

射频识别技术是一种综合利用多门学科、多种技术的应用技术。所涉及的关键技术包括芯片技术、天线技术、无线收发技术、数据变换与编码技术以及电磁场与微波技术等。

### 3.1 自动识别技术

自动识别技术就是应用一定的装置,通过被识别物件和识别装置之间的接近活动,主动地获取被识别物件的相关信息,并提供给后台计算机系统来完成相关后续处理的一种技术。常用的自动识别技术有条形码识别技术、磁卡(条)和 IC 卡技术、射频识别技术、图像识别技术、光学字符识别(OCR)技术和生物识别技术等。本章主要介绍条形码、磁卡(条)、IC 卡和射频识别技术的基本概念和工作原理,并给出基于射频识别技术应用系统的开发案例,供读者参考。

#### 3.1.1 条形码识别技术

条形码技术是集条码理论、光电技术、计算机技术、图像技术、条码印制技术于一体的针对识别技术。条形码技术具有速度快、准确率高、可靠性强、寿命长、成本低等特点,因而被广泛应用。条形码(简称条码)由一组规则排列的条、空和对应的字符组成,用以表达一组信息的图形标识符。“条”指对光线反射率较低的部分,“空”指对光线反射率较高的部分,这些条和空组合的数据表达一定的信息,并能够用特定的设备识读,转换成与计算机兼容的二进制和十进制信息。

##### 1. 条码的编码

条码的编码指按一定的规则,用条、空图案表示数字或字符集合。条码编码方法有两种:宽度调节法和模块组配法。宽度调节法指条码的条(空)宽的宽窄设置不同,用宽单元表示二进制 1,窄单元表示二进制 0;模块组配法指条码符号中每个字符的条与空分别由若干个模块组配而成,模块宽的条表示二进制 1,模块宽的空表示二进制 0。

## 2. 模块的概念

构成条码的基本单位是模块,模块是指条码中最窄的条或空。模块的宽度通常以 mm 或 mil<sup>①</sup>(千分之一英寸)为单位。构成条码的一个条或空称为一个单元,一个单元包含的模块数是由编码方式决定的。在有些码制中(如 EAN 码),所有单元由一个或多个模块组成;而另一些码制,如 39 码中,所有单元只有两种宽度,即宽单元和窄单元,其中的窄单元即为一个模块。

## 3. 条码符号的密度

密度指单位长度的条码所表示的字符个数。对于一种码制而言,密度主要由模块的尺寸决定,模块尺寸越小,密度越大,所以密度值通常以模块尺寸的值来表示(如 5mil)。通常 7.5mil 以下的条码称为高密度条码,15mil 以上的条码称为低密度条码,条码密度越高,要求条码识读设备的性能(如分辨率)也越高。高密度的条码通常用于标识小的物体,如精密电子元件。低密度条码一般应用于远距离阅读的场合,如仓库管理。

## 4. 条码的宽窄比

对于只有两种宽度单元的码制,宽单元与窄单元的比值称为宽窄比,一般为 2~3(常用的有 2:1、3:1)。宽窄比较大时,阅读设备更容易分辨宽单元和窄单元,因此比较容易阅读。

## 5. 条码的对比度

条码的对比度(PCS)是条码符号的光学指标,PCS 值越大则条码的光学特性越好。其数学表达式为

$$PCS = (RL - RD) / RL \times 100\%$$

其中 RL 表示条的反射率;RD 表示空的反射率。

## 6. 条码字符集

字符集指某种条码所含全部条码字符的集合。条码字符中字符总数不能大于该种码制的编码容量。

## 7. 条码的连续性与非连续性

连续性指每个条码字符之间不存在间隔;相反,非连续性指每个条码字符之间存在间隔。连续性条码密度相对较高,非连续性条码密度较低。

## 8. 定长条码与非定长条码

定长条码指仅能表示固定字符个数的条码;非定长条码指能表示可变字符格式的条码。定长条码由于限制了字符个数,译码误读率相对较低;非定长条码具有灵活、方便等优点,但译码误读率较高。

---

<sup>①</sup> 1mil=0.0254mm。

## 9. 条码双向可读性

条码双向可读性指从条码的左、右两侧开始扫描都可被识读的特性。双向可读的条码，识读过程译码器需要判别扫描方向。

## 10. 条码的码制

码制指条码符号的类型，不同类型的条码符号，其条、空图案对数据的编码方法各有不同。每种码制都具有固定的编码容量和所规定的条码字符集。目前常用的一维码码制有 EAN 码、UPC 码、交叉 25 码、39 码、128 码以及库德巴(Codabar)码等。不同的码制有各自应用的领域。一个完整的条码的组成次序依次为静区(前)、起始符、数据符、中间分割符(主要用于 EAN 码)、校验符、终止符、静区(后)，如图 3-1 所示。



图 3-1 条码符号的组成

其中，静区指条码左右两端外侧与空的反射率相同的限定区域。它能使阅读器进入准备阅读的状态，当两个条码相距较近时，静区则有助于对它们加以区分，静区的宽度通常应不小于 6mm。起始/终止符指位于条码开始和结束的若干条与空，标志着条码的开始和结束，同时提供了码制识别信息和阅读方向的信息。数据符是位于条码中间的条、空结构，它包含条码所表达的特定信息。

### 3.1.2 一维条码与二维条码

目前，按照维数的不同，条形码可以分为一维条码和二维条码两种。

#### 1. 一维条码

一维条码指通常说的传统条码，只在一个方向(一般是水平方向)上表达信息。按照用途分为商品用条码(如 EAN 码和 UPC 码)和物流条码(如 EAN128 码、ITF 码、39 码)两种。常用的一维条码——商品用条码如图 3-2 所示，其尺寸用基本宽度单位——模块表示，其中两条中间分隔符将数据符分成两半。



图 3-2 商品用条码

(1) EAN 码。EAN 码是全球推广应用的商品用条码，是定长的纯数字条码，有 EAN-13、EAN-8 码。EAN-13 码的一个模块宽度为 0.33mm，左空最小宽度为 11 个模块，右空最小宽度为 7 个模块。商品条码的每一个字符由 2 个条、2 个空组成，一个字符的宽度为 7 个模块。EAN-8 码的起始符、中间分隔符、校验符和终止符的结构与 EAN-13 码相同，其左右空的最小宽度均为 7 个模块。

(2) UPC 码。UPC 码是美国统一编码委员会制定的一种在北美地区应用的条码。在

技术上 UPC 码与 EAN 码完全一样,定长、纯数字型码,有 5 种版本,常用的商品用条码版本为 UPC-A 码和 UPC-E 码。UPC-A 码只包括 12 个数字,是 EAN-13 码的一种特殊形式,其符号长度与 EAN-13 码符号相同,条的高度也相同,但整个标准尺寸的条码符号的高度低于 EAN-13 码的 0.33mm。UPC-A 码左侧第一个数字字符为系统字符,最后一个字符是校验字符,它们分别放在起始符与终止符的外侧,表示系统字符与校验字符的条码符号的条长,且起始符与终止符的条码字符的条长相等。UPC-E 码左侧第一个字符为编码系统字符,只能取数值 0,其终止符与 UPC-A 码不同。

(3) UCC/EAN-128 码。UCC/EAN-128 码是一种连续型非定长条码,是唯一能够表示应用标识的条码符号,能够更多地标识贸易单元中需要表示的信息,如产品批号、规格、生产日期、有效期等。UCC/EAN-128 码是由一组平行的条和空组成的长方形图案。每个字符由 3 个条和 3 个空共 11 个模块组成,终止符由 4 个条和 3 个空共 13 个模块组成。

(4) 交叉 25 码。交叉 25 码是一种高密度的物流码,第一个数字由条开始,第二个数字由空组成。应用于商品批发、仓库、机场、生产/包装识别。

(5) 39 码。39 码是一种可表示数字、字母等信息的条码,主要用于工业、图书及票证等方面的自动化管理,目前使用极为广泛。

(6) 库德巴码。库德巴码可表示数字和字母信息的条码,主要用于医疗卫生、图书情报、物资流通等领域自动识别。

## 2. 二维条码

随着条码技术应用领域的不断扩展,传统的一维条码渐渐表现出了它的局限性。首先,使用一维条码,必须通过连接数据库的方式提取信息才能明确条码所表达的信息含义,因此在没有数据库或者不便联网的地方,一维条码的使用就受到了限制。其次,一维条码表达的只能为字母和数字,而不能表达汉字和图像,在一些需要应用汉字的场合,一维条码便不能很好地满足要求。另外,在某些场合下,大信息容量的一维条码通常受到标签尺寸的限制,也给产品的包装和印刷带来了不便。二维条码是用某种特定的几何图形按一定规律在平面(二维方向)上分布的黑白相间的图形。它在代码编制上利用计算机内部的逻辑基础的“0”和“1”,使用若干个与二进制相对应的几何图形体来表示文字数值信息,通过图像输入设备或光电扫描设备自动识读来实现信息自动处理。二维条码解决了一维条码存在的许多问题,能够在横向和纵向两个方位同时表达信息,不仅能在很小的面积内表达大量的信息,而且能够表达汉字和存储图像。

常见的二维条码可分为行排式(堆积式)和矩阵式(棋盘式)两大类,包括行排式、矩阵式以及自主知识产权的汉信码、CM 码、GM 码、龙贝码。

### 1) Code49 码

Code49 码是一种多层、连续型、可变长度的条码符号,它可以表示全部的 128 个 ASCII 字符,如图 3-3 所示。每个 Code49 条码符号由 2~8 层组成,每层有 18 个条和 17 个空。层与层之间由一个层分隔条分开。每层包含一个层标识符,最后一层包含表示符号层数的信息。

### 2) Code16K 码

Code16K 码是一种多层、连续型、可变长度的条码符号,可以表示全 ASCII 字符集的

128 个字符及扩展 ASCII 字符,如图 3-4 所示。它采用 UPC 及 Code128 字符。一个 16 层的 Code16K 符号,可以表示 77 个 ASCII 字符或 154 个数字字符。Code16K 码通过唯一的起始符/终止符标识层号,通过字符自校验及两个模数 107 的校验字符进行错误校验。



图 3-3 Code49 条码

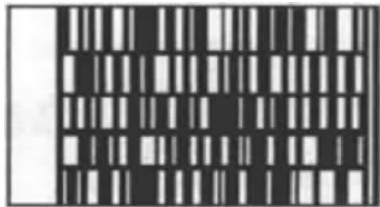


图 3-4 Code16K 码

### 3) PDF(Portable Data File,便捷数据文件)417 码

PDF417 码是一种多层、可变长度、具有高容量和纠错能力的二维码,如图 3-5 所示。它可以表示超过 1100 字节、1800 个 ASCII 字符或 2700 个数字的数据,可通过线性或二维成像设备识读。

### 4) Codeone 码

Codeone 码是一种由成像设备识别的矩阵式二维码。条码符号中包含可由快速线性探测器识别的图案,每一模块的宽和高的尺寸为 X,如图 3-6 所示。Codeone 码共有 10 个版本及 14 种尺寸。最大的符号,即版本 B 可以表示 2218 个数字字母型字符或 3550 个数字,以及 560 个纠错字符。Codeone 码可以表示全部 256 个 ASCII 字符,另加 4 个功能字符及 1 个填充字符。

### 5) DataMatrix 码

DataMatrix 码是矩阵式二维码,如图 3-7 所示。DataMatrix 码有 ECC000-140 和 ECC200 两种类型,可表示全部 ASCII 字符及扩展 ASCII 字符,最大数据容量为 2335 个文本字符、2116 个数字或 1556 字节。



图 3-5 PDF417 码



图 3-6 Codeone 码



图 3-7 DataMatrix 码

### 6) MaxiCode 码

MaxiCode 码是一种固定长度的矩阵二维码,如图 3-8 所示。MaxiCode 码由紧密相连的多行六边形模块和位于符号中央位置的定位图形组成,共有 7 种模式,可表示全部 ASCII 字符和扩展 ASCII 字符,其最大数据容量为 93 个文本字符、138 个数字。

### 7) QR 码

QR 码是日本电装公司在 1994 年向世界公布的快速响应矩阵码的简称。它可容纳大量信息,可表示 7089 个字符,密度高,可对英文、数字、汉字进行编码,360°全方位高速阅读,即使损坏或污损也可读取,具有识读速度快、数据密度大、占用空间小的优势,如图 3-9 所示。

### 8) 汉信码

汉信码是中国物品编码中心研制的具有自主知识产权的矩阵二维码,如图 3-10 所示。它具有汉字编码能力强、抗污损、抗畸变识读能力、识读速度快、信息密度高、纠错能力强、图形美观等优点,是一种十分适合在我国广泛应用的二维码。



图 3-8 MaxiCode



图 3-9 QR 码



图 3-10 汉信码

### 9) CM 码(紧密矩阵码)

CM 码是中国自主知识产权的一种高容量接触式识读的二维码,如图 3-11 所示。它具有低误码率、编码信息广泛、支持用户自定义信息、支持隐形防伪印刷等优点。CM 码长宽比可任意调整,具备 1~8 共 8 个纠错等级,极大地提高了条码自身的纠错能力,采用了先进的结构设计和数据压缩模式,其编码数据容量有了质的飞跃,在第 6 级纠错的情况下仍可达到 32KB 容量。

### 10) GM 码(网络矩阵码)

GM 码是深圳矽威公司研发的一种二维码,具有纠错能力强、污损容忍度高、抗形变能力强、识读范围大、储存密度高等优点,如图 3-12 所示。目前,在电子商务、电子政务、物流、产业链及移动增值业务等方面得到广泛应用。

### 11) 龙贝码

龙贝码是目前中国拥有完全自主知识产权的二维码,如图 3-13 所示。它具有全方位同步信息,无剩余码字与剩余位,无版本限制,任意调节外形及长宽比,数据结构化压缩和编码,多种及多重语言系统,多重信息加密功能等优点。此外,它还有极强的抗破损、抗污染能力,条码表面任意区域的污损都不会影响数据信息的正确性。龙贝码应用于证照、物流、电子商务、国防军事、商品流通和公共安全等领域。



图 3-11 CM 码



图 3-12 GM 码



图 3-13 龙贝码

### 3.1.3 条码的识读

条码符号是图形化的编码符号。对条码符号的识读需要借助一定的专用设备,将条码符号中含有的编码信息转换成计算机可识别的数字信息。从系统结构和功能上讲,条码识读系统由阅读系统、信号整形、译码和计算机系统部分组成,如图 3-14 所示。

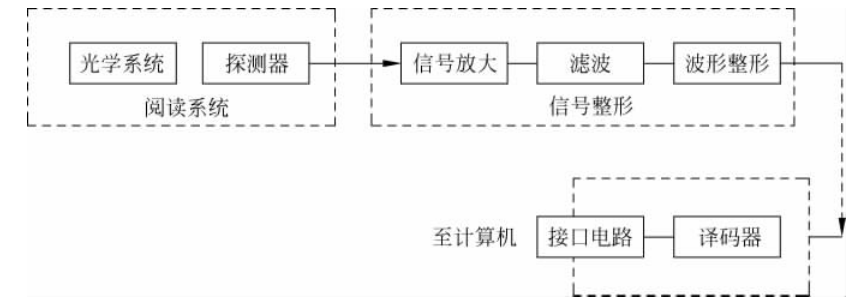


图 3-14 条码识读系统的组成

#### 1. 阅读系统

阅读系统由光学系统和光电探测器(即光电转换器件)组成,它完成对条码符号的光学扫描,并通过光电探测器,将条码条空图案的光信号转换成电信号。条码阅读系统的主体是光学系统,如图 3-15 所示,包含两部分:①一个扫描器光路,用于产生一个光点,该光点能沿某一轨迹做直线运动;②一个条码符号反射光的接收系统。当条码扫描器光源发出的光照射到条码上时,反射光经凸透镜聚焦后,照射到光电转换器上。光电转换器接收到与空和条相对应的强弱不同的反射光信号,将光信号转换成相应的电信号输出到放大电路进行放大。

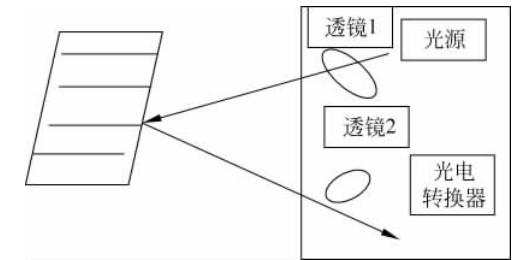


图 3-15 条码阅读的光学系统

#### 2. 信号整形

信号整形部分由信号放大、滤波、波形整形部分组成。它能够将接收到的光信号经光电转换器转换成电信号,并通过放大电路进行放大。放大后的电信号仍然是一个模拟信号,为了避免由条码中的疵点和污点导致错误信号,在放大电路后加一整形电路,把模拟信号转换成数字信号,以便计算机系统能准确判断。信号整形系统的功能在于将条码的光电扫描信号处理成为标准电位的矩形波信号,其高低电平的宽度和条码符号的条空尺寸相对应。

### 3. 译码

译码部分一般由嵌入式微处理器构成,其功能是对条码的矩形波信号进行译码。它首先通过识别起始、终止字符来判断出条码符号的码制及扫描方向,通过测量脉冲数字电信号0、1的数目来判断条和空的数目,通过测量0、1信号持续的时间来判别条和空的宽度,由此得到被识读的条码的条和空的数目以及相应的宽度和所用的码制。再根据码制所对应的编码规则,将条形符号转换成相应的数字、字符信息。最后,通过接口电路,将所得的数字和字符信息通过接口电路输出到条码应用系统中的计算机系统数据终端。

综上所述,条码识读的基本工作原理如下:由光源发出的光线经过光学系统照射到条码符号上面,被反射回来的光经过光学系统成像在光电转换器上,使之产生电信号,信号经过电路放大后产生一模拟电压,它与照射到条码符号上被反射回来的光成正比,再经过滤波、整形,形成与模拟信号对应的方波信号,经译码器解释为计算机可以直接接收的数字信号。

## 3.2 磁卡和 IC 卡技术

磁卡和 IC 卡是自动识别中常见的识别技术。在 IC 卡推出之前,从世界范围来看,磁卡由于技术基础好,得到了广泛应用;但与后来发展起来的 IC 卡相比,存在信息存储量小,磁条易读出和伪造,保密性差,以及需要计算机网络或中央数据库的支持等缺点。相比之下,IC 卡具有信息安全、便于携带、标准化方面比较完善等优点,因此迅速发展,在身份认证、银行、电信、公共交通、车场管理等领域得到越来越多的应用。

### 3.2.1 磁卡技术

磁卡一般作为识别卡用,可以写入、储存、改写信息内容,特点是可靠性强,记录数据密度大,误读率低,信息输入、读出速度快。由于磁卡的信息读写相对简单、容易,使用方便,成本低,从而较早地获得了应用发展,并进入了多个应用领域,如金融、财务、邮电、通信、交通、旅游、医疗、教育、宾馆等。

#### 1. 磁卡简介

磁卡(Magnet IC Card)或磁条卡(Magnet IC Stripe Card),是以液体磁性材料或磁条为信息载体,将液体磁性材料涂覆在卡片上(如存折)或将宽6~14mm的磁条压贴在卡片上,如常见的银联卡等。磁条卡分为两种:高磁(HICO)卡 and 低磁(LOCO)卡。

#### 2. 磁卡的物理结构及数据结构

一般而言,应用于银行系统的磁卡上的磁带有3个磁道(Track),分别为Track1、Track2及Track3,每个磁道都记录着不同的信息,这些信息有不同的应用,也有一些应用系统的磁卡只使用了两个磁道,甚至只有一个磁道。磁道的应用分配一般是根据特殊的使



用要求而定制的,如银行系统、证券系统、门禁控制系统、身份识别系统、驾驶员驾驶执照管理系统等,都会对磁卡上的3个磁道提出不同的应用格式要求。符合国际流通应用系统磁卡上的3个磁道的标准定义如下。

(1) Track1。Track1的数据标准制定最初由国际航空运输协会(International Air Transportation Association,IATA)完成。Track1上的数据和字母记录了航空运输中的自动化信息,如货物标签信息、交易信息、机票订票/订座情况等。这些信息由专门的磁卡读写设备进行数据读写处理,并且在航空公司中有一套应用系统为此服务。应用系统包含一个数据库,所有这些磁卡的数据信息都可以在此找到记录。

(2) Track2。Track2的数据标准制定最初由美国银行家协会(American Bankers Association,ABA)完成。该磁道上的信息已经被当今很多银行系统所采用。它包含了一些最基本的相关信息,如卡的唯一识别号码、卡的有效期等。

(3) Track3。Track3的数据标准制定最初由财政行业(THRIFT)完成,主要应用于一般的储蓄、贷款和信用单位等那些需要经常对磁卡数据进行更改、重写的场合。典型的应用包括现金售货机、预付费卡(系统)、借贷卡(系统)等。这类应用很多都是处于“脱机”(Off Line)的模式,即银行(验证)系统很难实时对磁卡上的数据进行跟踪,表现为用户卡上磁道上(Tracks)的数据与银行(验证)系统所记录的当前数据不同。

### 3. 磁道上允许使用的数字和字符

在磁卡上的3个磁道一般都使用位(bit,b)方式来编码。根据数据所在的磁道不同,由5b或7b组成1字节。

(1) Track1(IATA)的记录密度为210bpi(位每英寸),可以记录0~9数字及A~Z字母等,总共可以记录多达79个数字或字符(包含起始结束符和校验符),每个字符(1字节)由7b组成。由于Track1上的信息不仅可以用数字0~9来表示,还能用字母A~Z来表示信息,因此Track1上信息一般记录了磁卡的使用类型、范围等一些“标记”性、“说明”性信息。例如在银行用卡中,Track1记录了用户的姓名、卡的有效使用期限以及其他的一些“标记”信息。

(2) Track2(ABA)的记录密度为75bpi,可以记录0~9数字,不能记录A~Z字符。总共可以记录多达40个数字(包含起始结束符和校验符),每个数据(1字节)由5b组成。

(3) Track3(THRIFT)的记录密度为210bpi,可以记录0~9数字,不能记录A~Z字母,总共可以记录多达107个数字或字符(包含起始结束符和校验符),每个字符(1字节)由5b组成。

由于Track2和Track3上的信息只能用数字0~9等来表示,不能用字母A~Z来表示信息,因此在银行用卡中,Track2、Track3一般用以记录用户的账户信息、款项信息等,当然还有一些银行所要求的特殊信息。

在实际的应用开发中,如果希望在Track2或Track3中表示数字以外的信息,如ABC等,一般应采用按照国际标准的ASCII码来映射。例如,要将字母A记录在Track2或Track3上时,则可以用A的ASCII值0x41来表示。0x41可以在Track2或Track3中用两个数据来表示4和1,即0101和0001。

#### 4. 磁卡识别系统的通信

磁卡技术是接触识读,与条码相比主要有3点不同:①可进行部分读写操作;②给定面积的编码容量比条码大;③对于物件逐一标识成本比条码高。接触性识读,其最大的缺点是灵活性太差。磁卡与读卡器之间的通信是通过磁场进行的。读出时需要将磁卡划过读卡器,读卡器再通过磁头拾取磁卡上磁极性的变化;写入时,读卡器产生一个磁场,通过在磁卡上一个较小的区域内有效地改变磁极性的取向向磁卡写入信息。磁卡与读写器之间交换信息的速率一般为12 000b/s。与磁卡有关的通信参数包括记录介质的物理特性、磁卡上磁道的定位、编码技术、译码技术和数据格式等。磁卡上的信息容易被其他磁场更改或被消除,或由于环境的因素而造成损害。为避免这些损坏,往往需要开发抗磁性较强的磁卡。

### 3.2.2 IC卡技术

IC卡是超大规模集成电路技术、计算机技术以及信息安全技术等发展的产物。目前这项技术已成为一门新兴的技术产业,并以其强大的生命力飞速发展。

#### 1. 何谓IC卡

20世纪70年代初,法国人罗兰德·莫瑞诺提出IC卡的概念。IC卡即集成电路卡(Integrated Circuit Card),也称为智能卡(Smart Card)、芯片卡,是指以芯片作为交易介质的卡。它将集成电路芯片镶嵌于塑料基片的指定位置上,利用集成电路的可存储特性,保存、读取和修改信息。

IC卡的芯片尺寸很小,一般内部无电源,用EEPROM来存储数据,这样数据不会因断电而丢失,又可方便修改数据。实际上,目前流行的各种卡都是混合型的芯片,即在芯片内部采用多种类型的存储芯片。这主要是因为不同的存储器所占的体积不同,这对超微芯片的生产极为重要。另外,不同的存储器各有各的特点,因此操作系统存储区常采用ROM,CPU的内部缓存区采用RAM,数据应用区采用EEPROM。IC卡应用系统由IC卡、读写器以及后台计算机管理系统组成。其中,读写器是一种接口设备(IFD)。它是IC卡与应用系统之间的桥梁,不同系统读写器差别很大,但都具备对卡的如下基本操作功能:①向卡提供稳定的电源和时钟,向无触点卡发射射频信号,并提供卡工作所需的能量;②IC卡插入/退出的识别和控制;③实现读写器与卡之间的数据交换,并提供控制信号;④对加密数据系统提供相应的加密/解密处理及密钥管理机制;⑤提供外部控制信息,与其他设备进行信息交换。

#### 2. IC卡的类型

##### 1) 按功能分类

根据IC卡芯片的功能有如下几种类型。

(1) 存储器卡。存储器卡的内嵌芯片相当于普通串行EEPROM存储器。这类IC卡信息存储方便,使用简单,价格便宜;但由于它本身不具备信息保密功能,一般只能用于保密性要求不高的应用场合。

(2) 逻辑加密卡。逻辑加密卡内嵌芯片在存储区外增加了控制逻辑,在访问存储区之前需要核对密码,只有密码正确时才能进行存取操作。这类 IC 卡信息保密性较好,使用方法与普通存储器卡类似。

(3) CPU 卡。CPU 卡内嵌芯片相当于一个特殊类型的单片机,内部除了带有控制器、存储器、时序控制逻辑等外,还带有算法单元和操作系统。CPU 卡具有存储容量大、处理能力强、信息存储安全等特性,广泛用于信息安全性要求特别高的场合。

(4) 超级智能卡。这类卡上具有 MPU 和存储器,并装有键盘、液晶显示器和电源,有的还具有指纹识别装置等。

## 2) 根据数据读写方式分类

根据 IC 卡对卡内数据进行读写方式的不同可以分为接触式 IC 卡和非接触式 IC 卡两大类。接触式 IC 卡具有标准形状的铜皮触点,读写机具上有一个带触点的卡座,通过卡座上的触点与卡上的铜皮触点的接触后,实现对卡上数据进行读写和处理。接触式 IC 卡可包含一个微处理器,使其成为真正的智能卡,或者只是简单地成为一个存储卡(作为保密信息存储器件)。国际标准 ISO 7816 对此类 IC 卡的机械特性、电器特性等进行了严格的规定。通常所说的 IC 卡多指接触式 IC 卡。

非接触式 IC 卡(又称感应式 IC 卡、射频卡)与接触式 IC 卡的区别是卡片内封装有感应天线,无外露部分,对卡上芯片的读写和操作是通过读写机具(基站)发出的电磁波来进行的。其内嵌芯片除了 CPU、逻辑单元、存储单元外,增加了射频收发电路。国际标准 ISO 10536 阐述了对非接触式 IC 卡的规定。这类 IC 卡一般用于使用频繁、信息量相对较少、可靠性要求较高的场合。

## 3) 根据应用领域分类

若根据应用领域划分 IC 卡类型,可分为金融芯片卡和非金融芯片卡两种。金融芯片卡又分为信用卡和现金储值。金融芯片卡已成为全球银行卡的应用趋势,市场上有两种金融芯片卡标准:一种是国际上应用较多的 EMV 标准;另一种是我国央行的 PBOC 2.0 标准。从 2014 年起,我国各银行将陆续停发磁条卡,只发行金融芯片 IC 卡。

# 3. IC 卡系统通信

接触式 IC 卡系统主要由收(付)费卡、读卡器、中央控制单元三部分组成。接触式 IC 卡内通信是通过收(付)费卡表面的电接触点与读写器装置之间进行接触而实现通信的,因而在实际操作时收(付)费卡必须插入读卡器才能传送消息。接触式 IC 卡收(付)费卡与读写器装置之间的信息传递速率通常为 9600b/s。接触式 IC 卡的 ISO 标准体系指标(包括体系方式和规程)在 ISO 7816 的第二部分中做了说明。大多数接触式 IC 卡的电源是由读写器通过收(付)费卡表面的触点提供的。在有些情况下,电池也可装入收(付)费卡中。依照 ISO 规定,IC 卡可在  $5V \pm 0.5V$  及  $1 \sim 5MHz$  的任何频率(时钟速率)下正常工作。

非接触式 IC 卡系统采用射频通信技术在读卡器和 IC 卡之间采用半双工通信方式,以 1356MHz 的高频电磁波为媒介,采用 106kb/s(载波频率的 128 分频)的传输速率进行通信。由于基带数字信号不可以直接进行传输,在读卡器和 IC 卡之间进行通信时,需要对该基带信号进行调制和解调处理。非接触式 IC 卡系统是一个数字通信系统,一般采用数字调制方法进行调制。在读卡器发送给非接触式 IC 卡数据时,采用 100%或 10%的幅度调制。

当非接触式 IC 卡给读卡器返回数据时,采用负载调制方式。负载调制是幅度调制的一种形式,它是通过改变天线的负载,从而改变天线两端信号幅度的一种调制方式。

#### 4. IC 卡与磁卡的区别

IC 卡与磁卡有较大的区别。IC 卡是通过卡里的集成电路存储信息,而磁卡是通过卡内的磁力记录信息的。IC 卡通过芯片上写有的密钥参数进行识别,在使用时必须通过读写设备间特有的双向密钥认证。它在出厂时,先对 IC 卡进行初始化(加密);交付使用时还需通过 IC 卡发行系统将各用户卡生成自己系统的专用密钥。因此,IC 卡的信息安全性很高。

### 3.3 RFID 技术

射频识别(RFID)技术是众多自动识别技术中的一种,也是当今第三次信息浪潮——物联网的关键技术之一。有人称其为一项具有革命性的技术。射频识别技术的应用领域广泛,发展迅速,正在逐步走向成熟。随着高科技的蓬勃发展,智能化管理已经走进了人们的生活,一些门禁卡、第二代身份证、公交卡、超市的物品标签等,这些卡片正在改变人们的生活。其实秘密就在这些卡片都使用了射频识别技术,可以说射频识别已成为人们日常生活中最简单的身份识别系统。射频识别技术带来的经济效益已经开始呈现。射频识别是结合了无线电、芯片制造及计算机等学科的新技术。其中,无线射频识别技术是一种非接触的自动识别技术,其基本原理是利用射频信号和空间耦合(电感或电磁耦合)传输特性,实现对被识别物体的自动识别。

#### 3.3.1 RFID 技术的现状和发展

RFID 技术的前身可以追溯到第二次世界大战(约 1940 年)期间,当时该技术被英军用于识别敌我双方的飞机。采用的方法是在英方飞机上安装识别标签(类似于现在的主动式标签),当雷达发出微波查询信号时,装在英方飞机上的识别标签就会作出相应的回执,使得发出微波查询信号的系统能够判别出飞机的身份,此系统称为敌我识别(Identity Friend or Foe,IFF)系统,目前世界上的飞行管制系统仍是在此基础上建立的。而被动式 RFID 技术应该归结为雷达技术的发展及应用,因此其历史可追溯到 20 世纪初期。1922 年雷达诞生,雷达发射无线电波并通过接收到的目标反射信号来测定和定位目标的位置及其速度。随后,在 1948 年出现了早期研究 RFID 技术的一篇具有里程碑意义的论文 *Communication by Means of Reflected Power*。后来信息技术如晶体管集成电路、微处理芯片、通信网络等新技术的发展,拉开了 RFID 技术的研究序幕。在 20 世纪 60 年代出现了一系列的 RFID 技术论文、专利及文献。

RFID 的应用已于 20 世纪 60 年代应运而生,出现了商用 RFID 系统——电子商品监视(Electronic Article Surveillance,EAS)设备。EAS 被认为是 RFID 技术最早且最广泛应用于商业领域的系统。

20 世纪 70 年代,RFID 技术成为人们研究的热门课题,各种机构都开始致力于 RFID 技术的开发,出现了一系列的研究成果,并且将 RFID 技术成功应用于自动汽车识别 (Automatic Vehicle Identification, AVI)的电子计费系统、动物跟踪以及工厂自动化等。

20 世纪 80 年代是充分使用 RFID 技术的 10 年。虽然世界各地开发者的方向有所不同,但是美国、法国、意大利、西班牙、挪威以及日本等国家都在不同应用领域安装和使用 RFID 系统。第一个实用的 RFID 电子收费系统于 1987 年在挪威正式使用。1989 年美国达拉斯南路高速公路也开始使用不停车收费系统。在此期间,纽约港备局和新泽西港备局开始在林肯路的汽车入口处使用 RFID 系统。

20 世纪 90 年代是 RFID 技术繁荣发展的 10 年,主要体现在美国大量配置了电子收费系统。1991 年在俄克拉荷马州建成了世界第一个开放的高速公路不停车收费系统,汽车可以高速通过计费站。世界上第一个包括电子收费系统和交通管理的系统于 1992 年安装在休斯敦,该系统中首次使用了 Title21 标签,而且这套系统和安装在俄克拉荷马州的 RFID 系统相兼容。同时,在欧洲也广泛使用了 RFID 技术,如不停车收费系统、道路控制和商业上的应用。而一种新的尝试是德州仪器(TI)公司开发的 TIRIS 系统用于汽车发动机的启动控制。由于已经开发出了小到能够密封到汽车钥匙中的标签,因此 RFID 系统可以方便地应用于汽车防盗中,如日本丰田汽车、美国福特汽车、日本三菱汽车和韩国现代汽车的欧洲车型已将 RFID 技术用于汽车防盗系统中。RFID 技术已经在许多国家和地区的公路不停车收费、火车车辆跟踪与管理中得到应用,如澳大利亚、中国、菲律宾、巴西、墨西哥、加拿大、日本、马来西亚、新加坡、新西兰、南非、韩国、美国和欧洲国家等。借助于电子收费系统,出现了一些具有新功能的 RFID 技术。例如,一个电子标签可以具有多少账号,分别用于电子收费系统、停车场管理、费用征收、保安系统以及社区管理。在美国达拉斯,车辆上有一个电子标签也能用于在北达拉斯的计费系统,并且可用于通过关口和停车场收费,以及在其附近的娱乐场所、乡村停车场、团体及商业住宅区中使用。

为适应数字化信息社会发展的需求,RFID 技术的研究与开发也正突飞猛进地发展。在美国、日本及欧洲等国家和地区正在研究各种各样的 RFID 技术。各种新功能的 RFID 系统不断地涌现,满足了市场各种各样的需求。从 20 世纪末到 21 世纪初,RFID 技术中的一个重大的突破就是微波肖特基(Schottky)二极管可以被集成在 CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)集成电路上。这一技术使得微波 RFID 电子标签只含有一个集成芯片成为可能。在这方面,IMB、Tagmaster, Micron、Single Chip System (SCS)、Motorola、Siemens、Microchip 以及日本的 Hitachi、Maxell 等公司表现积极。目前, Microchip、Hitachi、Maxell 和 Tagmaster 等公司已有单一芯片的不同频段的电子标签供应市场,而且已加入防碰撞协议(Anti-Collision Protocol),使得一个阅读器可以同时读出至少 40 个微波电子标签的内容信息,同时也增加了许多功能,如电子钱包需要的低功耗读写功能、数据加密功能等,为 RFID 系统的应用提供更加广泛的应用前景。

RFID 技术在我国也有一定范围的应用。自 1993 年我国政府颁布实施“金卡工程”计划以来,加速了我国国民经济信息化的进程。由此,各种 RFID 技术的发展及应用十分迅猛。1996 年 1 月,北京首都机场高速公路天竺收费站安装了不停车收费系统,该设备从美国 Amtech 公司引进。因该系统没有真正实现一卡通功能而限制了其速卡通用户的数量。为适应全国信息化技术的要求,我国铁道部于 1999 年开始投资建设自动车号识别系统,并

于2000年开始正式投入使用,作为电子清算的依据。该项目由兰州远望公司和哈尔滨铁路科学研究所共同研制;2001年7月,上海市虹桥国际机场组合式不停车电子收费系统(ETC)试验开通,被国家经贸委和交通部确定为“高等级公路电子收费系统技术开发和产业化创新”项目的示范工程;中国香港已有80多万辆过往关口的车辆使用了速通卡,大大加快了通关速度。与此相适应,深圳市海关正在建设不停车通关系统,在往来车辆上安装了具有防盗等功能的主、副两个微波电子标签。深圳市的机荷、梅观高速公路的不停车收费系统在2002年12月已进入试运行。在我国西部四川宜宾市建立了国内第一个RFID实验工程,用于市内车辆交通管理与不停车收费。在2001年,我国交通部也已宣布开发使用电子车牌管理系统,给RFID技术的应用增添了新的活力。在2005年时,IBM公司提出了一种Blue Bot系统,该系统由无线局域网的IEEE 802.11b和RFID标签一起组成,机器人身上携带RFID阅读器,由机器人在室内进行移动定位,通过对机器人身上携带的RFID阅读器的持续监测并对数据进行记录后分析,从而实现对机器人的室内移动定位。在2008年,有两位印度的学者将前文提到的LANDMARC算法改进应用到三维立体空间中,从而实现三维空间的空间定位。但是,这种尝试没有实质性的应用,没有搭建实际的三维立体空间环境进行实验,仅仅停留在理论仿真的层面。与此同时,在2008年,有两位来自法国的学者提出了一种名叫VIRE的系统,该系统也是通过对LANDMARC系统进行改进,将虚拟界标(Virtual Landmarks)的思想用于室内定位算法,并且所选环境是基于室内的三维立体空间环境。该系统将室内空间进行数学建模,将立体的室内空间模型化为一个已知长宽高的长方体。在该立方体内通过三维坐标体系进行网格化划分成多个小的长方体小格,并通过虚拟标签的思想假设在小格处放置标签,而在长方体顶部间隔式的放置一些RFID阅读器,通过安放的这些RFID阅读器进行读取,当检测到虚拟标签有交集时则对目标位置进行定位。2009年,为了降低定位成本,两位研究学者提出了一种将阅读器进行移动读取数据的算法。2014年,研究者们开始考虑天线方向对信号强度值接收的影响,所以在建立数据库的时候将方向考虑进来进行建立指纹库。2015年,学者们发现信号采集设备的多样性对定位精度也会产生很大的影响,于是采样归一化的思想将信号强度值进行归一化处理,从而降低设备多样性带来的定位误差问题。2016年,为解决当将观测值进行匹配射频地图库的时候,两个相邻位置RSS值不同造成不一致的现象,提出了一种多维核函数密度估计方法。通过引入空间核函数来丰富指纹库从而生成一种平滑的、一致的相似性分布进而估计最优位置。2017年,研究者们提出了一种将RSSI和相位信息结合,以距离为依据,将与阅读器距离具有相似性的标签进行划分,按照RSSI和相位为标准的聚类效果,确定候选标签进行定位。

### 3.3.2 射频识别技术概述

#### 1. 射频识别的定义

射频识别(RFID)是一种非接触式的自动识别技术,它利用射频信号及其空间耦合的传输特性,实现对静止或移动物品的自动识别。RFID常称为感应式电子芯片或近接卡、感应卡、非接触卡、电子标签、电子条码等。一个简单的RFID系统由阅读器(Reader)、应答器(Transponder)或电子标签(Tag)组成,其原理是由读写器发射一特定频率的无线电波能量

给应答器,用以驱动应答器电路,读取应答器内部的 ID 码。应答器的形式有卡、纽扣、标签等多种类型,电子标签具有免用电池、免接触、不怕脏污,以及芯片密码为世界唯一、无法复制、安全性高、长寿命等特点。所以,RFID 标签可以贴在或安装在不同物品上,由安装在不同地理位置的读写器读取存储于标签中的数据,实现对物品的自动识别。RFID 的应用非常广泛,目前典型应用有动物芯片、汽车芯片防盗器、门禁管制、停车场管制、生产线自动化、物料管理、校园一卡通等。

## 2. 射频识别技术的特点

射频识别技术的主要特点是通过电磁耦合方式来传送识别信息,不受空间限制,可快速地进行物体跟踪和数据交换。由于 RFID 需要利用无线电频率资源,必须遵守无线电频率管理的诸多规范。具体来说,与同期或早期的接触式识别技术相比,RFID 还具有如下特点。

(1) 数据的读写功能。只要通过 RFID 读写器即可不需接触,直接读取射频卡内的数据信息到数据库内,且可一次处理多个标签,也可以将处理的数据状态写入电子标签。

(2) 电子标签的小型化和多样化。RFID 在读取上不受尺寸大小与形状的限制,不必为了读取精确度而配合纸张的固定尺寸和印刷品质。此外,RFID 电子标签更易于小型化,便于嵌入到不同物品内,因此可以更加灵活地控制物品的生产和控制,特别是在生产线上的应用。

(3) 耐环境性。RFID 最突出的特点是可以非接触读写(读写距离从 10cm 至几十米),可识别高速运动物体,抗恶劣环境,对水、油和药品等物质具有强力的抗污性。RFID 可以在黑暗或脏污的环境之中读取数据。

(4) 可重复使用。由于 RFID 为电子数据,可以反复读写,因此可以回收标签重复使用,提高利用率,降低电子污染。

(5) 穿透性。RFID 卡即便是被纸张、木材和塑料等非金属或非透明材质包覆,也可以进行穿透性通信;但是不能穿过铁质金属物体进行通信。

(6) 数据的记忆容量大。数据容量会随着记忆规格的发展而扩大,未来物品所需携带的数据量会愈来愈大,对卷标所能扩充容量的需求也增加,对此 RFID 将不会受到限制。

(7) 系统安全性。将产品数据从中央计算机中转存到标签上将为系统提供安全保障,大大提高系统的安全性。射频标签中数据的存储可以通过校验或循环冗余校验的方法得到保证。

## 3.3.3 RFID 系统的组成

在实际 RFID 解决方案中,不论是简单的 RFID 系统还是复杂的 RFID 系统,都包含一些基本组件。组件分为硬件组件和软件组件。从端到端的角度看,一个 RFID 系统由电子标签、读写器天线、读写器、传感器/执行器/报警器、控制器、主机和软件系统、通信设施等部分组成。图 3-16 所示给出了以读写器为中心的 RFID 系统组成结构。

若从功能实现的角度看,可将 RFID 系统分成边沿系统和软件系统两大部分,如图 3-16 所示,这种观点同现代信息技术观点相吻合。边沿系统主要是完成信息感知,属于硬件组件

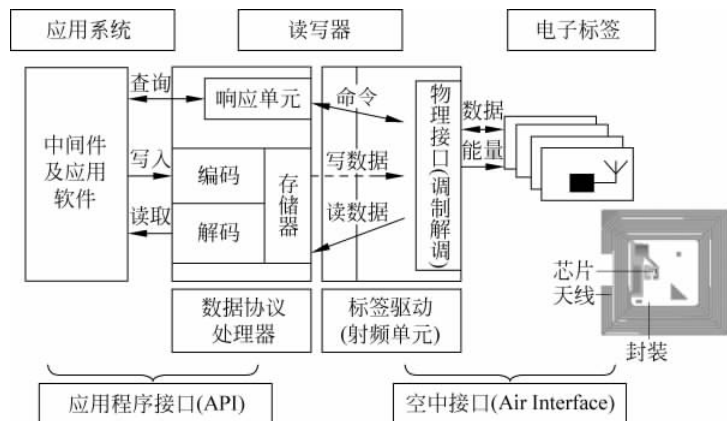


图 3-16 RFID 系统组成结构

部分；软件系统完成信息的处理和应用；通信设施负责整个 RFID 系统的信息传递。

### 1. RFID 系统的硬件组件

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；系统中还要有主机,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、种类多等特点。根据电子标签组成原理和工作方式不相同,有被动式、主动式、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。被动式标签的读写距离小于主动式和半主动式标签,一般为 3cm~9m。被动式电子标签由微芯片和天线组成,如图 3-17 所示。

微芯片主要由数字电路及存储器组成,图 3-18 所示是被动式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天线发出的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。调制器调制接收到的读写器信号,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。标签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。标签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。



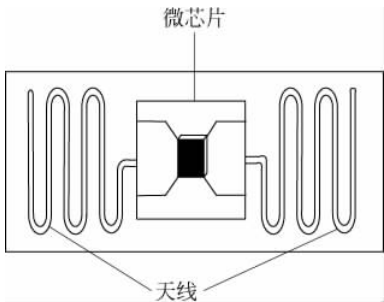


图 3-17 被动式电子标签组成原理示意图

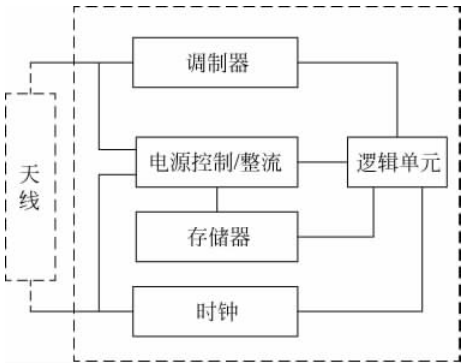


图 3-18 微芯片的内部结构原理示意图

标签天线设计与标签相关,天线长度与标签波长成正比。偶极子天线由直线电导体组成,总长度是半个波长。双偶极子天线由两个偶极子组成,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。叠偶天线由两个或两个以上直电导体并联构成,每导体长度均为半个波长。当两个导体折叠时称为二线折叠偶极子天线,由 3 个导体折叠的偶极子称为三线折叠偶极子天线。图 3-19 所示给出了几种偶极子天线的结构示意图。

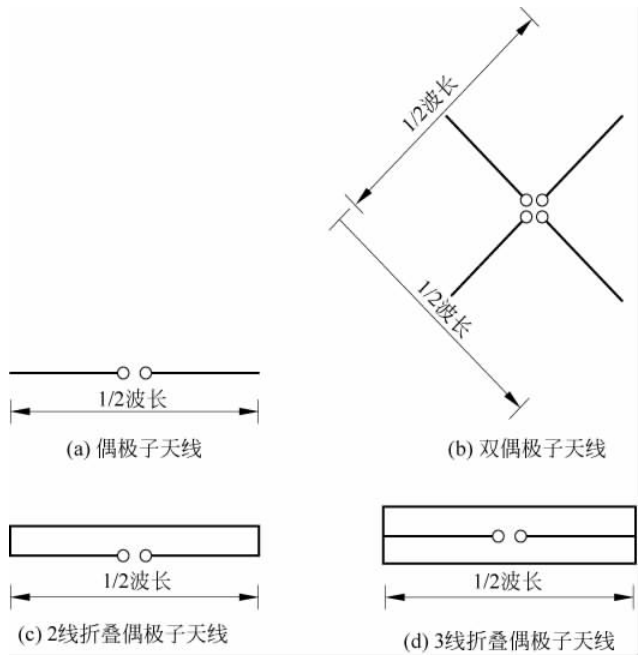


图 3-19 偶极子天线结构示意图

一般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。天线设计可以基于如下几个因素:①标签同读写器之间的距离;②标签同读写器之间的方位和角度;③产品类型;④标签的运动速度;⑤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,标签可能失效或性能显著下降。

目前,标签天线是采用薄带的金属(如铜、银或铝)构成。然而,将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。微芯片是否也用这种导电油墨印刷技术正在研究中。到那时,这些先进的技术可能使制作一个 RFID 电子标签就像用计算机打印一个条形码和物品的包装条一样容易。这样,RFID 标签价格可能会大幅下跌。被动式电子标签具有构造简单、价格低、寿命长、抗恶劣环境等特点。例如,有些标签可以在水下工作,有的具有抗化学腐蚀、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、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都是由标签主动发起的,读写器做出响应。在这类标签中,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,从而可以存储电池能量。另外,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,与主动连续发送电子标签相比,这类标签通常具有较长的生存时间。因为标签仅仅在读写器询问时发送数据,这样可以大量减少电磁射频噪声。这类主动式电子标签也称为发射机/接收机(或应答器)。

主动式电子标签的阅读距离一般可达 30m 以上。主动式电子标签通常包括:微芯片;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,而半主动式标签的天线,一般由铜薄带金属组成;板载电源;板载电子电路。微芯片和天线的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。

① 板载电源。所有的主动式电子标签都有板载电源(电池)为板载电子电路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的寿命为 2~7 年。决定寿命的因素之一是电子标签的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,则会增加电池寿命。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。

② 板载电子电路。板载电子电路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,要求物理尺寸越大,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,但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,标签则是被动地响应。为什么使用半主动式电子标签而不用被动式电子标签?因为半主动式电子标签不像被动式电子标签由读写器来激活自己,它可以读取一个更远距离的

读写器信号。因为无须通电激活,这样在读写器区域内,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,它仍可被可靠读取数据。此外,半主动式电子标签通过使用透明材料和吸附剂性材料,使其具有更好的可读性。在理想条件下,半主动式标签使用反向散射调制技术,其读写距离最大可达 30m。

## 2) 读写器

(1) 读写器的组成。读写器是一个捕捉和处理 RFID 标签数据的设备,可以是单独的个体,也可以嵌入到其他系统之中。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。但早期由于其功能单一,在许多文献中称为阅读器、查询器等。读写器还负责与主机接口,通过计算机软件来读取或写入标签内的数据信息。由于标签是非接触式的,因此必须借助读写器来实现标签和应用系统之间的数据通信。读写器的组成结构如图 3-20 所示。读写器的硬件部分通常由收发机、微处理器、存储器、外部传感器/执行器/报警器的输入输出(I/O)接口、通信接口以及电源等组成。

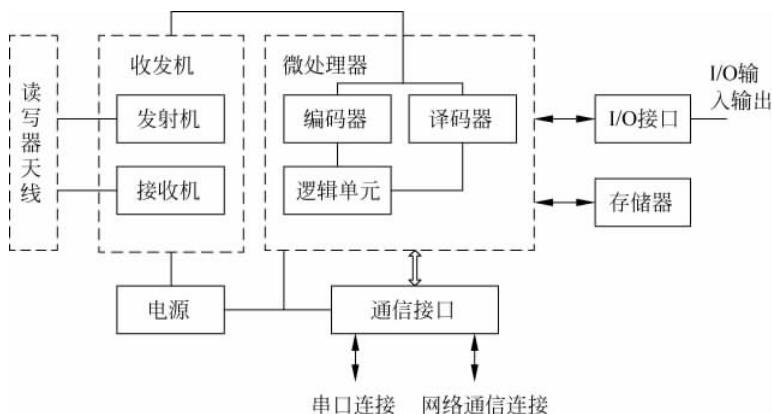


图 3-20 读写器的组成结构

① 收发机。收发机包含有发射机和接收机两个部分,通常由收发模块组成。发射机在读写器的读写区域内发送电磁波功率信号。接收机负责接收标签返回读写器的数据信号。并传送给微处理器。收发模块同天线模块相连接。目前,有的读写器收发模块可以同时连接 4 个天线。

② 微处理器。微处理器是实现读写器和电子标签之间通信协议的部件,同时它还完成接收数据信号的译码和数据纠错功能。另外,微处理器还有低级数据滤波和处理逻辑功能。

③ 存储器。存储器用于存储读写器的配置参数和阅读标签的列表。因此,如果读写器与控制器/软件系统之间的通信中断,所有阅读标签数据就会丢失。存储容量的大小受实际应用情况的限制。

④ 外部传感器/执行器/报警器的输入输出接口。为了降低能耗,读写器不能始终处于开启状态。因此,读写器需要一个能够在工作周期内开启和关闭读写器的控制机制。输入输出端口提供了这种机制,使读写器依靠外部事件开启和关闭读写器工作。

⑤ 通信接口。通信接口为读写器和外部实体提供通信指令,通过控制器传输数据和接收指令并做出响应。一般情况下,通信接口可以根据通信要求分为串行通信接口和网络通信接口。串行通信接口是目前读写器普遍的接口方式。读写器同计算机通过串行端口

RS-232或RS-485连接。因此,串行通信被推荐为RFID最小系统的首选方式。串行通信的缺点是通信受电缆长度的限制,通信数据速率较低,更新维护成本也高。网络通信接口通过有线或无线方式连接网络读写器和主机。读写器就像一台网络设备,其优点是同主机的连接不受电缆线的限制,维护更新容易;缺点是网络连接可靠性不如串行接口,一旦网络通信链路失败,就无法读取标签数据。随着物联网技术的应用推广,网络通信接口将作为一个标准逐渐成为主流。网络读写器可以根据应用自动发现读取目标,嵌入式服务器允许读写器接收命令,并通过标准浏览器显示读取结果。

(2) 读写器功能。读写器可将主机的读写命令传送到电子标签,再把从主机发往电子标签的数据加密,并将电子标签返回的数据经解密后发送到主机。读写器和标签的所有行为均由应用软件来控制完成。在系统中,应用软件作为主动方对读写器发出读写指令,而读写器则作为从动方只对应用软件的读写指令做出回应。读写器接收到应用软件的动作指令后,回应的结果就是对电子标签做出相应的动作,建立某种通信关系。电子标签响应读写器的指令,因此相对于标签来说,读写器就是指令的主动方。在RFID系统的工作程序中,应用软件向读写器发出读取命令,作为响应,读写器和标签之间就会建立特定的通信,读写器触发标签工作,并对所触发的标签进行身份验证,然后标签开始传送所要求的数据信息。具体来说,读写器具有以下功能。

- ① 读写器与标签之间的通信,在规定的技术条件下,读写器可与电子标签进行通信。
- ② 通过标准接口(如RS-232等),读写器可以与计算机网络连接,实现多读写器的网络通信。
- ③ 读写器能在读写区域内查询多标签,并能正确识别各个标签,具备防碰撞功能。
- ④ 能够校验读写过程中的错误信息。
- ⑤ 对于有源标签,读写器能够识别有源标签的电池信息,如电池的总电量、剩余电量等。

综上所述,读写器的功能包括:发送和接收功能,用来与标签和分离的单个物品进行通信;对接收信息进行初始化处理;连接主机网络,将信息传送到数据交换与管理系统。

### 3) 控制器

控制器是读写器芯片有序工作的指挥中心,其主要功能是:与应用系统软件进行通信;执行从应用系统软件发来的动作指令;控制与标签的通信过程;基带信号的编码与解码;执行防碰撞算法;对读写器和标签之间传送的数据进行加密和解密;进行读写器与电子标签之间的身份认证;对键盘、显示设备等其他外部设备的控制。其中,最重要的是对读写器芯片的控制操作。

### 4) 读写器天线

天线是一种以电磁波形式把前端射频信号功率接收或辐射出去的设备,是电路与空间的界面器件,用来实现导行波与自由空间波能量的转化。在RFID系统中,天线分为电子标签天线和读写器天线两大类,分别承担接收能量和发射能量的作用。

在确定的工作频率和带宽条件下,天线发射射频载波,并接收从标签或反射回来的射频载波。目前,RFID系统主要集中在LF(135kHz)、HF(13.56MHz)、UHF(860~960MHz)和微波(2.45GHz)频段,不同工作频段的RFID系统,其天线的原理和设计有着根本不同。RFID读写器天线的增益和阻抗特性会对RFID系统的作用距离等产生影响,RFID系统的

工作频段反过来对天线尺寸以及辐射损耗有一定要求。所以,RFID 天线设计的好坏,关系到整个 RFID 系统的成功与否。

RFID 系统读写器天线的特点是:①足够小,以至于能够贴到需要的物品上;②有全向或半球覆盖的方向性;③能提供尽可能大的信号给标签的芯片;④无论物品位于什么方向,天线的极化都能与读卡机的询问信号相匹配;⑤具有鲁棒性;⑥非常便宜。

在选择读写器天线的时应考虑的主要因素有:①天线的类型;②天线的阻抗;③在应用到物品上的 RF 的性能;④在有其他的物品围绕贴标签物品时的 RF 性能。

RFID 系统的天线类型主要有偶极子天线、微带贴片天线、线圈天线等。偶极子天线辐射能力强,制造工艺简单,成本低,具有全向方向性,通常用于远距离 RFID 系统;微带贴片天线的方向图是定向的,但工艺较复杂,成本较高;线圈天线用于电感耦合方式,适合于近距离的 RFID 系统。

#### 5) 通信设施

通信设施为不同 RFID 系统管理提供安全通信连接,是 RFID 系统的重要组成部分。通信设施包括有线、无线网络以及与读写器、控制器和计算机连接的串行通信接口。无线网络可以是域网(如蓝牙技术)、局域网(如 802.11x、WiFi)、广域网(如 GPRS、3G/4G 技术)、卫星通信网络(如同步轨道卫星 L 波段的 RFID 系统)。

## 2. RFID 系统中的软件组件

RFID 系统中的软件组件主要完成数据信息的存储、管理以及对 RFID 标签的读写控制,是独立于 RFID 硬件之上的部分。RFID 系统归根结底是为应用服务的,读写器与应用系统之间的接口通常软件组件来完成。一般情况下,RFID 软件组件包含有:①边沿接口系统;②RFID 中间件,即为实现采集信息的传递与分发而开发的中间件;③企业应用接口,指企业前端软件,如设备供应商提供的系统演示软件、驱动软件、接口软件、集成商或者客户自行开发的 RFID 前端操作软件等;④应用软件,主要指企业后端软件,如后台应用软件、管理信息系统(MIS)软件等。

#### 1) 边沿接口系统

边沿接口系统完成 RFID 系统硬件与软件之间的连接,通过使用控制器实现同 RFID 硬软件之间的通信。边沿接口系统的主要任务是从读写器中读取数据和控制读写器的行为,激励外部传感器、执行器工作。此外,边沿接口系统还具有以下功能:①从不同读写器中过滤复制数据;②允许设置为基于事件方式触发外部执行机构;③提供智能功能,选择发送到软件系统;④远程管理功能。

#### 2) RFID 中间件

RFID 中间件是介于读写器和后端软件之间的一组独立软件,它能够与多个 RFID 读写器和多个后端软件应用系统连接。应用程序使用中间件所提供的通用应用程序接口(API),就能够连接到读写器,读取 RFID 标签数据。即中间件屏蔽了不同读写器和应用程序后端软件的差异,从而减轻了多对多连接的设计与维护的复杂性。使用 RFID 中间件有 3 个主要目的:①隔离应用层和设备接口;②处理读写器和传感器捕获的原始数据,使应用层看到的都是有意义的高层的事件,大大减少所需处理的信息;③提供应用层接口,用于管理读写器和查询 RFID 观测数据,目前大多数可用的 RFID 中间件都有这些特性。

### 3) 企业应用接口

企业应用接口为 RFID 前端操作软件,主要是提供给 RFID 设备操作人员使用的,如手持读写设备上使用的 RFID 识别系统、超市收银台使用的结算系统和门禁系统使用的监控软件等。此外,还应包括将 RFID 读写器采集到的信息向软件系统传送的接口软件。

前端软件最重要的功能是保障电子标签和读写器之间正常通信,通过硬件设备的运行和接收高层的后端软件控制来处理和管理电子标签和读写器之间的数据通信。前端软件完成的基本功能如下。

(1) 读/写功能。读功能就是从电子标签中读取数据,写功能就是将数据写入电子标签。这中间涉及编码和调制技术的使用,例如采用 FSK 还是 ASK 方式发送数据。

(2) 防碰撞功能。很多时候不可避免地会有多个电子标签同时进入读写器的读取区域,要求同时识别和传输数据,此时就需要前端软件中具有防碰撞功能。具有防碰撞功能的 RFID 系统可以同时识别进入识别范围内的所有电子标签,其并行工作方式大大提高了系统的效率。

(3) 安全功能。确保电子标签和读写器双向数据交换通信的安全。在前端软件设计中,可以利用密码限制读取标签内的信息、读写一定范围内的标签数据以及对传输数据进行加密等措施来实现安全功能;也可以使用与硬件结合的方式来实现安全功能。标签不仅提供了密码保护,而且能对数据从标签传输到读取器的过程进行加密,而不仅是对标签上的数据进行加密。

(4) 检/纠错功能。由于使用无线方式传输数据很容易被干扰,使得接收到的数据产生畸变,从而导致传输出错。前端软件可以采用校验和的方法,如循环冗余检验(Cyclic Redundance Check,CRC)、纵向冗余检验(Longitudinal Redundance Check,LRC)、奇偶检验等检测错误。可以结合自动重传请求(Automatic Repeat reQuest,ARQ)技术重传有错误的数来纠正错误,以上功能也可以通过硬件来实现。

### 4) 应用软件

由于信息是为生产决策服务的,因此,RFID 系统所采集的信息最终要向后端应用软件传送,应用软件系统需要具备相应的处理 RFID 数据的功能。应用软件的具体数据处理功能需要根据客户的具体需求和决策的支持度来进行软件的结构与功能设计。

应用软件也是系统的数据中心,它负责与读写器通信,将读写器经过中间件转换之后的数据插入到后台企业仓储管理系统的数据库中,对电子标签管理信息和采集到的电子标签信息等集中进行存储和处理。一般来说,后端应用软件系统需要完成以下功能。

(1) RFID 系统管理。系统设置以及系统用户信息和权限。

(2) 电子标签管理。在数据库中管理电子标签序列号,每个物品对应的序号和产品名称、型号规格,以及芯片内记录的详细信息等,完成数据库内所有电子标签的信息更新。

(3) 数据分析和存储。对整个系统内的数据进行统计分析,生成相关报表,对采集到的数据进行存储和管理。

## 3.3.4 RFID 系统的工作原理

RFID 系统的基本工作原理是:由读写器通过发射天线发送特定频率的射频信号,当电子标签进入有效工作区域时产生感应电流,从而获得能量被激活,使得电子标签将自身编码

信息通过内置天线发射出去；读写器的接收天线接收到从标签发送来的调制信号,经天线的调制器传送到读写器信号处理模块,经解调和解码后将有效信息送到后台主机系统进行相关处理；主机系统根据逻辑运算识别该标签的身份,针对不同的设定做出相应的处理和 控制,最终发出信号控制读写器完成不同的读写操作。

从电子标签到读写器之间的通信和能量感应方式来看,RFID 系统一般可以分为电感耦合(磁耦合)系统和电磁反向散射耦合(电磁场耦合)系统。电感耦合系统是通过空间高频 交变磁场实现耦合的,依据的是电磁感应定律；电磁反向散射耦合(即雷达原理模型)发射 出去的电磁波碰到目标后反射,同时携带回目标信息,依据的是电磁波的空间传播规律。电 感耦合方式一般适合于中、低频率工作的近距离 RFID 系统；电磁反向散射耦合方式一般 适合于高频、微波工作频率的远距离 RFID 系统。两种耦合方式如图 3-21 所示。

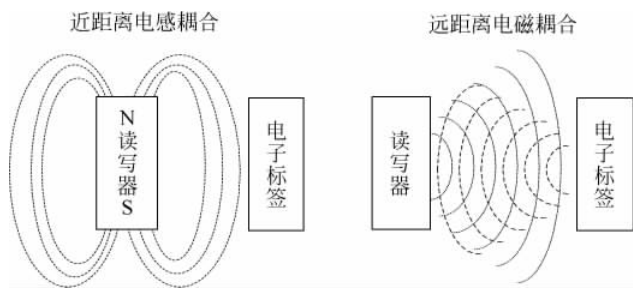


图 3-21 电感耦合和电磁反向散射耦合

1. 电感耦合 RFID 系统

电感耦合工作方式对应于 ISO/IEC 14443 协议。电感耦合电子标签由一个电子数据 作为载体,通常由单个微芯片及天线(大面积线圈)等组成。在标签中的微芯片工作所需的 全部能量由阅读器发送的感应电磁能提供。高频的强电磁场由阅读器的天线线圈产生,并 穿越线圈横截面和周围空间,以使附近的电子标签产生电磁感应。电感耦合 RFID 系统如 图 3-22 所示。

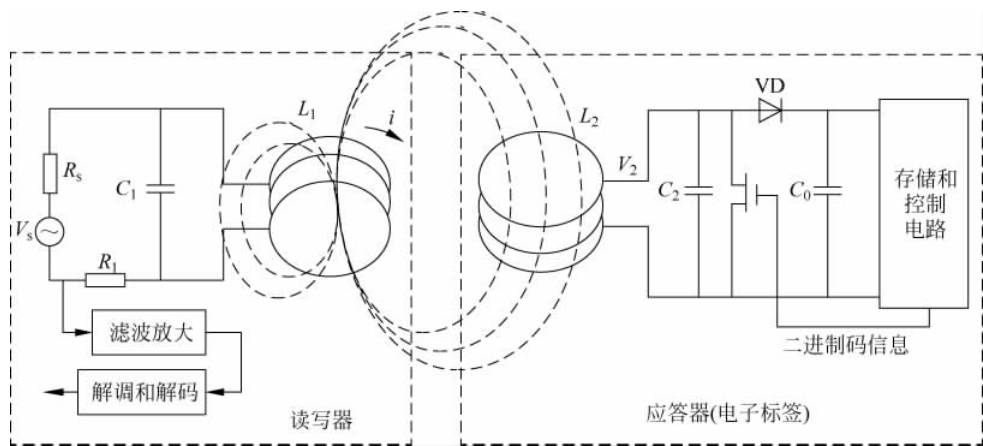


图 3-22 电感耦合 RFID 系统

### 1) 应答器的能量供给

阅读器天线线圈激发磁场,其中一小部分磁力线穿过电子标签天线线圈,通过感应电子标签的天线线圈上产生电压 $U$ ,将其整流后作为微芯片的工作电源。电容器 $C_r$ 与阅读器的天线线圈并联,电容器与天线线圈的电感一起,形成谐振频率与阅读器发射频率相符的并联振荡回路,该回路的谐振使得阅读器的天线线圈产生较大的电流。电子标签的天线线圈和电容器 $C_i$ 构成振荡回路,调谐到阅读器的发射频率。通过该回路的谐振,电子标签线圈上的电压 $U$ 达到最大值。这两个线圈的结构可以被解释为变压器(变压器的耦合)。

### 2) 数据传输

对于电子标签和阅读器天线之间的作用距离不超过 $0.16\lambda$ ,并电子标签处于近场范围内,电子标签与阅读器的数据传输为负载调制(电感耦合、变压器耦合)。如果把谐振的电子标签放入阅读器天线的交变磁场,那么电子标签就可以从磁场获得能量。采用从供应阅读器天线的电流在阅读器内阻上的压降就可以测得这个附加的功耗。电子标签天线上负载电阻的接通与断开促使阅读器天线上的电压发生变化,实现了用电子标签对天线电压进行振幅调制。而通过数据控制负载电压的接通和断开,这些数据就可以从标签传输到阅读器了。此外,由于阅读器天线和电子标签天线之间的耦合很弱,因此阅读器天线上表示有用信号的电压波动比阅读器的输出电压小。在实践中,对13.56MHz的系统,天线电压(谐振时)只能得到约10mV的有用信号。因为检测这些小电压变化很不方便,所以可以采用天线电压振幅调制所产生的调制波边带。如果电子标签的附加负载电阻以很高的时钟频率接通或断开,那么在阅读器发送频率将产生两条谱线,此时该信号就容易检测了,这种调制也称为副载波调制。

## 2. 电磁反向散射耦合 RFID 系统

雷达技术为RFID的反向散射耦合方式提供了理论和应用基础。当电磁波遇到空间目标时,其能量的一部分被目标吸收,另一部分以不同的强度散射到各个方向。在散射的能量中,有一小部分被反射回发射天线,并被天线接收(因此发射天线也是接收天线对接收信号进行放大和处理),即可获得目标的有关信息。

RFID反向散射耦合方式一个目标反射电磁波的频率由反射横截面来确定。反射横截面的大小与一系列的参数有关,如目标的大小、形状和材料,电磁波的波长和极化方向等。由于目标的反射性能通常随频率的升高而增强,所以RFID反向散射耦合方式采用特高频(UHF)和超高频(SHF),应答器和读写器的距离大于1m。RFID反向散射耦合方式的原理框图如图3-23所示,读写器、应答器和天线构成一个收发通信系统。

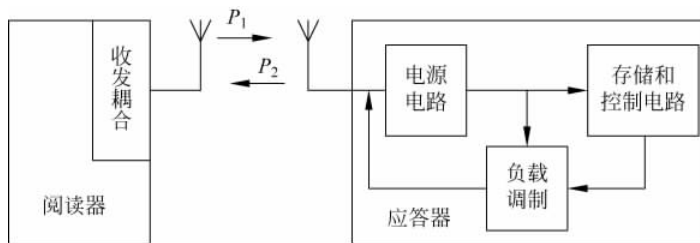


图 3-23 RFID 反向散射耦合方式的原理框图



### 1) 应答器的能量供给

无源应答器的能量由读写器提供,读写器天线发射的功率  $P_1$  经自由空间衰减后到达应答器,设到达功率为  $P'_1$ 。 $P'_1$  中被吸收的功率经应答器中的整流电路后形成应答器的工作电压。

在 UHF 和 SHF 频率范围内,有关电磁兼容的国际标准对读写器所能发射的最大功率有严格的限制,因此在有些应用中,应答器采用完全无源方式会有一定困难。为解决应答器的供电问题,可在应答器上安装附加电池。为防止电池不必要的消耗,应答器平时处于低功耗模式,当应答器进入读写器的作用范围时,应答器由获得的射频功率激活,进入工作状态。

### 2) 应答器至读写器的数据传输

由读写器传到应答器的功率一部分被天线反射,反射功率  $P_2$  经自由空间后返回读写器,被读写器天线接收。接收信号经收发耦合器电路传输到读写器的接收通道,被放大后经处理电路获得有用信息。

应答器天线的反射性能受连接到天线的负载变化的影响,因此,可采用相同的负载调制方法实现反射的调制。其表现为反射功率  $P_2$  是振幅调制信号,它包含了存储在应答器中的识别数据信息。

### 3) 读写器至应答器的数据传输

读写器至应答器的命令及数据传输,应根据 RFID 的有关标准进行编码和调制,或者按所选用应答器的要求进行设计。

## 3. 声表面波应答器

### 1) 声表面波器件

声表面波(Surface Acoustic Wave, SAW)器件以压电效应和与表面弹性相关的低速传播的声波为依据。SAW 器件体积小、重量轻、工作频率高、相对带宽较宽,并且可以采用与集成电路工艺相同的平面加工工艺,制造简单,重复性好和设计灵活性高。声表面波器件具有广泛的应用,如通信设备中的滤波器。在 RFID 应用中,声表面波应答器的工作频率目前主要为 2.45GHz。

### 2) 声表面波应答器

声表面波应答器的基本结构如图 3-24 所示,长长的一条压电晶体基片的端部有指状电极结构。基片通常采用石英铌酸锂或钽酸锂等压电材料制作,指状电极为电声转换器(换能器)。在压电基片的导电板上附有偶极子天线,其工作频率和读写器的发送频率一致。在应答器的剩余长度上安装了反射器,反射器的反射带通常由铝制成。

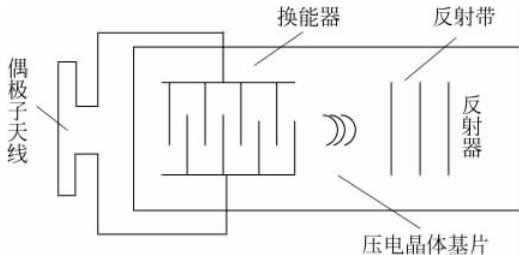


图 3-24 声表面波应答器的基本结构

读写器送出的射频脉冲序列电信号,从应答器的偶极子天线馈送至换能器。换能器将电信号转换为声波。转换的工作原理是利用压电衬底在电场作用时的膨胀和收缩效应。一个时变输入电信号(即射频信号)引起压电衬底振动,并沿其表面产生声波。严格地说,传输的声波有表面波和体波,但主要是表面波,这种表面波纵向通过基片。一部分表面波被每个分布在基片上的反向带反射,而剩余部分到达基片的终端后被吸收。一部分反向波返回换能器,被转换成射频脉冲序列电信号(即将声波变换为电信号),并被偶极子天线传送至读写器。读写器接收到的脉冲数量与基片上的反射带数量相对应,单个脉冲之间的时间间隔与基片上反射带的空间间隔成比例,因而通过反射的空间布局可以表示一个二进制的数字序列。

由于基片上的表面波传播速度缓慢,在读写器的射频脉冲序列电信号发送后,经过约1.5ms的滞后时间,从应答器返回的第一个应答脉冲才到达。这是表面波应答器时序方式的重要优点。因为在读写器周围所处环境中的金属表面上的反向信号以光速返回到读写器天线(例如,与读写器相距100m处的金属表面反射信号,在读写器天线发射之后0.6ms就能返回读写器),所以当应答器信号返回时,读写器周围的所有金属表面反射都已消失,不会干扰返回的应答信号。声表面波应答器的数据存储能力和数据传输取决于基片的尺寸和反射带之间所能实现的最短间隔,实际上,16~32b的数据传输速率约为500kb/s。

声表面波RFID系统的作用距离主要取决于读写器所允许的发射功率,在2.45GHz下,其作用距离可达1~2m。采用偶极子天线的好处是它的辐射能力强,制造工艺简单,成本低,而且能够实现全向性的方向图。微带贴片天线的方向图是定向的,适用于通信方向变化不大的RFID系统;但其工艺较为复杂,成本也相对较高。

### 3.3.5 RFID 数据校验

在RFID的实际运用中,要求阅读器能够对其辐射范围内标签数据进行识别,并且要确保准确性,要完成这个要求,就需要RFID系统的数据具有一定程度的完整性。鉴于此,不仅需要RFID系统有很强的解决信息碰撞能力,同样对系统的抗干扰能力提出严格的要求。RFID系统电子标签与阅读之间的数据传输是通过无线自主的方式进行传播的,这种传输方式特别容易受到其他信号的干扰,在干扰信号的影响下,传输的数据会失去原有的准确性,通常会接收到错误的信息,针对这种情况,RFID系统采取了相应的方法来解决这些干扰问题,主要采用以下方法来避免。

#### 1. 奇偶校验法

奇偶校验法实施方便简单,是被广泛使用的一种检测错误的方法。该方法的原理是在每字节中嵌入奇偶校验位,在进行传输的时候,将奇偶校验位和数据一起传输,在接收端进行校验时可以采用奇校验或是偶校验,但是必须和发射端采取相匹配的校验方法。如果校验结果两者不匹配,则该次信息传输失败,判定为传输错误。但是,奇偶校验法存在是不能确定具体错误位的弱点,当错误位是奇数位时,该方法能正确识别错误,然而,当错误位是偶数时,不能识别出来。

## 2. 纵向冗余校验法

纵向冗余校验(Long autodial Redundancy Cheek,LRC)的主要思想是把要发送的数据位依次进行异或和运算。在数据接收的一端将收到的数据与传出的数据进行比对,若是结果为零,说明接收到的数据是正确的,反之,当出现其他的比对结果时,证明数据在传输的过程中受到了干扰,导致传输的数据是错误的。但是,该方法会出现误读的情况,当出现多个错误相互抵消时,此时会出现比对结果同样也为零的情况,会被误判为正确的结果,便出现了误读。因此,纵向冗余校验法不适合校验大量数据块的情形。

## 3. 循环冗余校验法

循环冗余校验法(Cyclic Redundancy Cheek,CRC),有的学者称其为多项式编码。CRC校验法像前面介绍的方法一样也需要进行计算校验位,将数据块计算好的校验位附加到数据块中一同进行传输。接收端接收到数据后,按照相应的计算规则重新计算校验和,最后将接收的数据和计算结果进行对比,从而判断出接收到的数据是否发生错误。CRC校验和是通过循环计算出来的,通过生成多项式与另外一个多项式进行相除,相除后得到的剩余多项式便是CRC校验和。在接收端接收到CRC校验和之后,重新根据相应规定计算CRC校验和,计算结果如果为零,证明接收到的数据没有被干扰。与奇偶校验法相比较,CRC校验法的可靠性更高。

### 3.3.6 RFID 技术分类

对于RFID技术,可依据标签的供电形式、工作频率、可读性和工作方式进行分类。

#### 1. 根据标签的供电形式分类

在实际应用中,必须给电子标签供电它才能工作,虽然它的电能消耗非常低(一般是10mW级)。按照标签获取电能的方式不同,常把标签分成有源式、无源式及半有源式。

##### 1) 有源式标签

有源式标签通过标签自带的内部电池进行供电,它的电能充足,工作可靠性高,信号传送的距离远。另外,有源式标签可以通过设计电池的不同寿命,对标签的使用时间或使用次数进行限制,它可以用在需要限制数据传输量或者使用数据有限制的地方。有源式标签的缺点主要是价格高,体积大,标签的使用寿命受到限制,而且随着标签内电池电力的消耗,数据传输的距离会越来越短,影响系统的正常工作。

##### 2) 无源式标签

无源式标签的内部不带电池,需靠外界提供能量才能正常工作。无源式标签中天线与线圈是典型的产生电能的装置,当标签进入系统的工作区域,天线接收到特定的电磁波,线圈就会产生感应电流,再经过整流并给电容充电,电容电压经过稳压后作为工作电压。无源式标签具有永久的使用期,常常用在标签信息需要每天读写或频繁读写多次的地方,而且无源式标签支持长时间的数据传输和永久性的数据存储。无源式标签的缺点主要是数据传输的距离要比有源式标签短。因为无源式标签依靠外部的电磁感应来供电,它的电能就比较

弱,数据传输的距离和信号强度就受到限制,需要敏感性比较高的信号接收器才能可靠识读。但它的价格、体积、易用性决定了它是电子标签的主流。

### 3) 半有源式标签

半有源式标签内的电池仅对标签内要求供电来维持数据的电路供电,或者对标签芯片工作所需电压提供辅助支持,为本身耗电很少的标签电路供电。标签未进入工作状态前,一直处于休眠状态,相当于无源标签,标签内部电池能量消耗很少,因而电池可维持几年,甚至长达10年有效。当标签进入读写器的读取区域时,受到读写器发出的射频信号激励,进入工作状态后,标签与读写器之间信息交换的能量支持以读写器供应的射频能量为主(反射调制方式),标签内部电池的作用主要在于弥补标签所处位置的射频场强不足,标签内部电池的能量并不转换为射频能量。

## 2. 根据标签的工作频率分类

从应用概念来说,电子标签的工作频率也就是射频识别系统的工作频率,是其最重要的特点之一。电子标签的工作频率不仅决定着射频识别系统工作原理(电感耦合还是电磁耦合)和识别距离,还决定着电子标签及读写器实现的难易程度和设备的成本。工作在不同频段或频点上的电子标签具有不同的特点。射频识别应用占据的频段或频点在国际上有公认的划分,即位于ISM波段。典型的工作频率有125kHz、133kHz、13.56MHz、27.12MHz、433MHz、902~928MHz、2.45GHz、5.8GHz等。

### 1) 低频段电子标签

低频段电子标签,简称为低频标签,其工作频率范围为30~300kHz。典型工作频率有125kHz、133kHz(也有接近其他频率的,如TI公司使用134.2kHz)。低频标签一般为无源标签,其工作能量通过电感耦合方式从读写器耦合线圈的辐射近场中获得。低频标签在与读写器之间传送数据时,应位于读写器天线辐射的近场区内。低频标签的阅读距离一般小于1m。

低频标签的典型应用有动物识别、容器识别、工具识别、电子闭锁防盗(带有内置应答器的汽车钥匙)等。与低频标签相关的国际标准有ISO 11784/11785(用于动物识别)、ISO 18000-2(125~135kHz)。低频标签有多种外观形式,应用于动物识别的低频标签外观有项圈式、耳牌式、注射式、药丸式等。

低频标签的主要优势体现在:标签芯片一般采用普通的CMOS工艺,具有省电、廉价的特点;工作频率不受无线电频率管制约束;可以穿透水、有机组织、木材等;非常适合近距离、低速度、数据量要求较低的识别应用等。低频标签的劣势主要体现在:标签存储数据量较少;只能适合低速、近距离识别应用。

### 2) 中高频段电子标签

中高频段电子标签的工作频率一般为3~30MHz,典型工作频率为13.56MHz。该频段的电子标签,从射频识别应用角度来看,因其工作原理与低频标签完全相同,即采用电感耦合方式工作,所以宜将其归为低频标签类中。另一方面,根据无线电频率的一般划分,其工作频段又称为高频,所以常将其称为高频标签。

高频电子标签一般也采用无源方式,其工作能量同低频标签一样,也是通过电感(磁)耦合方式从读写器耦合线圈的辐射近场中获得。在与读写器进行数据交换时,标签必须位于

读写器天线辐射的近场区内。中频标签的阅读距离一般也小于 1m(最大读取距离为 1.5m)。

高频标签由于可方便地做成卡状,其典型应用包括电子车票、电子身份证、电子闭锁防盗(电子遥控门锁控制器)等。相关的国际标准有 ISO 14443、ISO 15693、ISO 18000-3 (13.56MHz)等。

高频标签的基本特点与低频标签相似,由于其工作频率的提高,可以选用较高的数据传输速率。电子标签天线的设计相对简单,标签一般制成标准卡片形状。

### 3) 超高频与微波电子标签

超高频与微波频段的电子标签,简称微波电子标签,其典型工作频率为 433.92MHz、862(902)~928MHz、2.45GHz 和 5.8GHz,微波电子标签可分为有源标签与无源标签两类。工作时电子标签位于读写器天线辐射场的远区场内,标签与读写器之间的耦合方式为电磁耦合方式。读写器天线辐射场为无源标签提供射频能量,将有源标签唤醒。相应的射频识别系统阅读距离一般大于 1m,典型情况为 4~7m,最大可达 10m 以上。读写器天线一般均为定向天线,只有在读写器天线定向波束范围内的电子标签可被读写。

由于阅读距离的增加,应用中有可能在阅读区域中同时出现多个电子标签的情况,从而提出了多标签同时读取的需求,进而这种需求发展成为一种潮流。目前,先进的射频识别系统均将多标签识读问题作为系统的一个重要特征。以目前技术水平来说,无源微波电子标签比较成功的产品多集中在 902~928MHz 工作频段上。2.45GHz 和 5.8GHz 射频识别系统多以半有源微波电子标签产品面世。半有源标签一般采用纽扣电池供电具有较远的阅读距离。

微波电子标签的选用,主要考虑其是否无源、无线读写距离、是否支持多标签读写、是否适合高速识别应用、读写器的发射功率容限、电子标签和读写器的价格等方面。对于可无线写的电子标签而言,通常情况下写入距离要小于识读距离,其原因在于写入时要求有更大的能量。

微波电子标签的数据存储容量一般限定在 2Kb 以内,再大的存储容量似乎没有太大的意义。从技术及应用的角度来看,微波电子标签并不适合作为大量数据的载体,其主要功能在于标识物品并完成无接触的识别过程。典型的数据容量指标有 1Kb、128b、64b 等。

微波电子标签的典型应用包括移动车辆识别、电子身份证、仓储物流应用、电子闭锁防盗(电子遥控门锁控制器)等。相关的国际标准有 ISO 10374、ISO 18000-4(2.45GHz)/-5(5.8GHz)/-6(860~930MHz)/-7(433.92MHz)、ANSI/CITS 256—1999 等。

## 3. 根据标签的可读性分类

根据使用的存储器类型,可以将标签分成只读(Read Only,RO)标签、可读写(Read and Write,RW)标签和一次写入多次读出(Write Once Read Many,WORM)标签。

### 1) 只读标签

只读标签内部只有只读存储器(Read Only Memory,ROM)。ROM 中存储有标签的标识信息。这些信息可以在标签制造过程中由制造商写入 ROM 中,电子标签在出厂时,即已将完整的标签信息写入标签。这种情况下,在应用过程中,电子标签一般具有只读功能。也可以在标签开始使用时由使用者根据特定的应用目的写入特殊的编码信息。

只读标签信息的写入,更多的情况是在电子标签芯片的生产过程中将标签信息写入芯片,使得每一个电子标签拥有唯一的标识 UID(如 96b)。应用中,需再建立标签唯一 UID 与待识别物品的标识信息之间的对应关系(如车牌号)。只读标签信息也有的在应用之前由专用的初始化设备将完整的标签信息写入。

只读标签一般容量较小,可以作为标识标签。对于标识标签来说,一个数字或者多个数字、字母、字符串存储在标签中,其存储内容是进入信息管理系统中数据库的钥匙(Key)。标识标签中存储的只是标识号码,用于对特定的标识项目(如人、物、地点)进行标识,关于被标识项目的详细的特定信息,只能在与系统相连接的数据库中进行查找。

## 2) 可读写标签

可读写标签内部的存储器,除了 ROM、缓冲存储器之外,还有非活动可编程记忆存储器。这种存储器一般是 EEPROM(电可擦除可编程只读存储器),它除了存储数据功能外,还具有在适当的条件下允许多次对原有数据的擦除和重新写入数据的功能。可读写标签还可能随机存储器(Random Access Memory, RAM),用于存储标签反应和数据传输过程中临时产生的数据。

可读写标签一般存储的数据比较大,这种标签一般都是用户可编程的,标签中除了存储标识码外,还存储有大量的被标识项目的其他相关信息,如生产信息、防伪校验码等。在实际应用中,关于被标识项目的所有信息都是存储在标签中的,读标签就可以得到关于被标识目标的大部分信息,而不必连接到数据库进行信息读取。另外,在读标签的过程中,可以根据特定的应用目的控制数据的读出,实现在不同的情况下所读出的数据部分不同。

一般电子标签的 ROM 区存放有生产商代码和无重复的序列码,每个生产商的代码是固定和不同的,每个生产商的每个产品的序列码也是肯定不同的。所以每个电子标签都有唯一码,这个唯一码又是存放在 ROM 中,所以标签就没有可仿制性,是防伪的基础点。

## 3) 一次写入多次读出标签

应用中,还广泛存在着一次写入多次读出(Write Once Read Many, WORM)的电子标签。WORM 标签既有接触式改写的电子标签,也有无接触式改写的电子标签。WORM 标签一般大量用在一次性使用的场合,如航空行李标签、特殊身份证件标签等。RW 卡一般比 WORM 卡和 RO 卡价格高得多,如电话卡、信用卡等。WORM 卡是用户可以一次性写入的卡,写入后数据不能改变,比 RW 卡要便宜。RO 卡存有一个唯一的 ID 号码,不能修改,具有较高的安全性。

# 4. 根据标签的工作方式分类

根据标签的工作方式,可将电子标签分为被动式、主动式和半主动式。

## 1) 主动式电子标签

一般来说,主动式 RFID 系统为有源系统,即主动式电子标签用自身的射频能量主动地发送数据给读写器,在有障碍物的情况下,只需穿透障碍物一次。由于主动式电子标签自带电池供电,它的电能充足,工作可靠性高,信号传输距离远。其主要缺点是标签的使用寿命受到限制,而且随着标签内部电池能量的耗尽,数据传输距离越来越短,从而影响系统的正常工作。

## 2) 被动式电子标签

被动式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,在有障碍物的情况下,读写器的能量必须来回穿过障碍物两次。这类系统一般用于门禁或交通系统中,因为读写器可以确保只激活一定范围内的电子标签。

## 3) 半主动电子标签

在半主动式 RFID 系统里,电子标签本身带有电池;但是标签并不通过自身能量主动发送数据给读写器,电池只负责对标签内部电路供电。这类标签需要被读写器的能量激活,然后才通过反向散射调制方式传送自身数据。

# 3.4 RFID 数据传输协议

## 3.4.1 数据传输协议与方式

从阅读器到电子标签方向的数据传输过程中,所有已知的数字调制方法都可以选用,而与工作频率和耦合方式无关。常用的数据调制解调方式有幅度调制键控(ASK)、频移键控(FSK)和相移键控(PSK)等方式。数据编码一般又称为基带数据编码,一方面便于数据传输,另一方面可以对传输的数据进行加密。常用的数据编码方式有反向不归零码(Non-Return to Zero, NRZ)、曼彻斯特编码(Manchester)、单极性归零编码(Unipolar RZ)、差动双相编码(DBP)、米勒编码(Miller)、差动编码、脉冲宽度编码(Pulse Width Modulation, PWM)、脉冲位置编码(Pulse Position Modulation, PPM)等方式,如图 3-25 所示。

(1) NRZ 编码。NRZ 编码用“高”电平表示 1,“低”电平表示 0。此码型不宜传输,有以下原因:有直流,一般信道难于传输零频附近的频率分量;接收端判决门限与信号功率有关,不方便使用;不能直接用来提取位同步信号,因为 NRZ 中不含有位同步信号频率成分;要求传输线有一根接地。

(2) 曼彻斯特编码。曼彻斯特编码在半个比特周期时的负跳变表示 1,半个比特周期时的正跳变表示 0。曼彻斯特编码在采用副载波的负载调制或者反相散射调制时,通常用于从标签到读头的数据传输,因为这有利于发现数据传输的错误。

(3) 单极性归零编码。当发码为 1 时,发出正电流,但正电流持续的时间短于一个码元的时间宽度,即发出一个窄脉冲;当发码为 0 时,完全不发送电流。单极性归零编码可用来提取位同步信号。

(4) 差动双相编码(DBP, FM0 编码,类似组成原理 FM 码)。差动双相编码在半个比特周期中的任意的边沿表示二进制 0,而没有边沿就是二进制 1,此外在每个比特周期开始时,电平都要反相。因此,对于接收器来说,位节拍比较容易重建。

(5) 米勒编码。米勒编码在半个比特周期内的任意边沿表示 1,而经过下一个比特周期内不变的电平表示 0。一连串的零在比特周期开始时产生跳变。对于接收器来说,要建立位同步也比较容易。

(6) 差动间歇编码即为 PIE(Pulse Interval Encoding)。编码的全称为脉冲宽度编码,

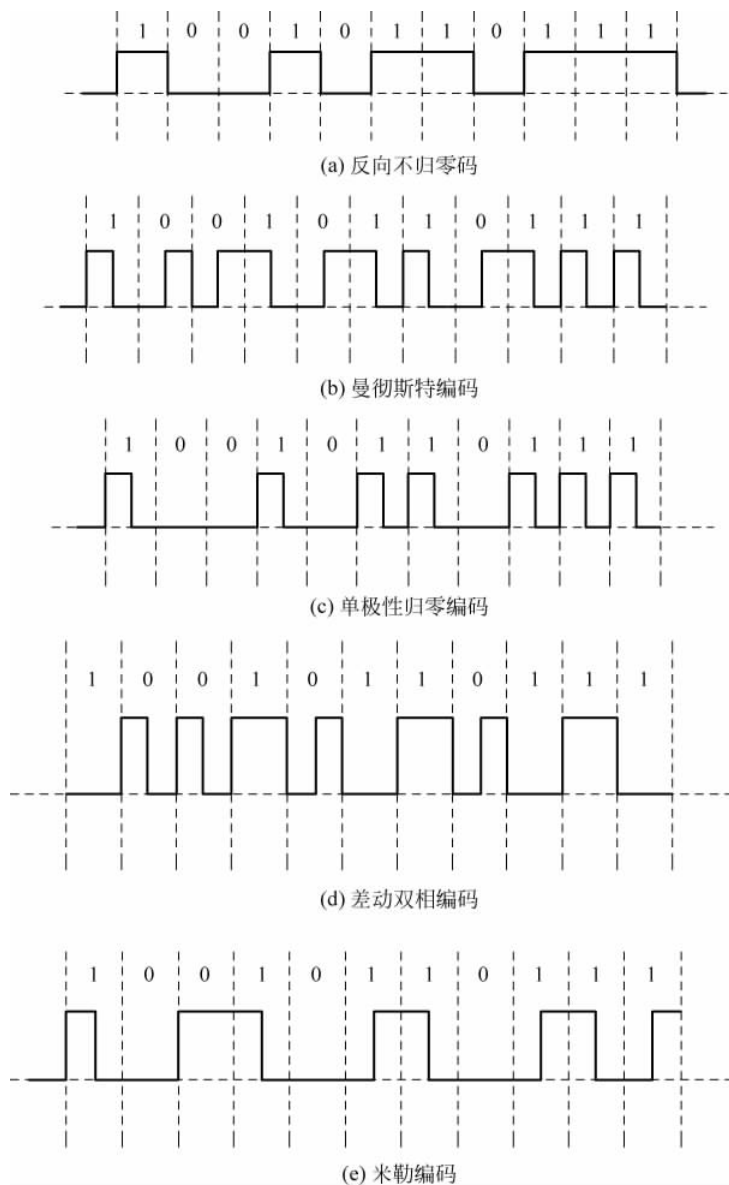


图 3-25 RFID 系统中的数据编码

原理是通过定义脉冲下降沿之间的不同时间宽度来表示数据。在该标准的规定中,由阅读器发往标签的数据帧由 SOF(帧开始信号)、EOF(帧结束信号)、数据 0 和 1 组成,如图 3-26 所示。在标准中定义了一个名称为 Tari 的时间间隔,也称为基准时间间隔,该时间段为相邻两个脉冲下降沿的时间宽度,持续为  $25\mu\text{s}$ 。

选择编码方法的考虑因素如下。

(1) 电子标签能量的来源。在 RFID 系统中使用的电子标签常常是无源的,而无源标签需要在读写器的通信过程中获得自身的能量供应。为了保证系统的正常工作,信道编码方式必须保证不能中断读写器对电子标签的能量供应。在 RFID 系统中,当电子标签是无源标签时,经常要求基带编码在每两个相邻数据位元间具有跳变的特点,这种相邻数据间有



跳变的码,不仅可以保证在连续出现 0 时对电子标签的能量供应,而且便于电子标签从接收到的码中提取时钟信息。

(2) 电子标签的检错的能力。出于保障系统可靠工作的需要,还必须在编码中提供数据一级的校验保护,编码方式应该提供这种功能。可以根据码型的变化来判断是否发生误码或有电子标签冲突发生。在实际的数据传输中,由于信道中干扰的存在,数据必然会在传输过程中发生错误,这时要求信道编码能够提供一定程度的检测错误的能力。曼彻斯特编码、差动双向编码、单极性归零编码具有较强的编码检错能力。

(3) 电子标签时钟的提取。在电子标签芯片中,一般不会有时钟电路,电子标签芯片一般需要在读写器发来的码流中提取时钟。曼彻斯特编码、米勒编码、差动双向编码容易使电子标签提取时钟。

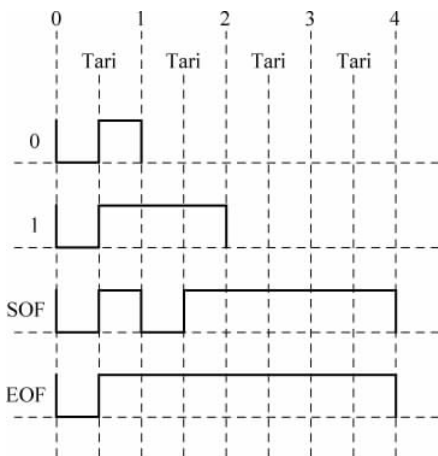


图 3-26 差动间歇编码

### 3.4.2 RFID 数据传输的安全性

在选择 RFID 系统时,应该根据实际情况考虑是否选择具有密码功能的系统。在一些对安全功能没有要求的应用中,如工业自动控制、工具识别、动物识别等应用领域,若引用密码过程,则会使用费用增高。与此相反,在高安全性的应用中(例如车票、支付系统),若省略密码过程,则可能会由于使用假冒的应答器来获取未经许可的服务,从而形成非常严重的疏漏。高度安全的系统化应该能够防范以下单项攻击。

(1) 为了复制或改变数据,未经授权的读取数据载体。

(2) 将外来的数据载体置入某个阅读器的询问范围内,企图得到非授权出入建筑物或不付费的服务。

(3) 为了假冒真正的数据载体,窃听无线电通信并重放数据。

RFID 系统常用的系统安全手段有许多种,下面分别介绍。

#### 1. 相互对称的鉴别

对称算法是指加密密钥和解密钥要一样,这种算法的安全程度依赖于密钥的保密程度,而且密钥的分发困难。阅读器和标签之间的相互鉴别是建立在国际标准 ISO 97980-2《三通相互鉴别》的基础上。双方在通信中互相检测另一方的密码。在这个过程中,所有电子标签和阅读器构成了某项应用的一部分,具有相同的密钥 $K$ (对称加密过程)。当某个电子标签首先进入阅读器的询问范围时,它无法断定参与通信的对方是否属于同一个应用。从阅读器来看,需要防止假冒的伪造数据。另一方面,电子标签同样需要防止未经认可的数据读取或重写。互鉴别的过程从阅读器发送“查询”命令给电子标签开始,如图 3-27 所示。

于是,在电子标签中产生一个随机数 $r$ ,并回送给阅读器。阅读器收到 $r$ 后,产生一个随机数 $s$ 使用共同的密钥 $K$ 和共同的密码算法 $E_K$ ,阅读器算出一个加密的数据块,用令牌 $1$

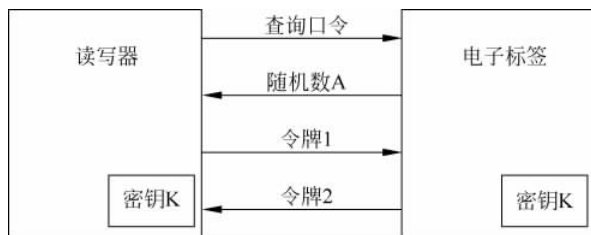


图 3-27 电子标签和阅读器相互鉴别的过程

(Token1)表示。Token1 包含两个随机数及附加的控制数据,并将此数据块发送给电子标签:

$$\text{Token1} = \text{ek}(\text{B} \parallel \text{A} \parallel \text{IDA} \parallel \text{电文1})$$

在标签中收到的 Token1 被译码,并将从明码报文中取得的随机数次与原先发送的随机数 4 进行比较。如果二者一致,则电子标签确认两个公有的密钥是一致的。电子标签中再产生一个随机数 4,用于算出一加密的数据块,用令牌 2(Token2)表示,其中也包含有 5 和控制数据,Token2 由电子标签发送给阅读器:

$$\text{Token2} = \text{ek}(\text{B} \parallel \text{A} \parallel \text{电文2})$$

阅读器将 Token2 译码,检查原先发送的 B 与刚收到的是否一致。如果两个随机数一致,则阅读器也证明了两个公有的密钥是一致的。于是阅读器和电子标签均已查实属于共同的系统,双方更进一步的通信是合法的。综上所述,相互鉴别的过程具有以下优点。

- (1) 密钥从不经空间传输,而只是传输加密的随机数。
- (2) 总是两个随机数同时加密,排除为了计算密钥用 4 执行逆变换获取 Token1 的可能性。
- (3) 可以使用任意算法对令牌进行加密。
- (4) 通过严格使用来自两个独立源(电子标签、阅读器)的随机数,使回放攻击而记录鉴别序列的方法失败。
- (5) 从产生的随机数可以算出随机的密钥,以便加密后续传输的数据。

## 2. 利用导出密钥的鉴别

相互对称的鉴别方法有一个缺点,即所有属于同一应用的电子标签都是用相同的密钥尺来保护。这种情况对于具有大量电子标签的应用来说是一种潜在的危险。由于这些电子标签以不可控的数量分布在众多的使用者手中,而且廉价并容易得到,因此必须考虑电子标签的密钥被破解的可能。如果发生这种情况,改变密钥的代价将会非常大,实现起来也会很困难。

对图 3-27 描述的鉴别过程进行改进,如图 3-28 所示。主要的改进措施是每个电子标签采用不同的密钥来保护。为此,在电子标签生产过程中读出它的序列号,用加密算法和主控密钥 TM 计算密钥 AJ,而电子标签就这样被初始化。每个电子标签因此接收了一个与自己识别号和主控密钥相关的密钥。

利用导出密钥的相互鉴别过程如下:首先由读写器读取电子标签的 ID 号,再用阅读器通过安全模块(Security Authentication Module, SAM),使用主控密钥计算出电子标签的专

用密钥,以便启动鉴别过程。

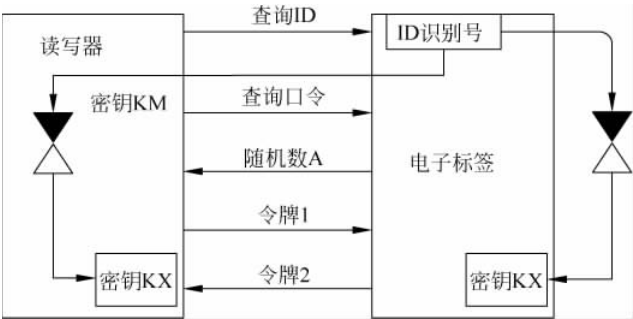


图 3-28 鉴别过程改进

3. 加密的数据传输

数据在传输时受到物理影响而可能面临某种干扰,可以用这种模型扩展到一个隐藏的攻击者。攻击者的类型可以分为两种类型:试图窃听数据和试图修改数据的攻击者,如图 3-29 所示。攻击者 1 的行为表现为被动的,并试图通过窃听传输线路发现秘密而达到非法目的。攻击者 2 处于主动状态,操作传输数据并为了其个人利益而修改它。加密过程可以用来防止主动攻击和被动攻击,为此传输数据(明文)可以在传输前改变(加密),使隐藏的攻击者不能推断出信息的真实内容(明文)。

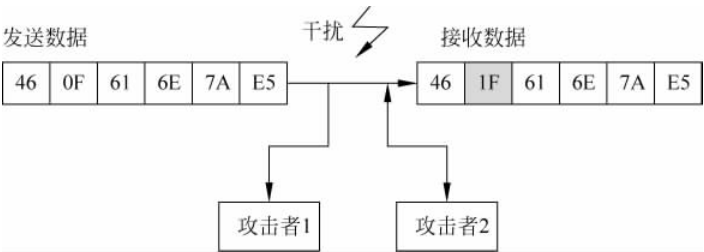


图 3-29 数据传输攻击图

加密的数据传输总是按相同的模式进行:传输数据(明文)被密钥 K 和加密算法变换(密码术)为秘密数据(密文)。如果不了解加密算法和加密密钥尺,则隐藏的攻击者将无法解释所记录的数据,即从密文不可能重现传输数据。在接收器中,使用加密密钥 F 和加密算法加密数据变换回原来的形式(解密)。

如果加密密钥 X 和解密密钥 7T 是相同的或者相互间有直接的关系,那么这种加密解密算法就称为对称密钥算法。如果解密过程与加密密钥 K 的知识无关,那么这种加密解密算法就称为非对称算法。对 RFID 系统来说,最常用的算法就是使用对称算法,所以这里不对其他方法做进一步的讨论。

如果每个符号在传输前单独加密,这种方法称为序列密码(也称流密码)。相反,如果多个符号划分为一组进行加密,则称其为分组密码。通常分组密码的计算强度大,因而而分组密码在 RFID 系统中用得较少。因此,下面把重点放在序列密码上,如图 3-30 所示。

所有加密方法的基本问题是安全分配密钥尺,因为在启动数据传输过程之前,必须让参

与通信方知道。

数据流密码：每一步都用不同的函数把明文的字符序列变换为密码序列的加密算法，就是序列密码法或流密码法。流密码法的理想实现方法是所谓的“一次插入”法，也称为 Vemam 密码法。

加密数据前，要产生一个随机密钥尺，而且这个密码对双方都适用。作为密钥使用的随机序列的长度至少必须与要加密的信息长度相等，因为与明文相比，如果密钥较短，有可能被攻击者通过密码分析而破解，从而导致传输线路被攻击。此外，密码只能使用一次，这意味着为了安全地分配，密钥需要极高的安全水平。然而，对 RFID 系统来说，这种形式的流密码是完全不适用的。

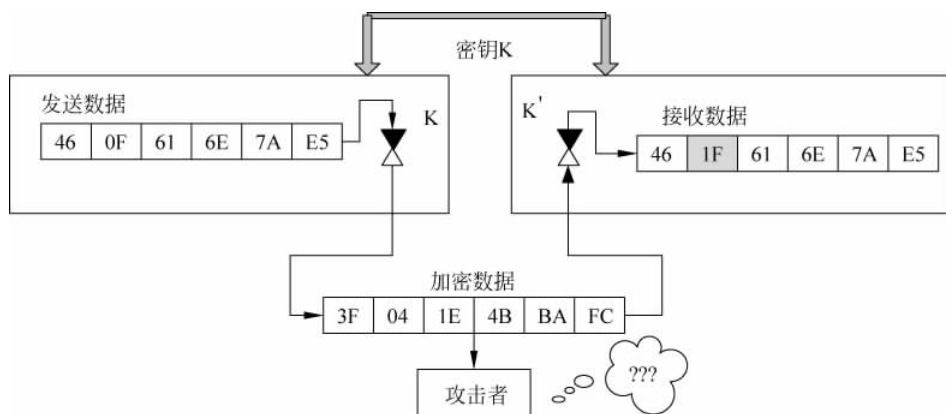


图 3-30 对传输数据加密能有效地保护数据不被窃听和修改

为了克服密码的产生和分配问题，系统应按照“一次插入”原则创建流密码，而使用伪随机数序列来取代真正的随机序列。伪随机序列用伪随机数发生器产生，如图 3-31 所示。

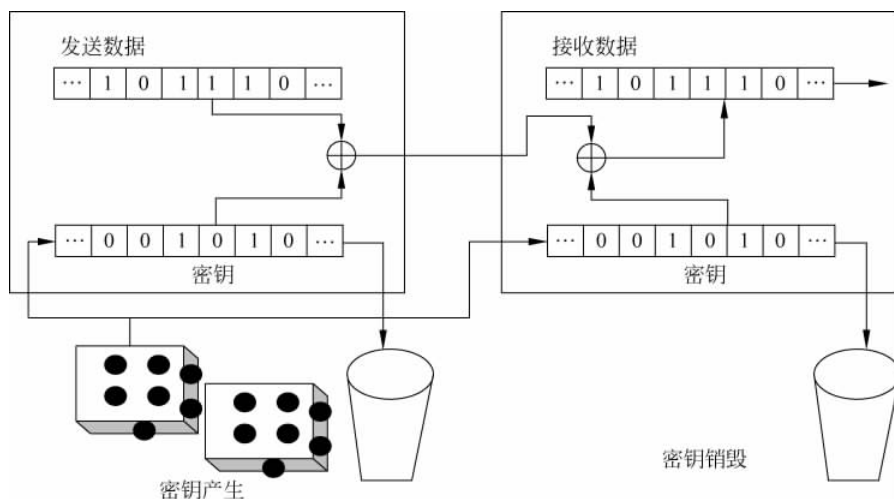


图 3-31 “一次插入”密钥从随机数产生且只能使用一次，再被销毁

### 3.4.3 RFID 数据传输的完整性

数据的完整性用来描述数据传输过程中一组、一帧或一个数据报的内在关联一致性。使用非接触技术传输数据时,很容易遇上干扰,使传输数据发生改变,从而导致传输错误。通常采用数据检错与纠错算法来解决,最常采用的方法有奇偶校验、纵向冗余校验、循环冗余校验等。这些方法用于识别传输错误,并启动校正措施,或者舍弃错误传输的数据,或者要求重新传输有错误的数据块。

#### 1. 奇偶校验

奇偶校验是一种很简单且广泛使用的校验方法。这种方法是把一个奇偶校验位组合到每一字节中,并被传输,即每字节发送 9 位。可以采用奇校验或偶校验。在接收端对接收到的数据进行与发送端相同的校验方法,如果校验位不符,则可识别传输错误。然而,这种方法的缺点是识别错误的能力低。如果错误改变的位数为奇数,那么错误可以识别,但是却无法识别偶数次的改变。

实现方法:在每个被传送码的左边或右边加上 1 位奇偶校验位 0 或 1,若采用奇校验位,只需把每个编码中 1 的个数凑成奇数;若采用偶校验位,只要把每个编码中 1 的个数凑成偶数。检验原理:这种编码能发现 1 个或奇数个错,但因码距较小,不能实现错误定位。对奇偶校验码的评价:它能发现一位或奇数个位出错,但无错误定位和纠错能力。尽管奇偶校验码的检错能力较低,但对出错概率统计,其中 70%~80%是一位错误,另因奇偶校验码实现简单,故它还是一种应用最广泛的校验方法。实际应用中,多采用奇校验,因奇校验中不存在全 0 代码,在某些场合下更便于判别。奇偶校验的校验方程如下:

设 7 位信息码组为  $C_7C_6C_5C_4C_3C_2C_1C_0$ ,校验码为  $C_0$ ,则对偶校验,当满足

$$C_7 \oplus C_6 \oplus C_5 \oplus C_4 \oplus C_3 \oplus C_2 \oplus C_1 \oplus C_0 = 0$$

时,为合法码;对奇校验,当满足

$$C_7 \oplus C_6 \oplus C_5 \oplus C_4 \oplus C_3 \oplus C_2 \oplus C_1 \oplus C_0 = 1$$

时,为合法码。这里的  $\oplus$  表示模 2 相加,对于偶校验,合法码字应满足

$$\sum_{i=1}^n C_0 \oplus C_i = 0$$

对于奇校验,合法码字应满足

$$\sum_{i=1}^n C_0 \oplus C_i = 1$$

#### 2. 循环冗余校验码(Cyclic Redundancy Check,CRC)

CRC 码是一种检错、纠错能力很强的数据校验码,主要用于网络、同步通信及磁表面存储器等应用场合。循环冗余校验码的编码方法如下。

循环冗余校验码由两部分组成,左边为信息位,右边为校验位。若信息位为  $N$  位,校验位为  $K$  位,则该校验码被称为  $(N+K, N)$  码,如图 3-32 所示。

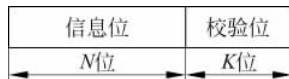


图 3-32 循环冗余校验码的格式

编码步骤如下。

(1) 将待编码的  $N$  位有效信息位表示为一个  $n-1$  阶的多项式  $M(X)$ 。

(2) 将  $M(X)$  左移  $K$  位, 得到  $M(X) \cdot X^K$  ( $K$  由预选的  $K+1$  位的生成多项式  $G(X)$  决定)。

(3) 用一个预选好的  $K+1$  位的  $G(X)$  对  $M(X) \cdot X^K$  作模 2 除法。

$$\frac{M(X) \cdot X^K}{G(X)} = Q(X) + R(X)/G(X)$$

(4) 把左移  $K$  位后的有效信息位与余数作模 2 加法, 形成长度为  $N+K$  的 CRC 码。

$$M(X) \cdot X^K + R(X) = Q(X) \cdot G(X)$$

**例 3.1** 选择生成多项式为  $G(X) = X^4 + X + 1 (10011)$ , 请把 8 位有效信息 11110111 编码成 CRC 码。

**解:**

步骤 1:  $M(X) = X^7 + X^6 + X^5 + X^4 + X^2 + X^1 + 1 = 11110111$ 。

步骤 2:  $M(X) \cdot X^4 = 111101110000$  (即左移 4 位)。

步骤 3: 模 2 除,  $M(X) \cdot X^4 / G(X) = 111101110000 / 10011 = 11100101 + 1111 / 10011$ , 即  $R(X) = 1111$ 。

步骤 4: 模 2 加, 得到循环冗余码为  $M(X) \cdot X^4 + R(X) = 111101110000 + 1111 = 111101111111$ 。

### 3.4.4 RFID 数据传输的干扰与抗干扰

由于标签与阅读器之间的数据传输经过空间传输信道, 因而空间信道面临的干扰问题同样会出现在阅读器与电子标签之间的数据传输过程中。干扰带来的直接影响是阅读器与电子标签通信过程的数据错误, 电子标签和阅读器两个方面都有可能出错。电子标签在接收阅读器发出的命令和数据信息时, 可能导致的错误结果有以下几种。

- (1) 电子标签错误地响应阅读器的命令。
- (2) 造成电子标签工作状态的混乱。
- (3) 造成写入电子标签错误地进入休眠状态。

阅读器在接收电子标签发送的数据信息时出错可能导致以下结果。

- (1) 不能识别正常工作的电子标签, 误判电子标签故障。
- (2) 将一个电子标签判别为另外一个电子标签, 造成识别错误。

可能的抗干扰措施如下。

- (1) 通过电子标签与阅读器通信约定的数据完整性方法, 检验出收到干扰出错的数据。
- (2) 通过数据编码提高数据传输过程中的抗干扰能力, 使得数据传输过程不容易受到干扰。
- (3) 通过数据编码与数据完整性校验, 纠正数据传输过程中的某些差错。
- (4) 通过多次重发、比较, 剔除出错的数据并保留判断为正确的数据。

### 3.4.5 多电子标签同时识别与系统防冲撞

RFID 的一个优点就是多个目标识别。RFID 系统工作时,在阅读器的作用范围内可能会有多个应答器同时存在。在多个阅读器和多电子标签的 RFID 系统中,存在两种形式的冲突方式:一种是同一电子标签同时收到不同阅读器发出的命令;另一种是一个阅读器同时收到多个不同电子标签返回的数据。第一种情况在实际使用中要尽量避免,下面仅考虑实际系统中最容易出现的情况,即一个阅读器和多个电子标签的系统。在这种形式的系统中,存在两种基本的通信:从阅读器到电子标签的通信和从电子标签到阅读器的通信。从阅读器到电子标签的通信,类似于无线电广播方式,多个接收机(电子标签)同时接收同一个发射机(阅读器)发出的信息。这种通信方式也被称为无线电广播。从电子标签到阅读器的通信称为多路存取,使之在阅读器的作用范围内有多个电子标签的数据同时传送给阅读器。

无线电通信系统中多路存取方法一般具有以下几种形式:空分多路法(SDMA)、频分多路法(FDMA)、时分多路法(TDMA)、码分多路法(CDMA)。RFID 系统多路存取技术的实现对电子标签和阅读器提出了一些特殊的要求,因为必须使人们感觉不到浪费时间,必须可靠地防止由于电子标签的数据相互冲突而不能读出。下面仅就几种在 RFID 系统中采用的多路存取方法和特点进行简单的介绍。

#### 1. 空分多路法

空分多路法是在分离的空间范围内进行多个目标识别的技术。一种方式是将阅读器和天线的作用距离按空间区域进行划分,把多个阅读器和天线放置在这个阵列中。这样,当电子标签进入不同的阅读器范围时,就可以从空间上将电子标签区别开来。其实现的另外一种方式可以在阅读器上利用一个相控阵天线,并使天线的方向性图对准某个电子标签。所以不同电子标签可以根据其在阅读器作用范围内的角度位置区别开来。

空分多路法的缺点是复杂的天线系统和相当高的实施费用,因此采用这种技术的系统一般是在一些特殊应用场合,例如这种方法在大型的马拉松活动中就获得了成功。

#### 2. 频分多路法

频分多路法是把若干个使用不同载波频率的传输通路同时供通信用户使用的技术。一般情况下,这种 RFID 系统下行链路(从阅读器到电子标签)频率是固定的(如 125kHz),用于能量供应和命令数据的传输。而对于上行链路(从电子标签到阅读器),电子标签可以采用不同的、独立的副载波频率进行数据传输(如 433~435MHz 内的若干频率)。

频分多路方法的一个缺点是阅读器的成本高,因为每个接收通路必须有单独接收器供使用,电子标签的差异更为麻烦。因此,这种防碰撞方法也限制在少数几个特殊的应用上。

#### 3. 时分多路法

时分多路法是把整个可供使用的通路容量按时间分配给多个用户的技术。时分多路法

首先在数字移动系统范围推广使用。对 RFID 系统来说,时分多路法构成了防碰撞算法最大的一族。这种方法又可分为电子标签控制法和阅读器控制法,如图 3-33 所示。

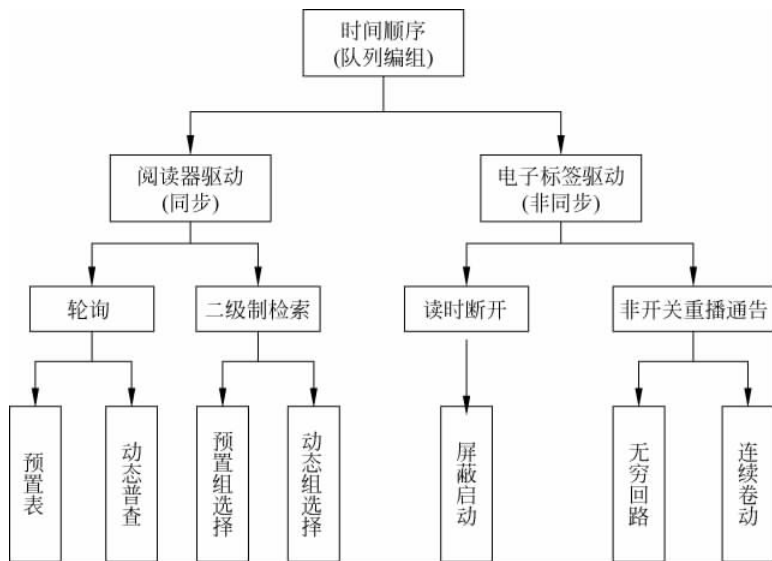


图 3-33 RFID 系统中时分多路防冲撞技术分类

电子标签控制法的工作是非同步的,因为这里没有阅读器的数据传输控制,例如 ALOHA 法。按照电子标签成功完成数据读取后是否通过阅读器发出的命令进入“静止”状态(即不再发送自己的 ID 号和数据),电子标签控制法又可分为开关断开法和非开关法。

在阅读器控制法中,所有的电子标签同时由阅读器进行观察和控制。通过一种规定的算法,在阅读器作用范围内,首先在选择的电子标签组中选中的一个电子标签,然后完成阅读器和电子标签之间的通信(如识别、读出和写入数据)。在同一时间只能建立一个通信关系,所以如果要选择另外一个电子标签,应该解除与原来电子标签的通信关系。阅读器控制方法可以进一步划分为轮询法和二进制搜索法。

轮询法需要有所有可能用到的电子标签的序列号清单。所有的序列号被阅读器依次询问,直至某个有相同序列号的电子标签响应为止。然而,这个过程依赖于电子标签的数量,只适用于作用区内仅有几个已知电子标签的场合。

最灵活的和应用最广泛的是二进制搜索法。对这种方法来说,为了从一组电子标签中选择其中之一,阅读器发出一个请求命令,阅读器通过合适的信号编码,能够确定发生碰撞的准确比特位置,从而对电子标签返回的数据做出进一步的判断,发出另外的请求命令,以最终确定阅读器作用范围内的所有电子标签。

### 3.5 RFID 工作频率以及编码标准

由于 RFID 的应用牵涉众多行业,因此其相关的标准非常复杂。从类别看,RFID 标准可以分为以下 4 类:技术标准(如 RFID 技术、IC 卡标准等)、数据内容与编码标准(如编码



格式、语法标准等)、性能与一致性标准(如测试规范等)、应用标准(如船运标签、产品包装标准等)。具体来讲,RFID 相关的标准涉及电气特性、通信频率、数据格式和元数据、通信协议、安全、测试、应用等方面。

与 RFID 技术和应用相关的国际标准化机构主要有国际标准化组织(ISO)、国际电工委员会(IEC)、国际电信联盟(ITU)、世界邮联(UPU)。此外,还有一些区域性标准化机构(如 EPC Global、UID Center、CEN)、国家标准化机构(如 BSI、ANSI、DIN)和产业联盟(如 ATA、AIAG、EIA)等,也制定与 RFID 相关的区域、国家、产业联盟标准,并通过不同的渠道提升为国际标准。表 3-1 所示列出了目前 RFID 系统主要频段的标准与特性。

表 3-1 RFID 系统主要频段标准与特性

|           | 低 频            | 高 频                 | 超 高 频   | 微 波         |
|-----------|----------------|---------------------|---------|-------------|
| 工作频率/Hz   | 125~134        | 13.56               | 868~915 | 2.45~5.8G   |
| 读取距离/m    | 1.2            | 1.2                 | 4(美国)   | 15(美国)      |
| 速度        | 慢              | 中等                  | 快       | 很快          |
| 潮湿环境      | 无影响            | 无影响                 | 影响较大    | 影响较大        |
| 方向性       | 无              | 无                   | 部分      | 有           |
| 全球适用频率    | 是              | 是                   | 部分      | 部分          |
| 现有 ISO 标准 | 11784/85,14223 | 14443,18000-3,15693 | 18000-6 | 18000-4/555 |

RFID 是从 20 世纪 80 年代开始逐渐走向成熟的一项自动识别技术。近年来由于集成电路的快速发展,RFID 标签的价格持续降低,因而在各个领域的应用发展十分迅速。为了更好地推动这一新产业的发展,国际标准化组织(ISO)、以美国为首的 EPC Global、日本 UID 等标准化组织纷纷制定 RFID 相关标准,并在全球积极推广这些标准。

1. ISO/IEC RFID 标准体系

RFID 标准化工作最早可以追溯到 20 世纪 90 年代。1995 年,国际标准化组织 ISO/IEC 联合技术委员会 JTC1 设立了子委员会 SC31(以下简称 SC31),负责 RFID 标准化的研究工作。SC31 子委员会由来自各个国家的代表组成,如英国的 BS11383 委员、欧洲 CEN/TC225 成员。他们既是各大公司内部咨询者,也是不同公司利益的代表者。因此在 ISO 标准化制定过程中,有企业、区域标准化组织和国家三个层次的利益代表者。SC31 子委员会负责的 RFID 标准可以分为 4 个方面:数据标准(如编码标准 ISO/IEC 15691、数据协议 ISO/IEC 15692、ISO/IEC 15693,解决了应用程序、标签和空中接口多样性的要求,提供了一套通用的通信机制);空中接口标准(ISO/IEC 18000 系列);测试标准(性能测试 ISO/IEC 18047 和一致性测试标准 ISO/IEC 18046);实时定位(RTLS)(ISO/IEC 24730 系列应用接口与空中接口通信标准)方面的标准。这些标准涉及 RFID 标签、空中接口、测试标准以及读写器与应用程序之间的数据协议,它们考虑的是所有应用领域的共性要求。

ISO 对于 RFID 的应用标准由应用相关的子委员会制定。RFID 在物流供应链领域中的应用方面的标准由 ISOTC 122/104 联合工作组负责制定,包括 ISO 17358(应用要求)、ISO 17363(货运集装箱)、ISO 17364(装载单元)、ISO 17365(运输单元)、ISO 17366(产品包

装)、ISO 17367(产品标签)。RFID 在动物追踪方面的标准由 ISO TC23SC19 来制定,包括 ISO 11784/11785(动物 RFID 畜牧业的应用)和 ISO 14223(动物 RFID 畜牧业的应用高级标签的空中接口、协议定义)。

从 ISO 制定的 RFID 标准内容来看,RFID 应用标准是在 RFID 编码、空中接口协议、读写器协议等基础标准之上,针对不同使用对象,确定了使用条件、标签尺寸、标签粘贴位置、数据内容格式、使用频段等方面特定应用要求的具体规范,同时也包括数据的完整性、人工识别等其他一些要求。通用标准提供了一个基本框架,应用标准是对它的补充和具体规定。这一标准制定思想,既保证了 RFID 技术具有互通性与互操作性,又兼顾了应用领域的特点,能够很好地满足应用领域的具体要求。

## 2. EPC Global RFID 标准

EPC Global 是由美国统一代码协会(UCC)和国际物品编码协会(EAN)于 2003 年 9 月共同成立的非营利性组织,其前身是 1999 年 10 月 1 日在美国麻省理工学院成立的非营利性组织——Auto-ID 中心。Auto-ID 中心以创建物联网为使命,它与众多成员企业共同制定一个统一的开放技术标准。EPC Global 旗下有沃尔玛集团、英国 Tesco 等 100 多家欧美零售流通企业,同时有 IBM、微软、飞利浦、Auto-ID Lab 等公司提供技术研究支持,目前已在加拿大、日本、中国等建立了分支机构,专门负责 EPC 码段在这些国家的分配与管理、EPC 相关技术标准的制定以及 EPC 相关技术在本国宣传普及和推广应用等工作。

与 ISO 通用性 RFID 标准相比,EPC Global 标准体系面向物流供应链领域,可以看成是一个应用标准。EPC Global 的目标是解决供应链的透明性和追踪性,透明性和追踪性是指供应链各环节中所有合作伙伴都能够了解单件物品的相关信息,如位置、生产日期等。为此,EPC Global 制定了 EPC 编码标准,它可以实现对所有物品提供单件唯一标识;也制定了空中接口协议、读写器协议。这些协议与 ISO 标准体系类似。在空中接口协议方面,EPC Global 的策略尽量与 ISO 兼容,如 EPC C1 Gen2 UHF RFID 标准已递交到 ISO,将成为 ISO 180006C 标准。但 EPC Global 空中接口协议有其局限范围,仅关注 UHF(860~930MHz)。

除信息采集外,EPC Global 非常强调供应链各方之间的信息共享,为此制定了信息共享的物联网相关标准,包括 EPC 中间件规范、对象名解析服务(Object Naming Service, ONS)、物理标记语言(Physical Markup Language, PML)。这就从信息的发布、信息资源的组织管理、信息服务的发现以及大量访问之间的协调等方面做出规定。物联网的信息量和信息访问规模大大超过普通的因特网;但物联网是基于因特网的,与因特网具有良好的兼容性。因此,物联网系列标准是根据自身的特点参照因特网标准制定的。

EPC Global 物联网体系架构由 EPC 编码、EPC 标签及读写器、EPC 中间件、ONS 服务器和 EPCIS 服务器等部分构成。EPC 赋予物品唯一的电子编码,其位长通常为 64b 或 96b,也可扩展为 256b。

物联网标准是 EPC Global 所特有的,ISO 仅考虑自动身份识别与数据采集的相关标准,而对数据采集以后如何处理、共享并没有做出规定。物联网是未来的一个目标,对当前应用系统建设来说具有指导意义。

### 3. UID 编码体系

日本在电子标签方面的发展,始于 20 世纪 80 年代中期的实时嵌入式系统 TRON, T-Engine 是其中核心的体系架构。日本泛在中心制定 RFID 相关标准的思路类似于 EPC Global,其目标也是构建一个完整的标准体系,即从编码体系、空中接口协议到泛在网络体系结构。

在 T-Engine 论坛领导下,泛在中心于 2003 年 3 月成立,并得到日本经济产业省、总务省和大企业的支持,目前包括微软、索尼、三菱、日立、日电、东芝、夏普、富士通、NTT DoCoMo、KDDI、J-Phone、伊藤忠、大日本印刷、凸版印刷、理光等重量级企业。

泛在中心的泛在识别技术体系架构由泛在识别码(uCode)、信息系统服务器、泛在通信器和 uCode 解析服务器 4 部分构成。uCode 采用 128B 记录信息,提供了  $340 \times 1036$  编码空间,并可以以 128B 为单元进一步扩展至 256B、384B 或 512B。uCode 能包容现有编码体系的元编码设计,以兼容多种编码,包括 JAN、UPC、ISBN、IPv6 地址,甚至电话号码。uCode 标签具有多种形式,包括条码、射频标签、智能卡、有源芯片等。泛在 ID 中心把标签进行分类,设立了 9 个级别的不同认证标准。信息系统服务器用来存储和提供与 uCode 相关的各种信息。uCode 解析服务器用于确定与 uCode 相关的信息存放在哪个信息系统服务器上,其通信协议为 uCodeRP 和 eTP,其中 eTP 是基于 eTron(PKI)的密码认证通信协议。泛在通信器主要由 IC 标签、标签读写器和无线广域通信设备等部分构成,用来将读到的 uCode 送至 uCode 解析服务器,并从信息系统服务器上获得有关信息。

### 4. 我国 RFID 标准体系的研究与发展

目前,全球 RFID 标准呈三足鼎立局面,国际标准 ISO/IEC 18000、美国的 EPC Global 和日本的 Ubiquitous ID,技术差别不大却各不兼容,因此造成了几大标准在中国的混战局面。

在我国,由于技术标准的不统一,RFID 技术在应用中遇到了很多问题,如缺乏 RFID 系列技术标准,编码与数据协议冲突等。为使 RFID 技术在我国得到更广阔的应用,“十一五”期间,中国物品编码中心联合中国标准化协会等单位,承担“863”计划、“RFID 技术标准的研究”项目,系统开展了 RFID 相关标准的研究制定工作。此外,中国物品编码中心以全国信息技术标准化技术委员会自动识别与数据采集技术分委会和我国自动识别技术企业为依托,结合物联网应用,全方位推进我国 RFID 技术研究和标准化工作。

全国信息技术标准化技术委员会自动识别与数据采集技术分技术委员会(SC31 标委会)于 2002 年组建成立,其秘书处设在中国物品编码中心,对口国际 SC31 开展标准化研究工作,是负责全国自动识别和数据采集技术及应用的标准化工作组织。

2004 年初,中国国家标准化管理委员会宣布,正式成立电子标签国家标准工作组,负责起草、制定中国有关电子标签的国家标准,使其既具有中国的自主知识产权,同时又与目前国际的相关标准互通兼容,促进中国的电子标签发展纳入标准化、规范化的轨道。

2005 年 4 月,中国信息产业商业联合会联合众多组织和企业成立“中国 RFID 联盟”(下称“R 盟”)据悉,国际 RFID 联盟组织也将成为 R 盟常务理事。R 盟将致力于促进 RFID 的产业化进程,以解决目前市场推广中存在的技术标准、实施成本和市场需求等三大难题。

2006年6月,发表了《中国射频识别(RFID)技术政策白皮书》。

2010年5月,第十六届国际自动识别和数据采集技术标准化分委员会(SC31)年会在北京成功举行。该会议是我国第一次承办的自动识别与数据采集技术领域标准化国际会议,吸引了来自全球10多个国家的国家团体和机构代表出席会议。SC31标委会将致力于国际RFID标准进展的跟踪,对于标准的过程性投票文件严格审核,加快RFID关键技术标准的制修订工作,填补国内RFID标准的空白,履行SC31标委会与国际SC31的对口职责,对国内企业提交的RFID技术提案组织专家组审评,对于有创新性的技术提案尽快提交国际SC31,争取国内RFID技术提案在国际标准中的地位。

## 3.6 RFID 技术应用

RFID系统的最大优点是减少了人工干预,可应用于跟踪和识别物体、人或动物的多个行业,并在不断发展。

### 1. RFID 技术与传感器技术

当电子标签具有感知能力时,RFID与无线传感网的界限就变得模糊不清了。很多主动式和半主动式电子标签结合传感器进行设计,使得传感器可以发送数据给读写器,而这些电子标签并不完全是无线传感网的节点,因为它们之间缺乏通过相互协同组成的自组织网络进行通信,但是它们又超越了一般的电子标签。另一方面,一些传感器节点正在使用RFID读写器作为它们感知能力的一部分。温度标签、振动传感器、化学传感器都大大提高了RFID技术的功能。

若将智能传感器与准确的时间、位置感应的电子标签结合起来,将能够记录给定物体的状态及其被处理的情况。例如,人们正在研究开发易腐食品是否过期的生物传感器,这种传感器十分微小,能检测出任何生物或化学制剂。这种传感器由发射器和计算机芯片组成,它能嵌入电子标签,能在水瓶里甚至肉品包装袋的积水底部工作。RFID生物传感器的研制还需要几年时间,但有些公司,包括麦当劳最大的牛肉供应商——金州食品公司,自2002年以来一直在试验RFID生物传感器。由RFID传感器构成的系统最终将跟踪和监测所有的食品供应,防止污染和生物恐怖主义者。

### 2. 应用近距离无线通信技术组成无线支付系统

近距离无线通信(Near Field Communication, NFC)技术是由飞利浦公司发起,由诺基亚公司、索尼公司等著名厂商联合主推的一项无线通信技术。NFC工作在13.56MHz频段,其数据传输速率取决于工作距离,可以是106kb/s、212kb/s或424kb/s;其最长通信距离为20cm,在大多数应用中,实际工作距离不会超过10cm。NFC技术的出现将在很大程度上改变人们使用某些电子设备的方式,甚至改变信用卡、现金和钥匙的使用方式,它可以应用在手机等便携型设备上,实现安全的移动支付和交易、简便的端对端通信、在移动中轻松接入信息等功能。

NFC与RFID技术所针对的行业不同,NFC技术针对消费类电子产品,而RFID技术

针对所有行业,包括物流、交通等诸多行业。从某种意义上讲,NFC 也是 RFID 的一种应用,也可以把 NFC 看成 RFID 的升级。RFID 与 NFC 是相互促进的:一方面,RFID 应用的普及需要无处不在的读写器;另一方面,NFC 是与手机紧密结合的技术,NFC 的普及将解决 RFID 读写器存在的一些难题,为 RFID 的进一步发展助力。此外,RFID 市场的存在和扩大,也给 NFC 技术的推广普及提供了基础环境。从通信角度来看,近距离内工作的 RFID 技术也是近距离无线通信技术的一种。RFID 技术的下一个应用热点将是手机、个人数字助理(PDA)和汽车电子产品等消费性的电子产品领域,它们的表现形式将是基于 NFC 等技术的非接触式移动支付等,例如以手机取代电子钱包、信用卡、积分卡、银行卡和交通卡等。

NFC 手机与用户识别模块(SIM 卡)整合,让手机拥有小额付费功能,并同时可以兼容如 Master Card Paypass 及 VISA Wave 等多张非接触式感应信用卡,以一部手机就可乘地铁、公交,还能当作电子钱包,而无须携带许多张卡出门。空中下载(Over The Air,OTA)技术是通过移动通信的空中接口对 SIM 卡数据及应用进行远程管理的技术。借由 OTA,可以简单便捷地配置 NFC 手机的多元化服务。这种移动支付模式将带给消费者极大的方便,它可以随时随地快速选择新的支付模式。NFC 手机将会内建密钥以增加安全性,也可以设定让每一笔交易都必须经过使用者以密码或其他生物特征确认,在系统支持下还能记录每笔交易信息,而客户也可以随时通过手机查询每次充值或交易的记录。NFC 手机还可以读取内建感应线圈的海报提供的优惠信息。如果主要路标也布有内建感应线圈的电子标签,手机就能接收道路、旅游、环境、消费与公共服务等相关信息,使 NFC 的应用更加多元化。

### 3. RFID 技术与 4G

RFID 技术在当前的移动通信领域中已经有所应用,但是大部分还处于试验阶段,从 RFID 的标记、地址号码和传感功能这 3 个本质特点来看,RFID 在 4G 产业中的应用前景非常广阔。移动通信技术发展到了 4G 的直接结果是一个结构更加复杂和功能更加强大的通信系统,除传统的人与人之间的通信外,设备与设备之间的通信业务(Machine to Machine, M2M)也得到迅速发展,而 RFID 在其中扮演关键的角色,因为 RFID 所具有的标记、地址号码和传感功能能够解决 M2M 中很多实际的问题。虽然设备或物品本身并不具备感知的功能,但可以利用支持 RFID 技术的 4G 终端了解设备或物品所处的外界环境,从而更好地实现对设备或物品的数据读取、状态监测和远程管理控制等诸多业务。新融合的需求对移动设备提出了前所未有的挑战,如果需要手持设备支持丰富的融合业务,除了强大的处理器之外,还需要支持无线局域网(WLAN)、超宽带(UWB)、蓝牙、ZigBee、通用移动电话业务(UMTS)等诸多无线协议,用以支持移动通信、娱乐体验的需求。

4G 手机加上 RFID 技术可以实时传递信息和上传或下载多媒体影音档案,提供数据的读取与更新,存储用于对象识别与获取信息的功能。该研究表明,通过 4G 系统结合日常生活中各项物品,如家电用品、日常用品、大众运输、餐厅、电影及卖场等内含的电子标签,各项物品的服务经 4G 手机上的读写器读取之后,产品的具体信息将显示于 4G 手机屏幕,从而达到服务数字化,并且无所不在、无所不用,大大提高了人们数字生活的方便程度。若 RFID 的相关设备成本可以降低的话,未来日常生活中的各项物品均有可能内嵌电子标签,那样 RFID 技术与 4G 系统的结合可为人类未来的生活带来极大方便。

## 3.7 RFID 应用系统开发示例

运用 RFID 技术设计开发一个实际应用系统是主要目的所在。下面通过一个 RFID 应用系统的示例,在介绍阅读器的开发技术基础上,介绍 RFID 在 ETC 系统中的应用示例。

### 3.7.1 RFID 读写器设计

一个实际的 RFID 应用系统一般由硬件和软件两部分组成,其中硬件部分的关键是读写器。读写器的硬件结构主要可以分为主控制器模块和射频发射模块两部分以及其他辅助部分,其组成框图如图 3-34 所示。

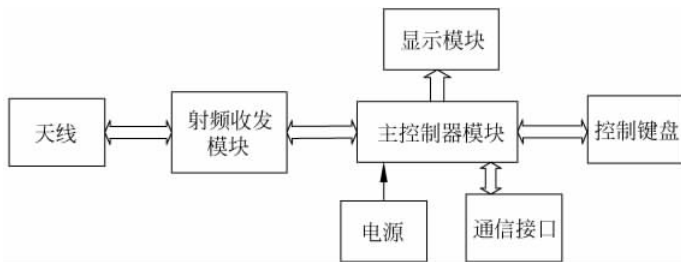


图 3-34 RFID 系统读写器硬件组成框图

#### 1. 主控制器

读写器的主控制器可以采用 NIOSII 软核处理器,该软核处理器被嵌入到 Altera Cyclone FPGA 系列的 EPIC6T144C8 中。

##### 1) Altera Cyclone FPGA 系列简介

FPGA 是英文 Field Programmable Gate Array 的缩写,即现场可编程门阵列。它是在可编程阵列逻辑(Programmable Array Logic, PAL)、门阵列逻辑(Gate Array Logic, GAL)、可编程逻辑器件(Programmable Logic Device, PLD)等可编程器件的基础上进一步发展的产物。它是作为专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit, ASIC)领域的一种半定制电路而出现的,既解决了定制电路的不足,又克服了原有可编程器件门电路数有限的缺点。

Altera Cyclone FPGA 是目前市场上性价比最高的 FPGA。Cyclone 器件具有为大批量价格敏感应用优化的功能集,其应用市场包括消费类、工业类、汽车业、计算机和通信类。Cyclone 器件基于成本优化的全铜 1.5VSRAM 工艺,容量为 2910~20060 个逻辑单元,具有多达 294 912b 的嵌入 RAM。

Altera Cyclone FPGA 支持各种单端 I/O 标准,如 LVTTTL、LVCMOS、PCI 和 SSTL-2/3,通过 LVDS 和 RSQS 标准提供多达 129 个通道的差分 I/O 支持。每个 LVDS 通道的速率高达 640Mb/s。Cyclone 器件具有双数据速率(DDR)SDRAM 和 FCRAM 接口的专用电路。Cyclone FPGA 中有两个锁相环(PLL)提供 6 个输出和层次时钟结构,以及复杂设计

的时钟管理电路。这些业界最高效架构特性的组合使得 FPGA 系列成为 ASIC 最灵活和最合算的替代方案。

### 2) NIOS II 简介

NIOS II 系列软核处理器是 Altera 的第二代 FPGA 嵌入式处理器,其性能超过 200DMIPS,在 Altera FPGA 中实现仅需 35 美分。Altera 的 Stratix、StratixGX、Stratixn 和 Cyclone 系列 FPGA 全面支持 NIOS II 处理器,以后推出的 FPGA 器件也将支持 NIOS II。

NIOS II 系列包括 3 种产品:NIOS II/f(快速)——最高的系统性能,中等 FPGA 使用量;NIOSII/s(标准)——高性能,低 FPGA 使用量;NIOS II/e(经济)——低性能,最低的 FPGA 使用量。这 3 种产品具有 32 位处理器的基本结构单元——32 位指令大小、32 位数据和地址路径、32 位通用寄存器和 32 个外部中断源。使用同样的指令集架构(ISA),100% 与二进制代码兼容,设计者可以根据系统需求的变化更改 CPU,选择满足性能和成本的最佳方案,而不会影响已有的软件投入。

### 3) SOPC 简介

使用可编程逻辑技术把整个系统放到一块硅片上,称为 SOPC(System on Programmable Chip,可编程片上系统)。SOPC 是一种特殊的嵌入式系统:首先它是片上系统(SoC),即由单个芯片完成整个系统的主要逻辑功能;其次,它是可编程系统,具有灵活的设计方式,可裁减、可扩充、可升级,并具备软硬件在系统中可编程的功能。

SOPC 结合了 SoC 和 PLD、FPGA 各自的优点,一般具备以下基本特征:①至少包含一个嵌入式处理器内核;②具有小容量片内高速 RAM 资源;③丰富的 IP Core 资源可供选择;④足够的片上可编程逻辑资源;⑤处理器调试接口和 FPGA 编程接口;⑥可能包含部分可编程模拟电路;⑦单芯片、低功耗、微封装。

SOPC 设计技术涵盖了嵌入式系统设计技术的全部内容,除了以处理器和实时多任务操作系统(RTOS)为中心的软件设计技术,以 PCB 和信号完整性分析为基础的高速电路设计技术以外,SOPC 还涉及目前已引起普遍关注的软硬件协同设计技术。由于 SOPC 的主要逻辑设计是在可编程逻辑器件内部进行,而 BGA 封装已被广泛应用在微封装领域,传统的调试设备(如逻辑分析仪和数字示波器)已很难进行直接测试分析,因此,必将对以仿真技术为基础的软硬件协同设计技术提出更高的要求。同时,新的调试技术也已不断涌现出来,如 Xilinx 公司的片内逻辑分析仪 ChipScope ILA 就是一种价廉物美的片内实时调试工具。

## 2. 射频收发模块

目前,射频收发模块可供选择的产品主要有 SkyeModule 模块和 CC1100 模块。

### 1) SkyeModule 模块简介

SkyeModule 是 SkyeTec 公司生产的超高频(562~955MHz)读写器模块,可以对基于 ISO 18000-6B、EPCClassI Gen2 空中接口标准的标签进行可读写操作。SkyeTek 公司已经为 SkyeModule 模块制定了专门的通信协议,控制器只需按照通信协议格式就可以通过串行接口或 USB 接口与 SkyeModule 模块进行通信,读取标签信息或对 SkyeModule 模块进行配置。

两根串口线分别是 TXD 和 RXD 连接(没有握手协议)。TXD 和 RXD 可以在模块上找到相应的点。根据 SkyeTek Protocol v3 协议(ASCII 或二进制格式),数据在主机和 SkyeModule 之间进行交换。图 3-35 所示为典型的例子。发送 1 的 ASCII 码,即 49(十进

制)=0X31(十六进制)=0b00110001(二进制)。

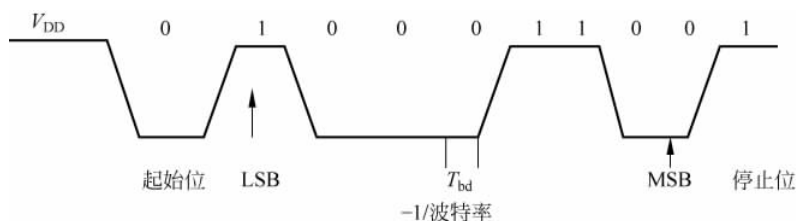


图 3-35 SkyeModule 发射器示意图

对于 SkyeModule 模块,波特率是可选的,通过相应的系统参数来设置,程序出厂默认波特率为 38 400 波特,无奇偶检验,8 位数据,1 位停止位。

当 SkyeModule 模块和 PC 相连时,应进行 TTL 和 RS-232 间的电平转换。

## 2) CC1100 模块简介

CC1100 是一种低成本真正单片的 UHF 收发器,它是为低功耗无线应用而设计的。其电路主要设定于 315MHz/433MHz/868MHz 和 915MHz 的 ISM 和 SRD(短距离设备)频率波段,也可以很容易地设置为 300~348MHz、400~464MHz 和 800~928MHz 的其他频率。

RF 收发器集成了一个高度可配置的调制解调器。这个调制解调器支持不同的调制格式,其数据传输速率可达 500kb/s。通过开启集成在调制解调器上的前向误差校正选项,能使性能得到提升。

CC1100 可为数据包处理、数据缓冲、突发数据传输、清晰信道评估、连接质量指示和电磁波激发提供广泛的硬件支持。其主要操作参数和 64 位传输/接收 FIFO(先进先出)堆栈可通过 SPI 接口控制。在一个典型系统里,CC1100 和一个微控制器及若干被动元件一起使用,只需少量的外部元件,其典型应用电路如图 3-36 所示。

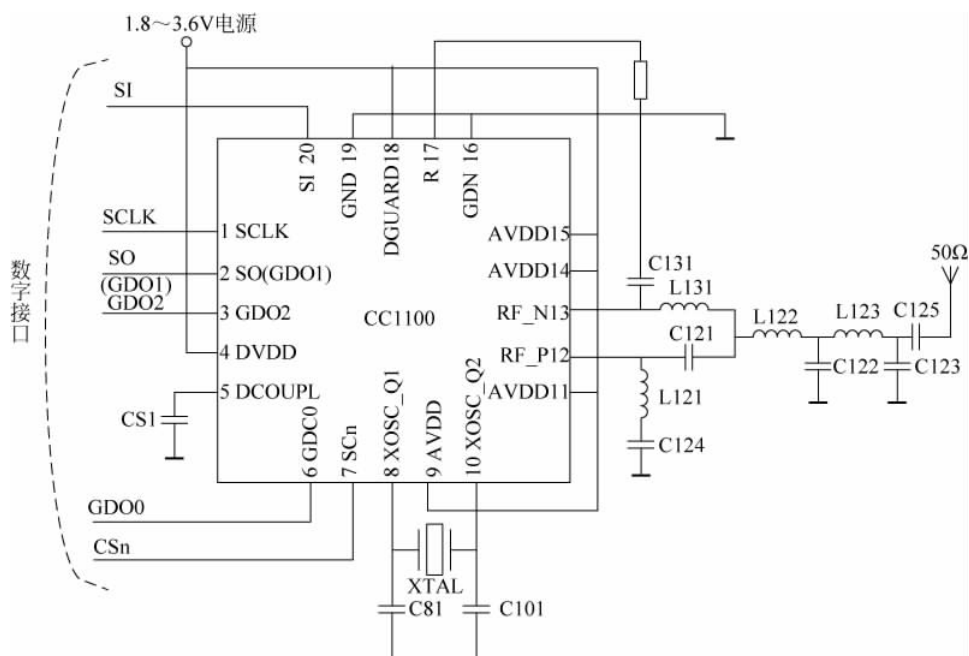


图 3-36 CC1100 典型应用电路



### 3.7.2 基于 RFID 技术的 ETC 系统设计

ETC(Electronic Toll Collection System,电子收费)系统又称不停车收费系统,是利用 RFID 技术实现车辆不停车自动收费的智能交通系统。ETC 系统在国外已有较长的发展历史,美国、欧洲等国家和地区的电子收费系统已经局部联网并逐步形成规模效益。我国以 IC 卡、磁卡为介质,采用人工收费方式为主的公路联网收费方式,无疑将受到这一潮流的影响。

在不停车收费系统特别是高速公路自动收费应用上,RFID 技术可以充分体现出它的优势,即在让车辆高速通过完成自动收费的同时,还可以解决原来收费成本高、管理混乱以及停车排队引起的交通拥塞等问题。

#### 1. ETC 系统的组成

ETC 系统广泛采用了现代高新技术,尤其是电子方面的技术,包括无线电通信、计算机、自动控制等多个领域。与一般半自动收费系统相比,ETC 系统具有两个主要特征:一是在收费过程中流通的不是传统的现金,而是电子货币;二是实现了公路的不停车收费。使用 ETC 系统的车辆只需按照限速要求直接驶过收费道口,收费过程通过无线通信和机器操作自动完成,不必再像以往一样在收费亭前停靠、付款。ETC 系统的功能包括收费站、收费数据采集、管理收费车道的交通、车道控制机与后台结算网络的数据接口、内部管理功能、查询系统。ETC 系统的结构如图 3-37 所示。

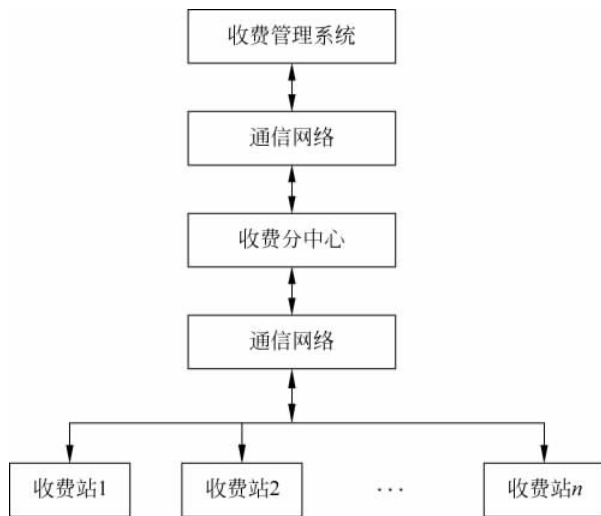


图 3-37 ETC 系统结构

##### 1) 收费管理系统

收费管理系统是 ETC 系统的控制和监视中心。各收费分中心的运作都要通过收费管理系统来完成。它提供以下几个功能:①汇集各个路桥自动收费系统的收费信息;②监控所有收费站系统的运行状态;③管理所有标识卡和用户的详细资料,并详细记录车辆通行

情况,管理和维护电子标签的账户信息;④提供各种统计分析报表及图表;⑤收费管理中心可通过网络连接各收费站,以进行数据交换和管理(也可采用脱机方式,通过便携机或权限卡交换数据);⑥查询缴费情况、入账情况、各路段的车流量等情况;⑦执行收费结算,形成电子标签用户和业主的转账数据。

### 2) 收费分中心

收费分中心的主要功能有:①接收和下载收费管理系统运行参数(费率表、黑名单、同步时钟、车型分类标准及系统设置参数等);②采集辖区内各收费站上传的收费数据;③对数据进行汇总、归档、存储,并打印各种统计报表;④给收费管理系统上传数据和资料;⑤票证发放、统计和管理;⑥抓拍图像的管理;⑦收费系统中操作、维修人员权限的管理;⑧数据库、系统维护,网络管理等。

### 3) 通信网络

通信网络负责在收费系统与运行系统之间以及各站口的收费系统之间传输数据。

(1) 收费站与收费中心的通信。出于对安全的考虑,收费站与收费中心之间采用TCP/IP进行文件传输的方式。

(2) 收费站数据库服务器与各车道控制机之间的数据通信。该模块与车道控制系统的通信模块是对等的,提供的主要功能为:①更新数据,即当接收完上级系统下传的更新数据并写入数据库后,向各车道控制机发送更新后的数据;②接收数据,即实时接收车道上传的原始过车记录和违章车辆信息;③发送控制指令,即当接收到车道监控系统发来的车道控制指令后,将该指令实时地转发到对应的车道控制机中。

### 4) 收费站

收费站采用智能型远距离非接触收费机。当车辆驶抵收费站时,通过车辆上配备的电子标签“刷卡”,收费站的收费机将数据写入卡片并上传给收费站的微机,可使唯一车辆收到信号,车辆在驶至下一个收费站并刷卡后,经过卡片和收费机的3次相互认证,将电子标签上的相关信息发给收费站的收费机。经收费机无线接收系统核对无误后完成一次自动收费,并开启绿灯或其他放行信号,控制道闸抬杆,指示车辆正常通过。如收不到信号或核对该车辆通行合法性有误,则维持红灯或其他停车信号,指示该车辆属于非正常通行车辆,同时安装的高速摄像系统能将车辆的有关信息数据快速记录下来,并通知管理人员进行处理。车主的开户、记账、结账和查询(利用互联网或电话网),可利用计算机网络进行账务处理,通过银行实现本地或异地的交费结算。收费计算机系统包括一个可记录存储多达20万部车辆的数据库,可以根据收费接收机送来的识别码、入口码等进行检索、运算与记账,并将运算结果送到执行机构。执行机构可显示车牌号、应交款数、余款数等。

## 2. ETC系统的硬件设计

ETC系统的工作流程为:当有车进入自动收费车道并驶过在车道的入口处设置的地感线圈时,地感线圈就会产生感应而生成一个脉冲信号,由这个脉冲信号启动射频识别系统。由读写器的控制单元控制天线搜寻是否有电子标签进入读写器的有效读写范围。如果有,则向电子标签发送读指令,读取电子标签内的数据信息,送给计算机,由计算机处理完后再由车道后面的读写器写入电子标签,打开栏杆放行并在车道旁的显示屏上显示此车的收费信息,这样就完成了一次自动收费。如果没找到有效的标签,则发出报警,放下栏杆阻止

恶意闯关,迫使其进入旁边预设的人工收费通道。

从 ETC 的工作流程分析可知一个较为完整的 ETC 车道所需的各个组成部分,据此可设计如图 3-38 所示的 ETC 车道自动收费系统框图。ARM 嵌入式系统主要完成总体控制, MSP430 单片机则主要负责车辆缴费信息的显示,二者互为冗余且都可控制整个系统。一旦一方出现异常,另一方即可发出报警信息,在故障排除前代其行使职责,以保证 ETC 车道的正常工作。具体各部分的硬件选择和设计将在后面具体说明。

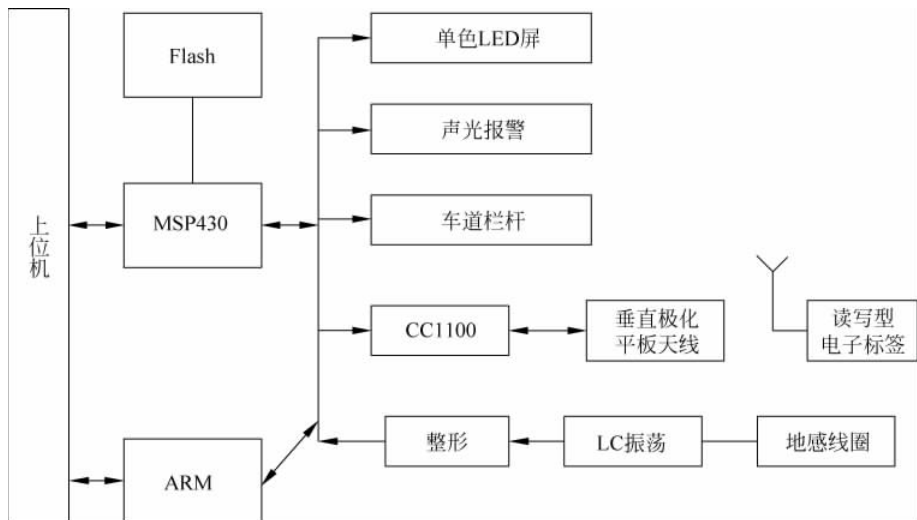


图 3-38 ETC 车道自动收费系统框图

### 1) 车辆检测器的设计

车辆检测器是高速公路交通管理与控制的主要组成部分之一,是交通信息的采集设备。它通过数据采集和设备监控等方式,在道路上实时地检测交通量、车辆速度、车流密度和时空占有率等各种交通参数,这些都是智能交通系统中必不可少的参数。检测器检测到的数据通过通信网络传送到本地控制器中或直接上传至监控中心计算机中,作为监控中心分析、判断、发出信息和提出控制方案的主要依据。它在自动收费系统中除了采集交通信息外还扮演着 ETC 系统开关的角色。

使用车辆检测器作为 ETC 系统的启动开关。当道路检测器检测到有车辆进入时,就发送一个电信号给 RFID 读写器的主控 CPU,由主控 CPU 启动整个射频识别系统,对来车进行识别,并完成自动收费。

目前,常用的车辆检测器种类很多,有电磁感应检测器、波频车辆检测器、视频检测器等,具体包括环形线圈(地感线圈)检测器、磁阻检测器、微波检测器、超声波检测器、红外线检测器等。其中,地感线圈检测器和超声波检测器都可做到高精度检测,且受环境以及天气的影响较小,更适用于 ETC 系统。但是,超声波检测器必须放置在车道的顶部,而 ETC 系统中最关键的射频识别读写器天线也需要放置在车道比较靠上的位置,二者就有可能互相影响,且超声波检测器价格较高,故其性价比稍逊于地感线圈检测器。更重要的是,地感线圈的技术更加成熟。

地感线圈检测器的原理结构框图如图 3-39 所示,其工作原理是:埋设在路面下使环形

线圈电感量随之降低,当有车经过时会引起电路谐振频率的上升,只要检测到此频率随时间变化的信号,就可检测出是否有车辆通过。环形线圈的尺寸可随需要而定,每车道埋设一个,计数精度可达到 $\pm 2\%$ 。

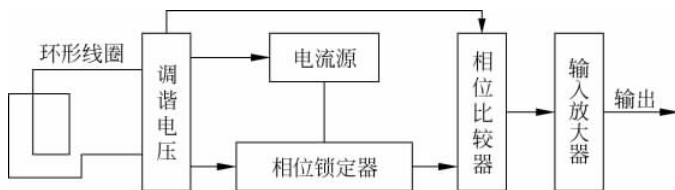


图 3-39 地感线圈检测器的原理结构图

### 2) 双核冗余控制设计

考虑到不停车电子收费系统需要常年在室外环境下工作,会受到各种恶劣天气的影响以及各种污染的侵蚀,对其核心控件采取冗余设计,以保证系统的正常工作,即采用了双核控制的策略——嵌入式系统和单片机的冗余控制。这一策略的具体内容是:平时二者都处于工作状态,各司其职,嵌入式系统负责总体控制,单片机负责大屏幕显示,相互通信时都先检查对方的工作状态,一旦某一个 CPU 状态异常,另一个就立即启动设备异常报警,并暂时接管其工作以保证整个系统的正常工作,直到故障排除,恢复正常状态。之所以选择嵌入式系统和 MSP430 单片机,是因为嵌入式系统的实时性、稳定性更好,功能更加强大,有利于产品的更新换代;而 MSP430 单片机则以超低功耗、超强功能的低成本微型化的 16 位单片机著称,这有利于降低系统功耗,提高系统寿命,其众多的 I/O 接口也可为日后的系统升级提供足够的空间。

这种冗余设计的实现主要是通过两套控制系统完成的,即嵌入式系统和 MSP430 单片机都各有一套控制板,都可与射频收发芯片进行信息交换,都可采集地感线圈的脉冲信号,都可控制栏杆、红绿灯、声光报警、显示屏等车道设备。这二者之间采用 RS-485 通信,每次通信时都先检测对方的工作状态;如果出现异常,则紧急启动本控制系统中的备用控制程序。

### 3) 电子标签与阅读器

电子标签与阅读器的核心收发模块可采用 CC1100,有关内容可查看相关资料。自动识别技术作为物联网的主要技术之一,虽然基本成熟,但还有很多问题急需解决。例如,射频标签的微型化、中间件系统和即将面临的安全问题等,都需要进一步学习和研究。

## 3.8 本章小结

RFID 技术是一种先进的自动识别技术。它的主要任务是提供关于个人、动物和货物等被识别对象的信息。本章首先对现有的自动识别技术进行了简要的介绍,介绍 RFID 技术的发展历史、分类,分析各种自动识别技术的特点;然后介绍 RFID 的工作原理,RFID 的技术分类,以及其工作频段和编码标准,最后介绍了 RFID 技术的应用,并结合 ETC 系统给出了 RFID 的应用示例。使读者对 RFID 技术概念、工作原理和流程、关键技术以及应用领域都有了一个全面的认识。