的标签环境下读标签。叠偶天线由 2 个或 2 个以上的直电导体并联在一起构成,每个导体长度为 $1/2$ 波长。当 2 个导体折叠时称为 2 线折叠偶极子天线,由 3 个导体折叠的偶极子称为 3 线折叠偶极子天线。图 1.3 为偶极子天线的结构示意图。

一般情况下,一个标签天线长度远超过标签微芯片大小,因此最终由天线尺寸决定一个标签的物理尺寸。天线设计可以基于以下几个因素:一是标签同读写器之间的距离;二是标签同读写器之间的方位和角度;三是产品类型;四是标签的运动速度;五是读写器天线极化类型。微芯片和天线之间的连接点是标签最薄弱的地方,如果这些连接点受损,则标签可能失效或性能显著下降。

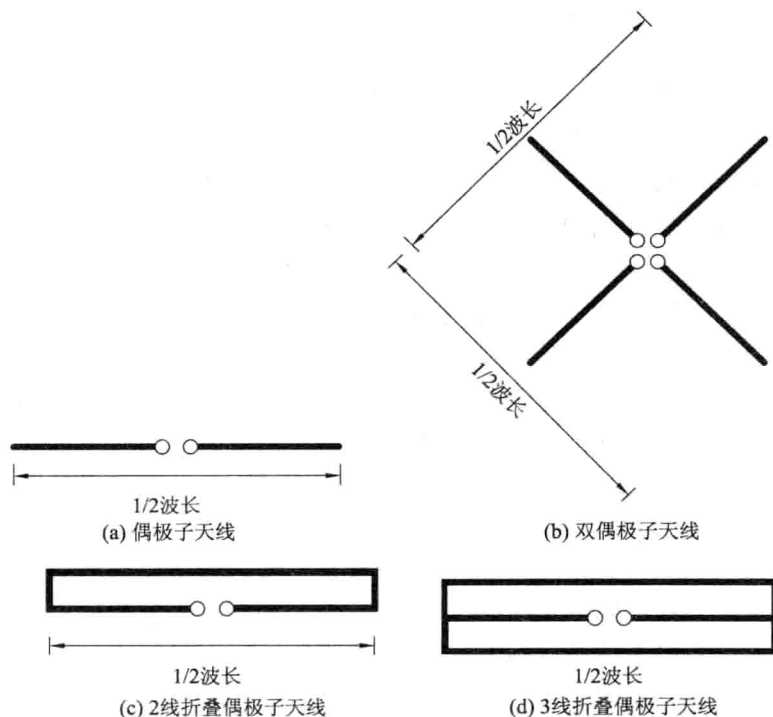


图 1.3 偶极子天线结构

目前,标签天线是采用薄带的金属(如铜、银或铝)构成的。然而,未来有可能会直接使用导电油墨、碳或铜镍将天线印刷在标签标识、容器、产品的包装上。是否将这种印刷技术也用于微芯片则正在研究中。未来这些先进的技术可能使制作一个 RFID 电子标签就像使用计算机打印一个条形码或物品的包装条一样容易,这样 RFID 标签价格可能会大幅下降。

被动式电子标签具有构造简单、价格低、寿命长和抗恶劣环境等特点。例如,有些标签可以在水下工作,有些标签具有抗化学腐蚀和抗酸能力。

被动式电子标签广泛用于各种场合,如门禁或交通系统、安

全保障系统、身份证和消费卡等。

② 主动式电子标签

主动式电子标签有一个板载电源(如电池或太阳能电池)为标签电子电路工作提供能量。主动式电子标签可以主动向读写器发送数据,它不需要读写器发射来激活数据传输。板载电路包括微处理器、传感器、输入/输出端口和电源电路等。因此,这类电子标签可以测量环境温度和生成平均温度数据,然后将这些数据、当时日期和唯一标识符等发送到读写器。

主动式电子标签同读写器之间的通信始终由标签主动发起,读写器做出响应。这类标签中,不管读写器是否存在,标签都能够连续发送数据。另外,这类标签在读写器没有询问时可以进入休眠状态或低功耗状态,从而节省电池能量,而且读写器可以通过发出适当的命令唤醒休眠的电子标签。因此,与主动连续发送数据的电子标签相比,这类标签通常具有较长的生存时间。标签仅在读写器询问时发送数据,可以减少大量的电磁射频噪声。这类主动式电子标签也称为发射器/接收机(或应答器)。

主动式电子标签的阅读距离一般在 30 m 以上。主动式电子标签通常包括微芯片、天线、板载电源和板载电子电路等。其中,天线以射频组件的形式发送标签信号和接收读写器的信号响应。半主动式标签一般由铜薄带金属组成。微芯片和天线构成与被动式电子标签相同,区别在于板载电源和板载电子电路部分。

a. 板载电源

所有的主动式电子标签都有板载电源(电池)为板载电子提供能量和发送数据。根据电池的使用寿命,一般主动式电子标签寿命为 2~7 年,决定寿命的因素之一是电子标签发送数据的时间间隔,间隔越大,电池持续时间越长,标签的寿命越长。例如,标签由每隔几秒钟发送一次,增加到每分钟发送一次或每小时发送一次,这样会增加电池的寿命。另外,板载传感器和处理器也

会消耗电能,缩短电池寿命。当电池消耗完后,标签就停止发送数据,即使标签在读写器的读取范围内,读写器也无法读取标签信号,除非标签向读写器发送了电池状态信息。

b. 板载电子

板载电子可以使标签主动发送数据和完成一项特殊任务(如计算、显示某种参数值,执行传感器感知等),还可以提供同外部传感器的连接。因此,根据传感器的类型,这类标签可以完成各种各样的感知任务。换句话说,这个元件的功能是无限的,但是其功能和物理大小是成比例的,功能越强,物理大小越大,不过只要标签易于部署和没有硬件大小的限制,这种增长是可以接受的。

③ 半主动式电子标签

半主动式电子标签也有板载电源和完成特殊任务的电子元件,板载电源仅仅为标签的运算操作提供能量,其发送信号由读写器提供电源。半主动式电子标签也称为电池辅助电子标签。标签和读写器之间的通信始终是读写器处于主动发起方,标签是被动式响应。为什么使用半主动式电子标签而不用被动式电子标签?这是因为半主动式电子标签不像被动式电子标签一样由读写器激活,它可以读取一个更远距离的读写器信号。在读写器区域内,由于无须通电激活,标签有充分的时间被读写器读取数据,因此,即使标签目标在高速移动,它仍可被可靠地读取数据,并且半主动式电子标签通过使用透明和吸附性材料的射频使其具有更好的可读性。在理想条件下,半主动标签使用反向散射调制技术,其读写器距离在 30 m 以内。

(2) 读写器

读写器是一个捕捉和处理 RFID 标签数据的设备,它可以是单独的个体,也可以嵌入其他系统中。读写器也是构成 RFID 系统的重要部件之一,由于它能够将数据写到 RFID 标签中,因此称为读写器,但早期由于功能单一,在许多文献中称之为阅读器或