

江苏大学

硕士学位论文

RFID技术在物联网中应用的关键技术探讨

姓名：周祥

申请学位级别：硕士

专业：通信与信息系统

指导教师：王刚

20050101

# 独 创 性 声 明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容以外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：周祥

日期：2005 年 6 月 13 日

# 学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权江苏大学可以将本学位论文的全部内容或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保 密 ☐， 在      年解密后适用本授权书。  
本学位论文属于  
不保密 ☒。

学位论文作者签名：周祥

导师签名：王明

签字日期：2005年6月13日

签字日期：2005年6月14日

学位论文作者毕业后去向：

工作单位：江苏大学

电话：(0511) 2983826

通讯地址：镇江市学府路301号

邮编：212013

## 摘要

射频识别技术 (Radio-frequency Identification, RFID), 作为新兴的非接触式自动识别技术, 正以其独特的优良性能从上世纪 90 年代以来在电子防盗 (Electronic Article Surveillance, EAS)、便携数据采集和定位等系统中得到成功应用。本文首先对 RFID 技术的主要应用和研究现状进行了概述。其次在介绍 RFID 的组成和基本工作原理的基础上, 针对超高频段和微波段应用中的标签天线弯曲对系统性能的影响和多卡识别的防冲两大关键技术进行了研究。最后还对 RFID 在数字化校园中的应用作了探讨和展望。

当工作在微波段的无源 RFID 标签贴于某些物体表面上时, 标签天线将会发生弯曲现象。通过理论分析明确了标签天线的增益与输入阻抗为影响 RFID 系统性能的主要影响因素, 并由线天线分析软件 NEC-Win Basic 对广泛应用于微波段的 4 种典型的半波振子标签天线弧形弯曲的情况进行了分组数值模拟。结果表明, 标签天线的弧形弯曲会使无源 RFID 系统的工作距离明显变短。因此, 在 RFID 的此类应用中, 标签天线应考虑采用易于弯曲具有低敏感性的天线结构。

随着 RFID 技术在商业链中的广泛应用, 不能排除会有一个以上的标签进入阅读器的工作范围, 因此防冲突技术的地位日益重要。本文以超高频段广泛使用的二进制搜索算法为研究对象, 在分析已有二进制搜索算法和传统动态二进制搜索算法的基础上, 就系统执行效率、客户隐私和灵活性方面提出了一种改良型动态二进制搜索算法系统。通过 C 语言仿真和理论分析验证了本算法的可行性, 并分析了本算法较传统算法的主要性能优势。

此外, 在探讨 RFID 在数字化校园中应用所需考虑问题的基础上, 本文结合已有的成功案例提出了一套智能图书馆的方案。

**关键词:** 射频识别; 无源标签; 天线; 防冲突算法; 动态二进制搜索

## Abstract

As a new kind of automatic identification (Auto ID) technology, Radio Frequency Identification (RFID) has been applied in Electronic Article Surveillance Systems (EAS), Portable data capture systems and Positioning systems etc. since the 1990's. After a brief introduction of some successful applications of RFID and its operation principles, we studied the influence of tag's antenna curving on the system performance and the anti-collision for reading multi tags for the passive RFID system operating in UHF and microwave region. A prospect of the RFID being applied in the digital campus is further discussed.

The phenomena of tag's antenna curving will appear for the system operating in microwave region when it is attached on the surfaces of some objects in some applications. With theoretical analysis, we find the gain and the input impedance of the antenna have significant influence on the passive RFID system performance. There are four kinds of typical half-wave dipole wire antennas widely used in microwave region were illustrated with NEC-Win. Results indicate that the arc curving of tag's antenna can degrade significantly the operating rang of the passive microwave RFID system. Therefore, antenna structures less sensitive to curving should be considered for RFID system to avoid this kind of distortion.

For RFID widely used in supply chain, one problem with attempting to read multiple RFID tag with an interrogation zone of a reader is that more than one tags could be activated by the reader at the same time, so the performance of anti-collision is more important for the RFID system. In this paper, based on the analysis about the binary searching and traditional adaptive binary searching anti-collision algorithms widely used in UHF RFID system, an improved adaptive binary searching algorithm is designed concerning with system efficiency, consumer privacy, and system flexibleness. Simulation With C program and theoretical analysis show the improved adaptive binary searching algorithm is viable and has better system performance than the traditional algorithm.

In addition, based on the discussion about some questions of the RFID application in the digital campus, the writer designed a intelligent library system.

**Keywords:** Radio Frequency Identification; passive tag; antennas; anti-collision algorithm; adaptive binary searching

# 第一章 引言

## 1.1 射频识别技术简介

射频识别(Radio-frequency Identification, RFID), 又称为电子标签(E-Tag), 是面世于上世纪 60 年代末, 兴起于上世纪 90 年代的一项自动识别技术<sup>[1]</sup>。基本的 RFID 系统至少包含阅读器<sup>①</sup>(Reader) 和 RFID 标签<sup>②</sup>(Tag) <sup>[2-5]</sup>。RFID 标签由芯片与天线组成, 每个标签具有唯一的电子编码。标签附着在物体上以标识目标对象。RFID 阅读器的主要任务是控制射频模块向标签发射读取信号, 并接受标签的应答, 对标签的识别信息进行处理<sup>[2]</sup>。

在标签领域, 条码技术已非常成熟并得到广泛应用。由于受存储空间的限制, 条码通常只能识别产品的类型。RFID 标签较条码具有读取速度快、存储空间大、工作距离远、穿透性强、外形多样、工作环境适应性强和可重复使用等多种优势。虽然目前 RFID 标签较条码成本还较高, 但随着 RFID 技术在商业链中应用的推广, RFID 标签取代条码的趋势越发明显。

目前, RFID 已成为 IT 业界的热点。各大软硬件厂商, 包括 IBM、Motorola、Philips、TI、Oracle、Sun、BEA、SAP 等在内的各家企业都对 RFID 技术及其应用表现出浓厚的兴趣, 相继投入大量的研发经费, 推出各自的软件和硬件产品机系统应用解决方案。在应用领域, 以 Wal-mart、UPS、Gillette 等为代表的大批企业已经开始准备采用 RFID 技术对业务系统进行改造, 以提高企业的工作效率并为客户提供各种增值业务。

### 1.1.1 射频识别系统的分类

RFID 系统按照不同的原则有多种分类方法。依其采用的频率不同可分为低频系统、中频系统和高频系统三大类; 根据标签内是否装有电池为标签通信提供能量, 又可将其

---

<sup>①</sup> 此处的阅读器是指数据捕获装置, 与其完成只读还是读/写功能无关。

<sup>②</sup> RFID 标签, 亦称为标签。本文中 will 使用标签统一表示。

分为有源系统和无源系统两大类；从标签内保存的信息注入的方式可分为集成电路固化式、现场有线改写式和现场无线改写式三大类；根据读取电子标签数据的技术实现手段，可将其分为广播发射式、倍频式和反射调制式三大类。另外还可依据标签的材质、系统工作距离和阅读器的工作状态等方面对 RFID 系统进行分类<sup>[3]</sup>。以下是各主要分类方法的简单描述：

低频系统，一般是指工作频率在 100-500kHz 之间的系统。典型的工作频率有：125KHz、134.2KHz 和 225KHz 等。其基本特点是标签的成本较低、标签内保存的数据量较少、标签外形多样（卡状、环状、钮扣状、笔状）、阅读距离较短且速度较慢、阅读天线方向性不强等。其主要应用于门禁系统、家畜识别和资产管理等场合<sup>[3-5]</sup>。

中频系统，一般是指工作频率在 10-15MHz 之间的系统。典型的工作频段有：13.56MHz。中频系统的基本特点是标签及阅读器成本较高、标签内保存的数据量较大、阅读距离较远且具有中等阅读速度、外形一般为卡状、阅读天线方向性不强。其主要应用于门禁系统和智能卡的场合<sup>[3-5]</sup>。

高频系统，一般是指工作频率在 850-950MHz 和 2.4-5.8GHz 之间的系统。典型的工作频段有：915MHz、2.45Ghz 和 5.08GHz。高频系统的基本特点是标签内数据量大、阅读距离远且具有高速阅读速度、适应物体高速运性能好，但标签及阅读器成本较高且阅读器与标签工作时多为视距（line of sight）读取问题。另外，高频系统较中、低频系统仍没有较为统一的国际标准，因此在实施推广方面还有许多工作要做。高频系统大多为采用软衬底的标签形状，其主要应用在火车车皮监视和零售系统等场合<sup>[3-5]</sup>。

有源系统，一般指标签内装有电池的 RFID 系统。有源系统一般具有较远的阅读距离，不足之处是电池的寿命有限（3~10 年）。无源系统，一般是指标签中无内嵌电池的 RFID 系统。系统工作时，标签所需的能量由阅读器发射的电磁波转化而来。因此，无源系统一般可做到免维护，但在阅读距离及适应物体运速度方面无源系统较有源系统略有限制。

集成固化式标签，其内的信息一般在集成电路生产时即将信息以 ROM 工艺模式注入，其保存的信息是一成不变的；现场有线改写式一般将标签保存的信息写入其内部的 E<sup>2</sup> 存贮区中，信息需改写时要专用的编程器或写入器，且改写过程中必须为其供电；现场无线改写式一般适用于有源类标签，具有特定的改写指令，标签内保存的信息也位于

其中的  $E^2$  存贮区。一般情况下改写数据所需时间远大于读取数据所需时间。通常, 改写所需时间为秒级, 阅读时间为毫秒级<sup>[3,7]</sup>。

广播发射式系统, 实现起来最简单。标签必须采用有源方式工作, 并实时将其贮存的标识信息向外广播, 阅读器相当于一个只收不发的接收机。这种系统的缺点是电子标签因须不停地向外发射信息, 既费电, 又对环境造成电磁污染, 而且系统不具备安全保密性<sup>[3,6,7]</sup>。

倍频式系统, 实现起来有一定难度。一般情况下, 阅读器发出射频查询信号, 标签返回的信号载频为阅读器发出射频的倍频。这种工作模式对阅读器接收处理回波信号提供了便利, 但是对无源系统来说, 标签将接收的阅读器射频信号转换为倍频回波载频时, 其能量转换效率较低。而提高转换效率需要较高的微波技术, 这就意味着更高的电子标签成本, 同时这种系统工作须占用两个工作频点, 一般较难获得无线电频率管理委员会的产品应用许可<sup>[3,6,7]</sup>。

反射调制式系统, 实现起来要解决同频收发问题。系统工作时, 阅读器发出微波查询(能量)信号, 标签(无源)将部分接收到的微波查询能量信号整流为直流电供其内部的电路工作, 另一部分微波能量信号被标签内保存的数据信息调制(amplitude shift keying, ASK)后反射回阅读器。阅读器接收到反射回的幅度调制信号后, 从中解析出标识性数据信息。系统工作过程中, 阅读器发出微波信号与接收反射回的幅度调制信号是同时进行的。反射回的信号强度较发射信号要弱得多, 因此技术实现上的难点在于同频接收<sup>[3,6,7]</sup>。

### 1.1.2 射频识别技术的发展状况

#### 国际射频识别技术发展状况

射频识别技术在国外发展的很快, RFID 产品种类很多。如 TI、Motorola、Philips 等世界著名厂家都生产 RFID 产品, 并且它们的产品各有特点, 自成系列。同时, 射频识别技术已被广泛应用于众多领域: 汽车、火车等交通监控; 高速公路自动收费系统; 停车场管理系统; 物品管理; 流水线生产自动化; 安全出入检查; 仓储管理; 动物管理; 车辆防盗等等。RFID 的应用仍在层出不穷。如欧共体宣布 1997 年开始生产的新车型必须具有基于 RFID 技术的防盗系统; 瑞士国家铁路局在瑞士的全部旅客列车上安装 RFID



自动识别系统，调度员可以实时的掌握火车运行情况，不仅利于管理，还大大减小发生事故可能性；1996年1月韩国在汉城的600辆公共汽车上安装RFID系统用于电子月票；德国BMW公司将RFID系统应用在汽车生产流水线的生产过程控制中；Motorola公司在超净车间里利用RFID系统来控制流水线的零件流向等等<sup>[3,7-15]</sup>。

据有关权威数据显示，射频识别产品在全世界的销量、1993年为990万套，1994年就猛增到2030万套，1997年有关产品的销量将为9810万套，而在全世界范围内射频产品的销售额，1989年为0.81亿美元，1992年为1.41亿美元、1997年为4.33亿美元，1999年则为6.85亿美元，其中在1992-1999年间射频识别产品在全世界销售额的年平均增长率将达25.3%<sup>[2]</sup>。同时一项由MIT和IBM针对自动化识别系统（Auto-ID）与新型无线射频识别技术目前企业使用现状的调查报告显示：“自动化识别系统”将成为供应链管理的有力工具，有71%的企业将于2005年底前应用自动化识别系统；而有75%的制造业则会在2006年底前应用这种系统。

### 射频识别技术在我国发展状况

我国政府在1993年制定的金卡工程实施计划及全国范围的金融卡网络系统的10年规划，是一个旨在加速推动我国国民经济信息化进程的重大国家级工程。由此各种自动识别技术的发展及应用十分迅猛。现在，射频识别技术作为一种新兴的自动识别技术，也将在中国很快地普及，可以说、我国射频识别产品的市场是十分巨大的。国内已有几家公司在引进国外的先进技术，开发自己的RFID系统。目前，在我国射频识别技术主要应用于公共交通、地铁、校园、社会保障等方面。不久的将来，我国射频识别技术应用将在生产线自动化、仓储管理、电子物品监视系统、货运集装箱的识别以及畜牧管理等方面有所突破。

### 射频识别技术的发展新契机

MIT 1999年在RFID和Internet的基础上提出电子产品编码(Electronic Product Code, EPC)概念后，在世界多所著名研究性大学加入和100多家国际大公司的支持下于2003年9月15日MIT在芝加哥召开的电子产品编码(Electronic Product Code, EPC)研讨会上首次公开展示其研发了近5年的EPC网络——物联网。物联网是在计算机互联网的基础上，利用RFID、无线通信等技术，构造一个覆盖世界上万事万物的实物互联网“Internet of Things”，旨在提高现代物流、供应链管理水平和降低成本。2003年11月1日，国际

物品编码协会(EAN/UCC)成立了EPCglobal,正式接管了EPC在全球的推广应用工作。中国物品编码中心在取得了国际物品编码协会的唯一授权后,于2004年4月22日在北京成立了EPCglobal China。而作为物联网象征的RFID技术大有“得RFID者得天下”之势,因此在EPC系统的推动下RFID必将迎来各大的发展空间。

### 1.1.3 主要应用领域

射频识别技术被广泛应用于工业自动化、商业自动化、交通运输控制管理、防伪等众多领域,甚至军事用途,在伊拉克战争期间,美国军方大量使用了该项技术,用装入袖口中的RFID芯片跟踪受伤的士兵。射频识别技术主要应用领域有如下一些方面:

#### 在商业供应链的应用

全世界最大的零售商沃尔玛要求它前一百家大的供应商必需在2005年前为RFID技术的应用做好准备。目前这种电子标签的价格约为50美分,随着应用市场的进一步扩大,价格将逐步降为25美分甚至5美分<sup>[14]</sup>。专业人士预测,到2012年,RFID芯片的价格将降到比一粒米还便宜,还可以印在产品的包装盒上,也能印在价格标签上。依靠RFID系统跟踪商店的库存和收支情况,一清二楚。另外,微软公司决定加入发展射频识别技术的阵营,为催生这种货物流向追踪技术助一臂之力。IBM正在帮助麦德龙集团未来商店建立零售业科技新标准。

#### 安全、防伪方面的应用

伪造问题在世界各地都是令人头疼的问题,现在应用的防伪技术如全息防伪等技术同样也被不法分子伪造。将射频识别技术应用在防伪的领域有它自身的技术优势,它具有成本低但却很难伪造的优点。利用这种技术不用改变现行的数据管理体制,唯一的产品标识号完全可以做到与已用数据库体系兼容。欧洲中央银行准备在欧元中嵌入极小的射频识别电子标签。其主要目的是识别钞票真伪,防止伪造钞票。同时,射频识别标签还能够记录钞票交割的细节,可以跟踪非法交易,防止洗钱行为。

#### 物流管理系统

##### 1、铁路调度系统

火车按既定路线运行,阅读器安在铁路沿线,就可得到火车的实时信息及车厢内装

的物品信息。通过读到的数据，能够得到火车的身份、监控火车的完整性，以防止遗漏在铁轨上的车厢发生撞车事故，同时在车站能将车厢重新编组。

## 2、集装箱识别系统

将记录有集装箱位置、物品类别、数量等数据的标签安装在集装箱上，借助射频识别技术，就可以确定集装箱在货场内确切位置，在移动时可以将更新的数据写入射频卡（电子标签）。系统还可以识别未被允许的集装箱移动，有利于管理和安全。

## 3、邮件、邮包的自动分拣系统

射频识别技术已经被成功应用到邮政领域的邮包的自动分拣系统中，它具有非接触、非视线数据传输的特点，所以包裹传送中可以不考虑包裹的方向性问题。另外，当多个目标同时进入识别区域时，可以同时识别，大大提高货物分拣能力和处理速度。另外，由于电子标签可以记录包裹的所有特征数据，更有利于提高邮包分拣的准确性。

4、还可用于重要物资的防盗与管理；军事物资运输的全程监控等。

## 高速公路自动收费及电子车票

高速公路自动收费系统是 RFID 技术最成功的应用之一。1996 年、佛山市政府安装了 RFID 系统用于自动收取路桥费，明显地提高车辆通过率，缓解公路瓶颈。车辆可以在 250 公里的时速下用少于 0.5 毫秒的时间被识别，并且正确率达 99.95%。上海也安装了基于 RFID 技术的自动收缴养路费系统。广州也尝试在开放的高速公路上用 RFID 系统对高速行驶的车辆进行自动收费。

RFID 系统，特别是非接触 IC 卡应用潜力最大的领域之一就是公共交通领域。使用非接触式 IC 卡作为电子车票，具有使用方便、可以缩短交易时间，降低运营成本等优势。韩国汉城在 1996 年就采用了这一系统。目前，我国的大中型城市的公交车也都加装了电子车票收费系统。

## 人员身份自动识别、门禁管理系统

将来的门禁保安系统均可应用射频卡，一卡可以多用，比如作工作证、出入证、停车卡、饭店住宿卡甚至旅游护照等等，人员出入时自动识别身份，非法闯入会有报警。安全级别要求高的地方、还可以结合其它的识别方式，将指纹、掌纹或颜面特征存入射

频卡。

### 1.1.4 RFID 技术研究

当前, RFID 技术在各项应用中的研究主要集中在工作频率选择、天线设计、防冲突技术和安全与隐私保护等方面。

#### 工作频率的选择

工作频率的选择既要适应各种不同应用的需求, 还需要考虑各国对无线电频段使用和发射功率的规定。当前 RFID 工作频率跨越多个频段, 不同频段具有各自优缺点, 它既影响标签的性能和尺寸, 还影响标签与阅读器的价格。而无线电发射功率则影响阅读器的工作距离。

低频频段能量相对较低, 数据传输率较小, 无线覆盖范围受限。为扩大无线覆盖范围, 必须扩大标签天线尺寸。尽管低频无线覆盖范围较高频无线覆盖范围小, 但天线的方向性不强, 具有相对较强的绕开障碍物的能力。因此, 低频段一般采用 1 到 2 个天线便可实现无线作用范围的全区覆盖。此外, 低频段标签的成本相对较低。

高频频段能量相对较高, 适于长距离应用。由于高频以波束的方式传播, 故可用智能标签的定位。其缺点是容易被障碍物阻挡, 易受反射和人体扰动等因素影响, 不易实现无线作用范围的全区覆盖。高频频段数据传输率相对较高, 且通讯质量较好。

#### RFID 天线研究

受应用场合的限制, RFID 标签通常需要贴于不同类型、形状的物体表面, 甚至需要嵌入到物体内部。RFID 标签在要求低成本的同时, 还要求有高的可靠性。此外, 标签天线和阅读器天线还分别承担接受能量和发射能量的作用, 这些因素对天线的设计提出严格的要求。目前, 有关 RFID 天线的研究主要集中在研究天线结构和环境因素对天线性能的影响上。

天线结构决定天线的方向图、极化方向、阻抗特性、驻波比、天线增益和工作频段等特性。而天线的特性既受所标识物体的形状及物理特性影响, 还受天线周围物体和环境的影响。如金属物体对电磁信号有衰减作用, 金属表面对信号有反射作用, 以及金属和宽频信号源产生的电磁屏蔽和电磁干扰等影响。

## 防冲突技术研究<sup>[12-13]</sup>

鉴于多个 RFID 标签工作在同一频率，当它们处于同一个阅读器的作用范围内时，在没有采取多址访问控制机制的情况下，信息传输过程将产生冲突，导致信息读取失败。同时多个阅读器之间工作范围重叠也将造成冲突。文献[16]提出了 Colorwave 算法以解决阅读器冲突问题。根据系统的工作频段不同，避免标签间冲突的防冲突算法有所不同。

对于标签冲突，在 13.553~13.567MHz 频段，标签的防冲突算法一般采用 ALOHA 协议。使用 ALOHA 协议的标签，通过选择一个随机的时刻向阅读器传送信息大方法来避免冲突。而在 400~1000MHz 的超高频（UHF）频段，主要采用二进制搜索算法避免冲突。同 ALOHA 协议相比，二进制搜索算法泄漏的信息较多，安全性较差。除同属时分多址（Time Division Multiple Access, TDMA）访问方式的这两方法外，目前还有人提出频分多址（Frequency Division Multiple Access, FDMA）和码分多址（Code Division Multiple Access, CDMA）访问方式的防冲突算法，主要应用于 UHF 频段和 2.45GHz 的微波频段等宽带场合中。

### 安全与隐私问题

RFID 安全问题集中在对个人用户的隐私保护、对企业用户的商业秘密保护、防范对 RFID 系统的攻击以及利用 RFID 技术进行安全防范等多个方面。其主要面临的挑战是

- 保证用户对标签的拥有信息不被未经授权访问，以保护用户在消费习惯、个人行踪等方面的隐私；
- 避免由于 RFID 系统读取速度快，可以迅速对超市中所有商品进行扫描并跟踪变化，而被利用来窃取用户商业机密；
- 防护对 RFID 系统的各类攻击，如：重写标签以篡改物品信息；使用特别设备伪造标签应答欺骗阅读器以制造物品存在的假象；根据 RFID 上下行信道的不对称行远距离窃听标签信息；通过干扰 RFID 工作频率实施拒绝服务攻击；通过发射特定电磁波破坏标签等。

为解决上述安全与隐私问题，目前主要有如下表所示的 6 种技术方案。

表 1 RFID 标签安全与隐私保护方法

方法名称	描述	优缺点
Kill 标签	商品交付给最终用户时, 通过 Kill 指令系统杀死标签, 标签无法再次被激活。	虽彻底防址用户隐私被跟踪; 但限制了标签的进一步利用。
法拉第网罩	将贴有 RFID 标签的商品放入金属网罩或金属箔片组成的容器中, 从而阻止标签和阅读器的通信。	为避免信息泄漏, 每件商品都得罩上一个网罩, 难以大规模实施。
主动干扰	用户使用能够主动广播干扰信号的设备, 干扰对受保护标签的读取。	干扰周围的合法 RFID 系统。
智能标签	增加标签的处理能力, 利用加密技术进行访问控制, 保护用户隐私。	受到成本的限制, 难以采用复杂的加密技术。
阻止标签	使用一个特殊的标签 (阻止标签) 对阅读器的读取命令总应答相同的数据, 从而保护用户隐私。	阻止标签带来成本的增加。
Hash 锁	通过简单的 hash 函数, 增加闭锁和开锁状态, 对标签与阅读器之间的通信进行访问控制。	无法解决位置隐私和中间人攻击问题。

## 1.2 论文主要内容

本文首先对 RFID 系统的系统组成和工作原理进行了描述, 然后分别对 RFID 研究中的标签天线设计和多标签识别的防冲突两个关键技术进行了探讨, 最后展望了 RFID 技术在数字化校园中应用的前景和需考虑的问题。

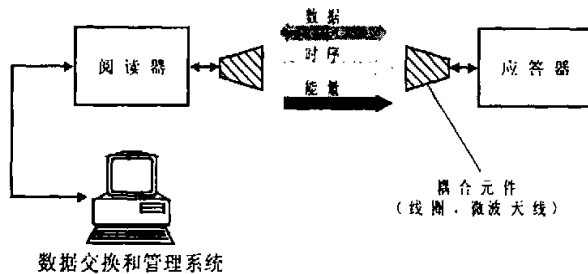
标签天线设计方面, 我们主要研究了在未来零售业中大规模应用的高频段无源软衬底标签可能发生的形变对系统性能影响的问题。我们在理论分析的基础上, 通过线天线分析软件 NEC (Numerical Electromagnetics Code) 仿真计算了微波频段 (2.45GHz) 应用中的典型线型标签天线弯曲后的性能参数, 定量研究了标签天线弯曲形变对系统工作距离的影响。

随着 RFID 系统工作距离的增大, 以及其物品级识别的日益推广, 不仅同时进入阅读器工作范围内的标签数增加, 而且单个标签的识别信息量也在大大增加。因此, 我们针对 UHF 频段中广泛使用的二进制搜索算法进行了探讨。在分析现有防冲突算法的基础上, 就提高算法的执行效率和避免 RFID 上下行信道的不对称性远距离窃听标签信息的安全问题, 我们提出并设计了一种改良型的动态二进制搜索算法。

## 第二章 射频识别系统组成与工作原理

### 2.1 射频识别系统组成

如图 2-1 所示,典型的 RFID 系统由标签、阅读器以及数据交换和管理系统组成。对于无源系统,阅读器通过耦合元件发送出一定频率的射频信号,当标签进入该区域时通过耦合元件从中获得能量以驱动后级芯片与阅读器进行通信。阅读器读取标签的自身编码等信息并解码后送至数据交换、管理系统处理。而对于有源系统,标签进入阅读器工作区域后,由自身内嵌的电池为后级芯片供电以完成与阅读器间的相应通信过程。



#### 2.1.1 标签的组成

作为 RFID 系统中真正的数据载体,由耦合元件和后级芯片构成的标签又可以分为具有简单存储功能的数据载体和可编程微处理器的数据载体。前者是用状态机在芯片上实现寻址和安全逻辑,而后者则是用微处理器代替了标签中不够灵活的状态机<sup>[3]</sup>。因此在功能模块划分的意义上二者是相同的。即,电子数据载体的标签主要由存放信息的存储器、用于能量供应及与阅读器通信的高频接口、实现寻址和安全逻辑的状态机或是微处理器。电子数据载体标签结构如图 2-2 所示。

##### 高频界面

高频界面在从阅读器到标签的模拟传输通路与标签的数字电路间形成了模数转换接口。从这个意义上来说,高频界面就如同数字终端与模拟通信链路间的 Modem 一样,如图 2-3 所示。

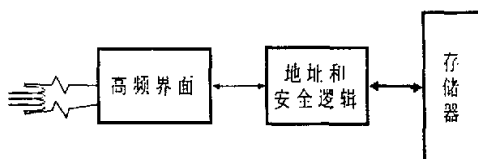


图 2-2 电子数据载体标签结构框图

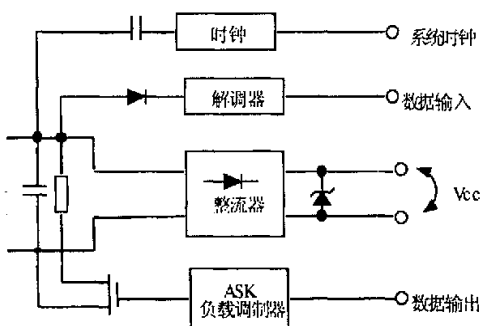


图 2-3 负载调制的电感耦合标签高频界面框图

从阅读器发出的调制高频信号，经解调器解调后输出串行数据流以供地址和安全逻辑电路进一步加工。另外，时钟脉冲电路从高频场的载波频率中产生用于后级电路工作的系统时钟。

为了将数据载体的信息返回到阅读器，高频界面需包含有由传送的数字信息控制的后向散射调制器或是倍频器等调制模块。

对于无源系统来说，标签在与阅读器通信过程中，是由阅读器的高频场为其提供所需的能量。为此，高频界面从前端耦合元件获取电流，经整流稳压后作为电源供应芯片工作。

### 地址和安全逻辑

地址和安全逻辑是数据载体的心脏，控制着芯片上的所有过程。

图 2-4 是地址和安全逻辑电路的基本功能模块划分图。在标签进入阅读器高频场并获得足够的工作能量时，通过上电初始化逻辑电路使得数据载体处于规定的状态。通过 I/O 寄存器标签与阅读器进行数据交换。加密模块是可选的，其主要完成鉴别、数据加密和密钥管理的功能。数据存储单元则经过芯片内部总线与地址和安全逻辑电路相连。



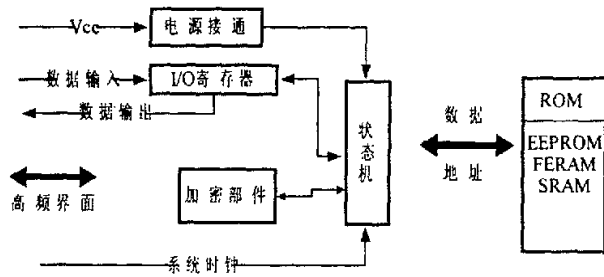


图 2-4 地址和安全逻辑电路框图

标签通过状态机对所有的通信过程进行控制。状态机是一种具有存储变量状态能力、执行逻辑操作的自动装置，其“程序化的过程”是通过芯片设计实现的。但芯片一旦制作成型，状态机的执行过程便随之确定。因此，此种地址和安全逻辑设计多用在大量且固定应用场合。

### 存储器结构

对于电子数据载体而言，存储器是存放标识信息的媒质。由于射频识别技术的不断进步和应用范围的不断增加，出于不同的应用需求存储器的结构也是品目众多。以下是几类在 RFID 系统中应用较为典型的存储器结构的简单介绍。

#### 只读标签

只读标签构成 RFID 系统数据载体的低档和低成本部分。当只读标签进入阅读器的工作范围，标签就输出其自身的标识信息。一般来说，这个标识信息就是个简单的序列号。该序列号在芯片生产过程中已由厂家唯一置入。用户既不能改变其序列号，也不能对芯片再写入任何数据。

从通信过程来看，只读标签与阅读器的通信是单方向的。标签不断地向阅读器发送其标识信息，而阅读器到标签的数据传送是不可能的。正是由于只读标签的结构简单，其成本也就较低。因此，只读标签多用于无需存储数据且价格敏感的应用中。

#### 可写入的标签

可写入标签的存储量从 1 个字节到数千字节不等。但阅读器对标签的写入和读出操作大多是按组进行的。一般，字组是事先规定好数目的字节组成。自组结构使得阅读器对芯片中存储器的寻址更加简单。为了修改一个单独的字节的数据，必须首先从标签中读出整个字组，然后将包含修改字节的同一字组重新写回标签<sup>[3]</sup>。

## 具有密码功能的标签

如果可写入的标签没有保护措施,则属于同一 RFID 系统的任何阅读器都可以对其进行读出或写入。对于许多敏感应用来说,这是不符合需要的。如公交系统中的非接触 IC 卡和汽车防盗系统中的车钥匙标签就是两个例子。

为了防止对标签的未经许可的访问,可采用多种方法。检查口令的写入和读出保护是最简单的机制;如果需要相互认证使用资格,或者必须检查两个部件是否都属于同一应用系统,那么应当用鉴别的方法<sup>[3]</sup>。对于此类具有密码功能的标签而言,芯片上除了应用数据存储区外还包含有用于存储密钥的附加存储区和一个配置寄存器,以便有选择地保护选择地址区的访问。

### 分段存储器

如前所述,用认证的方法标签可以预防其他应用中的阅读器的访问。作为一个独立的分支,对于具有较大存储量的标签,可将整个存储器分成较小的单元——段。对于各个段用单独的密钥进行访问保护。这样的分段标签可以把不同应用的数据完全独立地存储。

Philips 公司开发的 MIFARE(智能卡的应用目录)标签的存储器被分为 16 个独立段,称之为段区。每个区段用两个不同的密钥防止非认可的访问。在各自的访问寄存器中可对两个密钥授予分级的访问权限。这样 16 种彼此独立的应用可由装入标签的密钥分别予以保护<sup>[3]</sup>。

### 双端口 E<sup>2</sup>PROM

如果说,分段存储器在标签中的应用更大程度地促进了 RFID 系统在生产、生活的各个领域的推广和普及。那么双端口 E<sup>2</sup>PROM 的引入则不仅在一卡多用和安全方面加以提高,还兼顾了非接触和接触识别系统的兼容。下图为双端口 E<sup>2</sup>PROM 的结构框图。

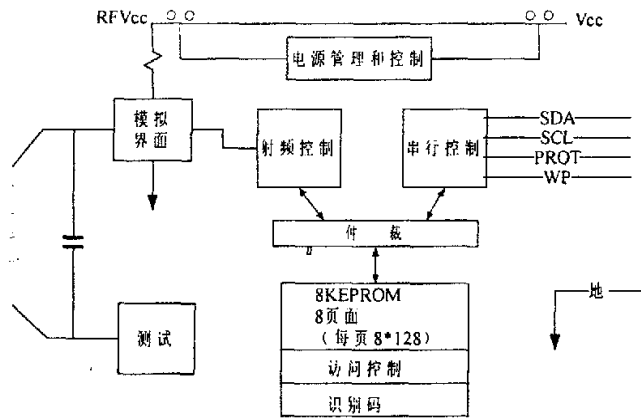


图 2-5 双端口 E<sup>2</sup>PROM 的结构框图

### 微处理器 — 复合卡

微处理器代替状态机便形成了微处理器的标签。而将非接触和接触两种界面加以合并则产生了双界面卡或复合卡。有关这两方面的内容请参考文献[3]，此处不再赘述。

## 2.1.2 阅读器的组成

虽然所有 RFID 系统的阅读器均可以简化为两个基本的功能块：控制系统和由发送器及接收器组成的高频接口（如图 2-6），但由于众多的非接触传输方法的存在使得阅读器内部的结构存在较大区别<sup>[3]</sup>。因此本文仅就阅读器中的两个基本模块的功能实现方面对阅读器的组成进行简单的介绍。

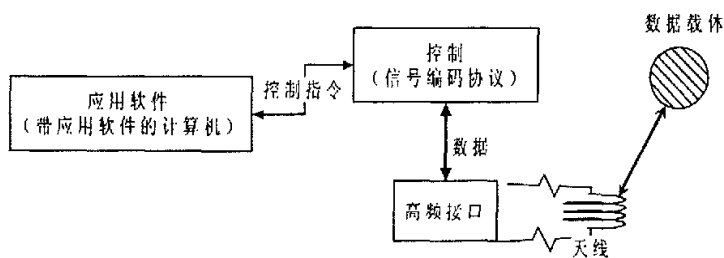


图 2-6 阅读器功能模块框图

### 高频接口

阅读器的高频接口主要完成如下任务：

产生高频的发射功率，以启动标签并为其提供能量；

对发射信号进行调制，用于将数据传送给标签；

接收并调制来自标签的高频信号。

在高频接口中有两个分隔开的信号通道，分别用于标签两个方向上的数据流。传送到标签去的数据流通过发送器分支，而来自标签的数据通过接收器分支。不同的非接触传输方法，这两个信号通道的具体实现有所不同<sup>[3]</sup>。

控制单元

阅读器的控制单元担负如下任务：

与应用系统软件进行通信，并执行应用系统软件发来的命令；

控制与标签的通信过程；

信号的编码与解码；

对于复杂系统，控制单元还可能具有以下功能：

执行防冲突算法；

对标签与阅读器之间要传送的数据进行加密和解密；

进行标签与阅读器之间的身份验证等。

应用系统软件与阅读器间的数据交换是通过 RS232 或 RS485 串口进行的，而阅读器中的高频接口与控制单元间的接口将高频借口的状态以二进制的形式表示出来<sup>[3]</sup>。

## 2.2 射频识别系统工作原理

作为无线自动识别技术，RFID 技术有许多非接触的信息传输方法。因此，为了较为清晰地描述射频识别系统的工作原理，本文将从耦合方式（能量或信号的传输方式）、标签到阅读器的数据传输方法和通信流程进行分析比较。其中主要讲述 RFID 系统阅读器与标签间耦合方式的工作原理。

### 2.2.1 耦合方式

电容耦合

顾名思义，阅读器与标签间互相绝缘的耦合元件工作时构成一组平板电容。当标签插入时，标签的耦合平面同阅读器的耦合平面间相互平行（如下图所示）。

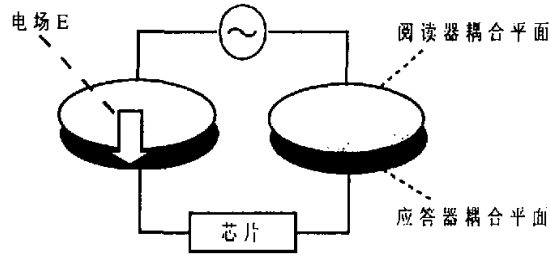


图 2-7 电容耦合示意图

电容耦合只用于密耦合（工作距离小于 1cm）的 RFID 系统中。ISO 10536 中就规定了使用该耦合方法的密耦合 IC 卡的机械性能和电气性能。

### 磁耦合

磁耦合是现在使用的中、低频 RFID 系统中最为广泛的耦合方法，其中以 13.56MHz 无源系统最为典型。阅读器的线圈生成一个磁场，该磁场在标签的线圈内感应出电压从而为标签提供能量（如图 2-8 所示）。这与变压器的工作原理正好完全一样，因此磁耦合也称作电感耦合。

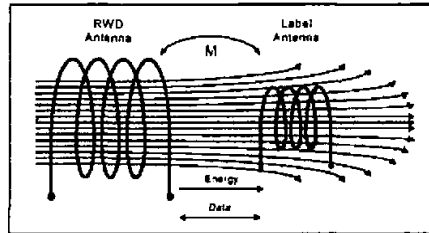


图 2-8 磁耦合无源 RFID 系统基本工作原理图<sup>[5]</sup>

与高频 RFID 系统不同的是，磁耦合 RFID 系统的工作区域是阅读器传输天线的“近场区”。一般说来，在单天线 RFID 系统中，系统的操作距离近似为传输天线的直径。对于距离大于天线直径的点，其场强将以距离的 3 次方衰减。那就意味着如改点仍保持原有场强的话，发射功率就需以 6 次方的速率增加。因此，此耦合主要用于密耦合或是遥耦合（操作距离小于 1m）的 RFID 系统中<sup>[3]</sup>。

电磁耦合<sup>[6]</sup>

电磁辐射是作用距离在 1m 以上的远距离 RFID 系统的耦合方法。在电磁辐射场中，阅读器天线向空中发射电磁波，其时电磁波以球面波的形式向外传播。置于工作区中的标签处于阅读器发射出的电磁波之中并在电磁波通过时收集其中的部分能量。场中某点的可获得能量的大小取决于该点与发射天线之间的距离，同时能量的大小与该距离的平方成反比。

对于远距离系统而言，其工作频率主要在 UHF 频段甚至更高。从而阅读器与标签之间的耦合元件也就从较为庞大且复杂的金属平板或是线圈变成了一些简单形式的天线，如半波振子天线。这样一来，远距离 RFID 系统体积更小，结构更简单。

2.2.2 通信流程

在电子数据载体上，存储的数据量可达到数千字节。为了读出或写入数据，必须在标签和阅读器间进行通信。这里主要有三种通信流程系统：半双工系统、全双工系统和时序系统<sup>[3]</sup>。下图为三种系统的工作原理比较图。

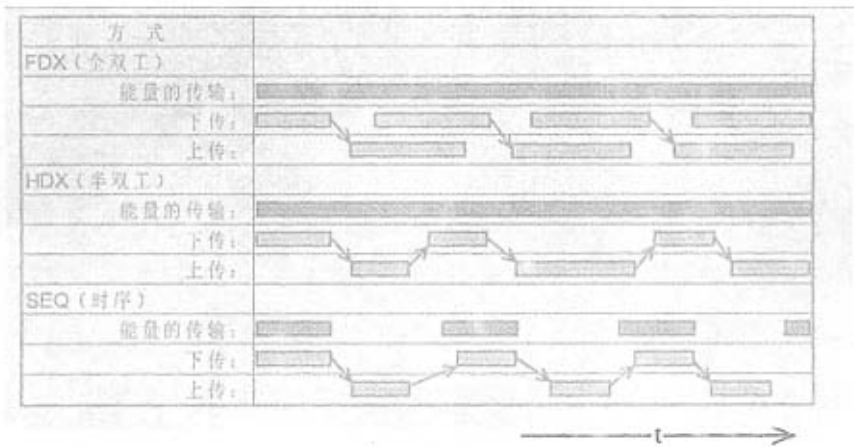


图 2-9 全双工系统、半双工系统和时序系统的时间工程说明图

在半双工法（HDX）中，从标签到阅读器的数据传输与从阅读器到标签的数据传输交替进行。当频率在 30MHz 以下时常常使用负载调制的半双工法。

在全双工法（HDX）中，数据在标签和阅读器间的双向传输是同时进行的。其中，

标签发送数据所用的频率为阅读器发送频率的几分之一，即采用“分谐波”，或是用一个完全独立的“非谐波”频率。

以上两种方法的共同特点是：从阅读器到标签的能量传输是连续的，与数据传输的方向无关。与此相反，在使用时序系统（SEQ）的情况下，从阅读器到标签的能量传输总是在限定的时间间隔内进行的（脉冲操作，脉冲系统）。从标签到阅读器的数据传输是在标签的能量供应间隙是进行的。

### 2.2.3 标签到阅读器的数据传输方法

无论是只读系统还是可读写系统，作为关键技术之一的标签到阅读器的数据传输在不同的非接触传输实现方案的系统中有所区别。作为 RFID 系统的两大主要耦合方式，磁耦合和电磁耦合分别采用负载调制和后向散射调制。

所谓负载调制是用某些差异所进行的用于从标签到阅读器的数据传输方法。在磁耦合系统中，通过标签振荡回路的电路参数在数据流的节拍中的变化，从而实现调制功能。在标签的振荡回路的所有可能的电路参数中，只有负载电阻和并联电容两个参数被数据载体改变。因此，相应的负载调制被称作电阻（或有效的）负载调制和电容负载调制<sup>[3]</sup>。

对于高频系统而言，随着频率的上升其穿透性越来越差，而其反射性却越发明显。在高频电磁耦合的 RFID 系统中，类似于雷达工作原理用电磁波反射进行从标签到阅读器的数据传输。雷达散射截面是目标反射电磁波能力的测度，而 RFID 系统中散射截面的变化与负载电阻值有关。当阅读器发射的载频信号辐射到标签时，标签中的调制电路通过待传输的信号控制馈接电路是否与天线匹配实现信号的幅度调制。当天线与馈接电路匹配时，阅读器发射的载频信号被吸收；反之，信号被反射。

## 2.3 本章小结

本章介绍了 RFID 系统的组成和基本工作原理。对于高频频段的系统而言，天线作为系统的耦合元件，由于其性能直接影响系统能量耦合性能，而天线的形变将直接导致其性能的改变。另外，高频频段的 RFID 系统的推广，必然是对原有防冲突系统的挑战。

下文将着重就线型标签天线的弯曲对系统性能的影响和二进制搜索算法的优化设计问题进行探讨。

## 第三章 射频识别系统中的天线问题

对于 UHF 以上频段的 RFID 系统而言, 阅读器和标签工作时就相当于一组无线电发射机和接收机。无线电发射机输出的射频信号功率, 通过馈线输送到天线, 由天线以电磁波的形式辐射出去。电磁波到达接收点后, 由无线电接收机的接收天线接收下来 (仅是发射功率中很小的一部分), 并通过馈线送到接收机。可见, 天线是需要发射和接收电磁波的无线电设备中不可缺少的重要组成部分<sup>[17-19]</sup>。

从功能上来说, 天线是一种将线路上流过的高频电流高效率地转换成电磁波辐射到空中去的装置, 或者是将空中的电磁波高效率转换成高频电流的装置。按方向性分有: 全向天线、定向天线等; 而按外形, 天线可分为线状天线、面状天线和板状天线等。

为了研究 RFID 系统中的天线问题, 我们首先简单介绍天线的基本特性参数。

### 3.1 天线的特性参数

#### 3.1.1 发射天线的特性参数

##### 方向图

天线方向图是天线在空间各方向上辐射特性的图解表示。画图时取最大辐射方向上方向函数的值为 1, 即用归一化的方向函数。因为天线的辐射作用于整个空间, 所以天线的方向图是一个三维空间的立体图形 (如图 3-1(a)所示)。为了表征的方便, 通常只画两相垂直的主平面方向图 (如图 3-1(b)、(c)所示)。



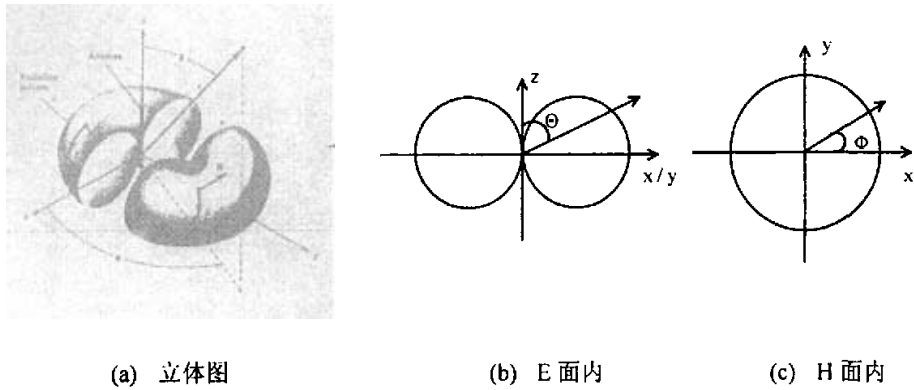


图 3-1 基本振子的方向图

对于一般的天线而言，其方向图如下图所示，故又可称作波瓣图。其中包含最大辐射方向所在的瓣称为主瓣。其余的瓣称作副瓣或旁瓣，而位于主瓣正后方的副瓣又称为后瓣。副瓣代表了天线在不需要方向的辐射或接收，所以希望其越小越好。

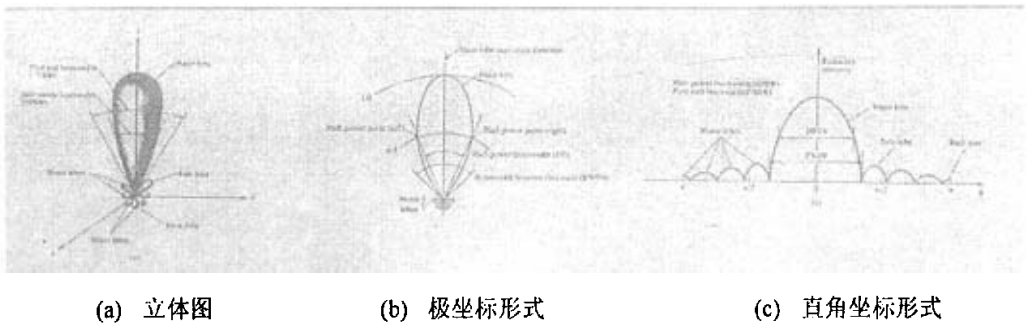


图 3-2 天线方向图

### 方向系数

天线的辐射方向特性是天线的重要特性。为了比较不同天线把辐射能量集中于一定方向的能力，即为了定量地比较不同天线的方向性，引入方向系数（又称作方向性增益），用字母  $D$  表示。

通常采用方向系数取 1 的理想点源天线作为表较的标准。如果设某天线与理想点源天线的辐射功率分别为  $P_{\Sigma}$  和  $P_{\Sigma 0}$ ，此天线的最大辐射方向的功率通量密度和场强分

别为  $S_m$  与  $E_m$ ，理想点源天线的功率通量密度与场强分别为  $S_0$  与  $E_0$ ，则天线的方向系数  $D$  为

$$D = \frac{S_m}{S_0} = \frac{E_m^2}{E_0^2}, \quad P_{\Sigma} = P_{\Sigma_0} \quad (3.1.1)$$

或者，

$$D = \frac{P_{\Sigma_0}}{P_{\Sigma}}, \quad E_m = E_0 \quad (3.1.2)$$

在没有特别指明哪个方向的时候，某天线的方向系数是指最大辐射方向的方向系数。

对于高频频段的应用而言，阅读器天线方向性的选择一般与配置方案有关。如对于一个定位系统而言，阅读器则应选择方向性很好的天线以保证定位的精度；而对于大覆盖范围的应用，阅读器则应选择弱方向性的天线以减少配置天线的数目。而标签天线则大多选用方向性较差的天线以防出现漏读。

### 天线的效率

发射天线的效率是用来衡量天线将高频电流或导波能量转换为电磁波能量的有效程度。天线的效率就是天线的辐射功率与输入功率之比，即

$$\eta_A = \frac{P_{\Sigma}}{P_A} = \frac{R_{\Sigma}}{R_{\Sigma} + R_l} \quad (3.1.3)$$

式中， $R_{\Sigma}$  是辐射电阻， $R_l$  是损耗电阻。

天线的总效率  $e_t$  是用来衡量天线的输入端和天线结构内所有能量损耗的程度。天线的损耗包括系统的热损耗、介质损耗和所有的失配损耗。IEEE 标准将其中的热损耗和介质损耗统称为发射效率  $e$ ，即上面提到的天线的效率  $\eta_A$ <sup>①</sup>。因此，天线的总效率  $e_t$  可表示为

<sup>①</sup> 在下面的内容中天线的效率都采用 IEEE 定义中使用的  $e$  作为其指定符号。

$$e_r = e_p e_r \underbrace{e_c e_d}_e = e_p e_r e \quad (3.1.4)$$

式中,  $e_r$  是反射效率 (由阻抗失配引起的),  $e_p$  是极化失配效率,  $e_c$  和  $e_d$  而分别是传导率和介质损耗率。有关极化失配的效率  $e_p$  将在天线的极化特性中介绍, 现在来看一下反射效率  $e_r$ 。

$$e_r = 1 - |\Gamma|^2 \quad (3.1.5)$$

式中  $\Gamma$  是反射系数。其表达式为

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_c}{Z_{in} + Z_c} \quad (3.1.6)$$

$Z_{in}$  是天线的输入阻抗,  $Z_c$  是馈线的特征阻抗。

对于高频频段的 RFID 天线而言, 由天线与后级电路的阻抗失配所对应的反射效率将是影响 RFID 能量传输的主要天线效率因子。

### 天线的增益系数

方向系数  $D$  表征天线辐射电磁能量的集中程度, 效率  $e$  表征天线能量转换的程度。将二者结合就是天线的增益系数, 简称增益, 用字母  $G$  表示。因此, 增益  $G$  表征天线天线辐射能量集中程度和能量转换效能的总效益, 即

$$G = e \times D \quad (3.1.7)$$

### 天线的有效长度

天线的有效长度  $h_e$ , 是把天线在最大辐射方向的电场强度和天线馈点电流联系起来的一个参量。它的意义是, 在保持此天线的最大辐射方向的电场强度不变的前提下, 假设天线上的电流为均匀分布时的天线长度。有关有效长度的具体描述可参考文献[17,18]。

### 天线的带宽

天线所有的电参数都是频率的函数。频率变化, 电参数的值也随之变化, 这就是天线的频率特性。天线的带宽就是表征天线频率特性的参数。天线的带宽是天线的某个或

某些特性参数符合要求的工作频率范围。在带宽外工作的天线，其某个或某些特性参数可能达不到使用要求。因为天线的带宽是对某个或某些参数来说的，所以一般使用中的天线带宽有：方向图带宽、方向系数带宽、输入阻抗带宽和馈线行波带宽等。

目前全球有两大 RFID 标准阵营：欧美的 Auto-ID Center 与日本的 Ubiquitous ID Center (UID)。欧美的 EPC 标准采用 UHF 频段 (860MHz~930MHz)，日本的 UID 体系采用 2.45GHz 和 13.56MHz。其中，860MHz~930MHz 频段的应用也较复杂。美国为 915MHz，欧洲为 869MHz，而我国此频段已被 GSM、CDMA 等占用<sup>[5,6]</sup>。

### 极化

波的极化是指电场强度的大小及取向随时间变化的方式。分为线极化、圆极化和椭圆极化。接收天线与发射天线的极化必须相适应，达到“极化匹配”，否则就有“极化损耗”。即，天线效率中提到的极化失配效率  $e_p$ 。极化损耗的大小用极化损耗因子  $PLF$  来表示，其表达式为

$$PLF = \left| \vec{\rho}_i \cdot \vec{\rho}_r \right|^2 = \cos^2 \varphi_p \quad (3.1.8)$$

式中  $\vec{\rho}_i$ 、 $\vec{\rho}_r$  分别表示波电场和接收电场所在方向的单位矢量。即，极化向量。 $\varphi_p$  是两极化向量间的夹角。因此，极化损耗因子  $p$  取决于发射天线和接收天线的相对极化方向。

由于实际的应用中，一般 RFID 标签的放置方向是不可控的，所以阅读器的多采用圆极化天线。

### 3.1.2 接收天线的特性参数

根据互易原理可以证明，同一天线用作发射天线和接收天线是的电性能是相同的。因此除上述天线的参数外，本文将直接给出接收天线有效接收面积的表达式。有关接收天线的相关内容可参考文献[17,18]。

有效接收面积的表达式为

$$A_r = \frac{G\lambda^2}{4\pi} = \frac{eD\lambda^2}{4\pi} \quad (3.1.9)$$

## 3.2 射频识别系统中的天线问题

在射频装置中，工作频率增加到微波段的时候，天线与芯片之间的匹配问题就变得更加严峻<sup>[17]</sup>。一般来说，由于阅读器都是有源设备且结构可以较为复杂，所以其天线问题不是特别突出。因此，在实际应用中射频识别系统中的天线问题主要集中在标签方。尤其是在零售业的应用中，标签的天线必须满足如下要求：

- 足够的小，以使其容易地粘贴到需识别的物品上；
- 有全向或是半球覆盖的方向性；
- 提供最大可能的信号给标签的芯片；
- 无论物品什么方向，标签天线的极化方向都能与阅读器的查询信号相匹配；
- 具有鲁棒性；
- 价格低廉。

在选择天线的时候的主要考虑是：

- 天线的类型；
- 天线的阻抗；
- 在应用到物品上的 RF 的性能；
- 在有其他的物品围绕贴标签物品时的 RF 性能。

当然以上的问题，也是 RFID 技术中有关天线方面的主要研究问题<sup>[21-25]</sup>。

对于高频段的 RFID 系统，在重点考虑天线的尺寸的前提下，可选的天线主要有对数螺旋天线、微带面天线和半波振子天线及其变形<sup>[18]</sup>。

## 3.3 标签天线的弧形弯曲问题

### 3.3.1 问题的引出

零售业现在使用的自动识别技术仍然以条形码技术居多。然而，射频识别较条形码更是有着不可取代的优势：①射频识别可以识别单个的非常具体的物体，而不是象条形

码那样只能识别一类物体；②射频识别采用无线电射频，可以透过外部材料读取数据，而条形码必须靠激光读取信息；③射频识别可以同时多个物体进行识读，而条形码只能一个一个地读。此外，射频识别标签存储的信息量较条形码大得多。虽然现在射频识别标签的价格及相关技术标准的统一方面较条形码还成弱势，但是随着射频识别标签生产技术的进步，标签价格的不断降低以及射频识别中电子产品识别码（EPC）标准的完善，射频识别技术可望完全取代条形码，成为条形码的无线版本。

在诸如零售业等类似的应用中，存在以射频识别标签代替条形码时需贴于识别物体弯曲表面上的情况。工作在 UHF 频段的射频识别标签大多采用对称振子线天线且一般附于软衬底上。一旦软衬底射频识别标签贴各类商品上，标签天线难免会发生诸如折叠、弯曲等随形而变的现象（如，标签贴与商品的软包装上）。再如，在另一些应用中则需要将标签贴在曲面上（如，柱面、球面或棱柱）。结构的扭曲变形在某种程度上往往改变标签天线的性能，包括天线的方向图及输入阻抗等。因此，下面利用线天线通用分析软件 NEC (Numerical Electromagnetics Code) 分析几种典型的对称振子线天线贴于弯曲表面后的性能变化，来研究射频识别标签天线做弧形弯曲对 RFID 系统性能的影响。

### 3.3.2 射频识别系统性能分析

无论是无源还是有源的 RFID 系统，标签都是进入阅读器的工作范围后接收到阅读器的询问信号，然后与阅读器进行相应的通信过程。中、低频无源 RFID 系统的能量和数据的传输是通过天线近场的线圈磁场耦合实现，其工作原理类似于变压器；而高频无源 RFID 系统的能量和数据的传输是通过天线远场的电磁波辐射实现的。对于工作在微波频段的高频无源 RFID 系统，其工作原理与长距离的无线通信完全相同。因此位于阅读器天线辐射场某点处的标签天线接收到的功率  $P_{tag}$  可以用 Friis 传输公式计算表达为

$$P_{tag} = P_t (1 - |\Gamma_t|^2) |\bar{\rho}_r \cdot \bar{\rho}_t|^2 \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_t(\theta_t, \phi_t) G_r(\theta_r, \phi_r) \quad (3.3.1)$$

式中， $\lambda$  是射频识别的工作波长， $G_r$  是标签天线的增益， $G_t$  是阅读器发射天线的增益， $(1 - |\Gamma_t|^2)$  是阅读器天线的反射效率  $e_r$ ， $\Gamma_t$  是阅读器天线系数。 $R$  是阅读器与标签之间的工作距离， $|\bar{\rho}_r \cdot \bar{\rho}_t|^2$  是 RFID 系统阅读器发射天线与标签天线间的极化损失因子 (PLF)。上式中的  $P_t(1 - |\Gamma_t|^2)G_t$  是阅读器发射的有效辐射功率 (Erp)，通常各国或地区对

Erp 有不同的限制, 如欧洲对于 2.45 GHz 的 ERP 限定值为 0.5W, 而在美国则规定为 3 米内 50 mV/m。因此, 在考虑阅读器天线与标签天线极化匹配的情况下标签天线接收到的功率完全有标签天线的增益  $G_r$  所决定。

标签中后级电路接收到的功率则可表示为

$$P_r = P_{Tag} (1 - |\Gamma_r|^2) \quad (3.3.2)$$

式中,  $(1 - |\Gamma_r|^2)$  是标签天线的反射效率  $e_r$ ,  $\Gamma_r$  是标签天线的反射系数。

对于某些应用而言, 高频无源 RFID 系统中阅读器与无源标签的工作距离足以反映 RFID 系统性能。其中工作距离具体说就是在满足驱动标签后级 ASIC 功率电平的前提下无源标签与阅读器之间的最大识别距离。从而在假定标签天线与阅读器天线极化方向完全一致, 即极化匹配的条件下得到如下算式:

$$R = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_r (1 - |\Gamma_r|^2) G_r}{P_r (1 - |\Gamma_r|^2) G_r}} \quad (3.3.3)$$

而对于标签中的后级 ASIC 总存在一个门限功率电平, 即  $P_{Tag} (1 - |\Gamma_r|^2)$  存在一下限。因此在  $P_{Tag}$  取值一定时, 标签中后级 ASIC 接收的功率由标签天线与后级 ASIC 匹配电路阻抗匹配情况所决定。

对于天线, 其反射系数  $\Gamma$  只与  $Z_m$  和  $Z_c$  有关。此处,  $Z_m$  为天线的输入阻抗, 与天线的结构有关; 而  $Z_c$  为后级 ASIC 匹配电路的输入阻抗, 一般为定值。因此, 后级 ASIC 接收到的功率主要由天线的输入阻抗所决定。在良好设计的情况下, 标签正常工作时  $\Gamma$  较小。如果标签天线发生了变形, 则  $Z_m$  会偏离原来的设计值。这样天线与后级 ASIC 电路间便产生了阻抗失配。

同时, 天线的增益  $G_{(\theta, \varphi)}$  取决于天线的辐射效率  $e$  和方向系数  $D_{(\theta, \varphi)}$ 。对于超短波天线而言, 其辐射效率  $e$  接近于 1<sup>[14]</sup>; 而天线的方向系数  $D_{(\theta, \varphi)}$  主要由天线的结构决定。因此, 当天线的结构形式发生变化时,  $D_{(\theta, \varphi)}$  发生变化导致了天线增益  $G_{(\theta, \varphi)}$  的变化, 而  $G_{(\theta, \varphi)}$  的变化又导致了阅读器天线辐射场的同一点处标签天线所接收到的功率也随之变化。

综上所述,当射频识别标签天线结构发生弯曲时天线的方向系数与输入阻抗都会改变。相应地,RFID 系统的工作距离必定产生改变。标签天线在发生弯曲与未弯曲时的 RFID 系统的工作距离( $R'$ 、 $R$ )的比值可以表示为

$$R'/R = \sqrt{\frac{(1 - |\Gamma_r'|^2)G_r'}{(1 - |\Gamma_r|^2)G_r}} \quad (3.3.4)$$

假设标签天线未弯曲时,其输入阻抗与后级 ASIC 匹配电路的输入阻抗完全匹配,即  $\Gamma_r = 0$ 。则 (3.3.4) 式可以简化为

$$R'/R = \sqrt{\frac{(1 - |\Gamma_r'|^2)G_r'}{G_r}} \quad (3.3.5)$$

从上式不难看出,在假设标签天线弯曲后仍与阅读器天线极化匹配的情况下,RFID 系统的工作距离将主要受标签天线的反射效率  $(1 - |\Gamma_r'|^2)$  和增益  $G_r'$  决定。又因为,标签天线在发生弯曲时其后级电路的阻抗是假设保持不变的,所以系统的工作距离将直接由标签天线的阻抗  $Z_m$  和增益  $G_r$  决定。

### 3.3.3 振子天线弧形弯曲对射频识别系统性能的影响

精心设计的射频识别标签天线发生扭曲变形后,导致标签天线的天线的增益  $G_{(\theta,\varphi)}$  和输入阻抗  $Z_m$  都发生改变。从而天线的功率增益及天线与后级 ASIC 外围电路匹配也随之改变,这无疑将影响整个 RFID 系统性能。以下分析天线作弧形弯曲后对 RFID 系统性能的影响。

出于工程实现与经济方面的考虑,微波频段的 RFID 系统中标签天线大多采用半波振子或是其变形结构的线天线。如图 3-3 所示,普通半波振子天线 (a)、折合振子天线 (b)、Vee 形振子天线 (c) 和领结振子天线 (d),4 种典型线天线作为弧形弯曲标签天线对射频识别工作距离影响的分析天线结构。



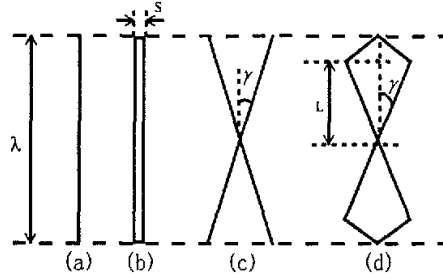


图 3-3 振子天线结构图

首先,考虑普通半波振子作为 RFID 系统的标签天线。此处假设标签天线工作于理想状态,即弯曲前天线的输入阻抗为纯电阻,并且天线位于自由空间中。鉴于各国及地区高频 RFID 系统使用的频率不一,下面的分析基于公用频率 2.45GHz<sup>[5]</sup>。振子天线的弯曲如图 3-4 所示。

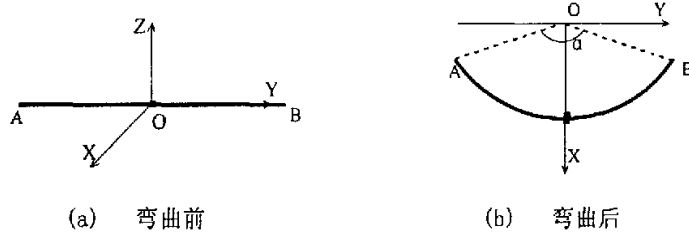


图 3-4 振子天线弯曲示意图

普通半波振子线天线作弧形弯曲后的工作特性由适用于分析线天线的 NEC 软件仿真算得。自由空间中波长为  $\lambda = 0.122367 \text{ m}$  的普通半波振子其总长为  $\lambda = 0.4746\lambda$ , 其线半径为  $a = 0.0009491\lambda$ 。普通半波振子弯曲后的反射效率和弯曲后的功率增益较未弯曲的功率增益的比值随弯曲角度  $\alpha$  变化如图 3-5 所示。图示表明,反射效率与增益都随着弯曲角度  $\alpha$  的增加而衰减。当弧形弯曲的角度近似为  $\alpha = 360^\circ$  时,最小的反射效率为 0.4,而此时增益也降低了近 20%。另外,随着  $\alpha$  的增加反射效率的衰减越来越快,而增益的变化则越发趋于平稳。

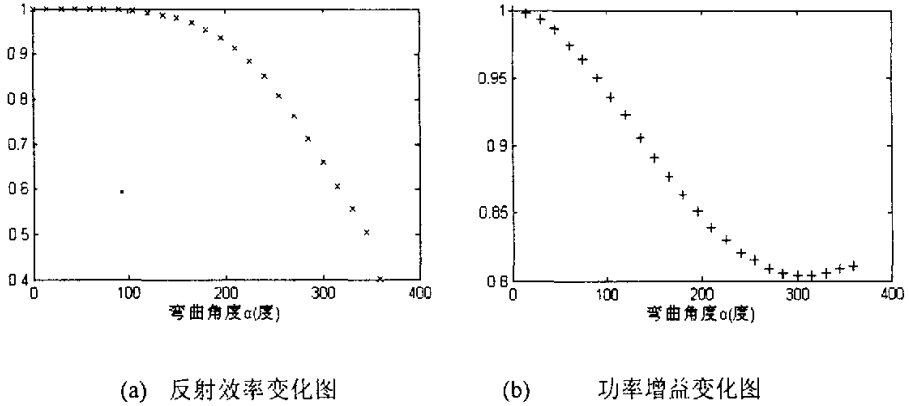
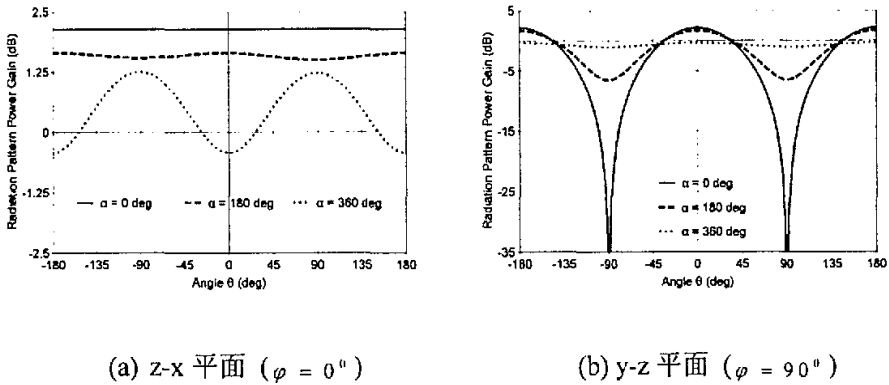
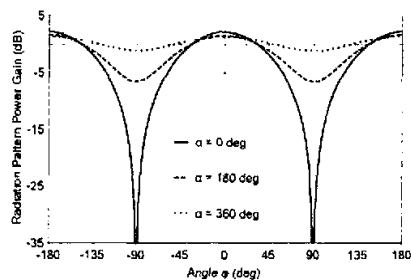


图 3-5 半波振子工作特性随弯曲角度变化图

图 3-6 所示的是普通半波振子在 3 个坐标平面上的功率增益直角平面分布图。其中 3 种不同的线形分别对应 3 个不同曲率的柱面( $\alpha=0^{\circ}/180^{\circ}/360^{\circ}$ )上弯曲标签天线的功率增益。从图中可以看出,随着弯曲角度的增大增益的峰值在减小,而且典型的振子零值方向也随着弯曲的增大逐渐消失。即,弯曲后天线的波瓣加宽,无明显的盲点,而天线的方向性变差。当弯曲角度为 $\alpha=360^{\circ}$ 时最大增益为 1.22dBi,而未弯曲时为 2.13dBi。文献[22]中提到,折叠时 z-x 平面上增益的最大方向与折叠角度成比例地偏离 z 轴。但是在弯曲的情况下并无此现象。这与理论分析结果相同。





(c) x-y 平面 ( $\theta = 90^\circ$ )

图 3-6 不同弯曲角度下功率增益直角坐标分布图

半波振子可采用不同的结构形式，为了研究不同形式的半波振子标签天线弯曲对 RFID 系统性能的影响，本文对另外 3 种振子天线进行分析。此处折合振子阻抗小于  $300\Omega$ ，Vee 形振子和领结振子的阻抗都小于  $50\Omega$ 。所分析振子天线尺寸参量如表 3-1 所示。此 3 种振子天线与半波振子天线使用同一线半径，且都工作于 2.45GHz。

表 3-1 4 种振子天线尺寸表

标签天线	$\lambda(\lambda)$	$S(\lambda)$	$\gamma(\text{deg})$	$L(\lambda)$
普通半波振子	0.4746			
折合振子	0.4611	0.009222		
Vee 形天线	0.4174		14	
领结天线	0.4285		13.5	0.1286

注：表中单位  $\lambda$  为真空中 2.45GHz 电磁波的波长， $\lambda = 0.122367\text{ m}$ 。

采用与分析普通半波振子天线相同的方法对另 3 种天线形式进行研究。结果表明，此 3 种天线弯曲后与普通半波振子弯曲显现出类似的特性。如图 3-7 所示，4 种天线弯曲时反射效率的衰减呈现几乎一致的变化。另外，天线的功率增益也有相同变化，此处不再作图表示。对于 4 种振子天线而言，折合振子天线的反射效率衰减最厉害。而对于

另 3 种天线, 结构复杂衰减则小。

鉴于 4 种振子天线在弧形弯曲时表现出相似的性能衰减, 本文只对标签天线为普通半波振子的 RFID 系统作系统性能分析。对于普通半波振子标签天线的 RFID 系统, 系统性能的衰减可由式 (3.3.5) 算得。在实际应用中, 当标签天线如图 3 所示放置时, 阅读器的一般阅读方向是延着  $x$  轴负方向的。而此方向上对于未弯曲的普通半波振子天线来说其方向系数为  $D = 2.13 \text{ dBi}$ 。标签天线为普通半波振子的 RFID 系统性能随弯曲角度的变化如图 3-8 所示。从图中可以看出, 在弯曲角度接近  $360^\circ$  时工作距离缩短了近 40%。另外从图中可以看出, 工作距离的变化趋势与反射效率一致, 而且当弯曲角度小于  $180^\circ$  时工作距离的缩短可以忽略不计。

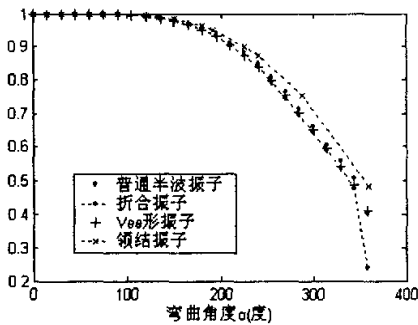


图 6 振子天线反射效率比较图

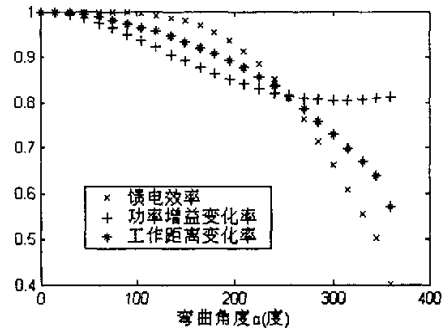


图 7 RFID 系统性能变化图

### 3.4 本章小结

研究表明, 微波段高频无源 RFID 系统的工作距离明显受标签天线形变的影响。从仿真结果可以清楚地看出文中讨论的 4 种振子天线, 其弧形弯曲表现出相似规律: ①弯曲引起的阻抗失配对系统性能衰减起主导作用; ②在弯曲角度小于  $180^\circ$  时系统性能的衰减基本可以忽略; 另外较文献[22]中提及的折叠形变, 弧形弯曲并不使标签天线的最大增益方向发生偏转。从而在实际使用中对于天线附于软衬底的标签, 应避免标签发生较大曲率的弯曲, 尤其是要避免标签发生折叠形变。

由于文中标签天线的弯曲是在自由空间下的仿真得到的, 没有涉及软衬底与标识物体对标签天线性能的影响。事实上除了标签附着物以外还有众多其他因素<sup>[6]</sup>的影响, 因此 RFID 系统性能的实际下降要比文中所得分析结果大。

综上所述,对于形变低敏感性的天线结构在很多实际应用中是值得考虑的。仅在减少诸如标签弯曲所引起的 RFID 系统性能影响,尤其是标签天线与后级电路阻抗匹配方面仍有许多研究工作可做。

## 第四章 射频识别系统中的防冲突技术 及其算法设计

RFID 技术作为一种无线自动识别技术,其在提供多目标识别优点的同时,也势必会带来多个标签同时应答一个阅读器,或是多个阅读器同时对一个标签进行识别的数据冲突情况的出现。尤其是在 RFID 技术在 UHF 以上频段工作时,前一类问题将更加突出。因此,我们将重点讨论 UHF 频段的 RFID 系统中用于多标签识别的二进制搜索算法。

### 4.1 多址通信

多址通信 (Multiple Access Communication) 是指在各个竞争用户中,共享通信信道容量的通信方式<sup>[26]</sup>。多址通信相当于 ISO 参考模型中的数据链路层<sup>①</sup>的一部分,有时直接称作媒质寻址控制 (MAC)。常见的多址媒质有卫星通信信道、地面无线电信道、电缆和光缆等。多数寻址使用的多址媒质是广播信道。在广播信道中,信号由一个能被许多接收机接收的发射机产生。每种多址媒质具有不同的特性,其特性影响多址协议的设计<sup>[19]</sup>。

通常根据多址通信的性能参数来评价一个系统。多址通信系统的主要性能参数是:平均通过量、平均分组时延和稳定性。对于一个好的多址协议设计而言,系统的平均通过量和平均分组时延越小越好,并且在较长时间内,器通过量和延迟性基本保持不变。

多址方案既可以按照带宽配置是静态还是动态来分类,也可以按照带宽配置方案的实现方法是集中控制或分散控制来分类。一般情况下,多址方案可以分为:固定分配、随机接入分配、集中式按需分配、分布式按需分配和混杂模式分配 5 类。有关此 5 类的详细介绍可参考文献[26],此处不再赘述。

---

<sup>①</sup> 此处的数据链路层包括媒质寻址控制 (MAC) 的下子层和逻辑链路控制 (LLC) 上子层。

## 4.2 射频识别系统主要使用防冲突技术与算法

作为一种无线通信, RFID 系统工作时, 尤其是高频远距离的 RFID 系统, 不能排除一个以上的标签同时进入阅读器的工作范围。作为 RFID 的发展方向, EPC 网络中此问题更加突出。在这样的系统中存在着两种通信形式:

从阅读器到标签的数据传输为第一种通信形式。发送的数据同时被所有的标签接收。即, 无线电广播<sup>[3]</sup>。

在阅读器的作用范围内, 多个标签的数据同时传输给阅读器。即, 上文所述的多址通信。

由于 RFID 系统的特殊性, 其多址通信问题无法直接使用经典的空分多址法 (SDMA)、频分多址法 (FDMA)、码分多址法 (CDMA) 和时分多址法 (TDMA) 四种防冲突方法。其中, 前三种方法实施复杂, 在 RFID 系统一般不予采用。从而, TDMA 就成为了 RFID 系统中的主要防冲突方法<sup>[3,27-34]</sup>。根据信道访问的控制, TDMA 又可以分为标签控制 (标签驱动) 和阅读器控制 (询问控制) 两种方法。

标签控制法, 其工作是非同步的, 因为该方法对阅读器的数据传输没有控制。按照标签成功完成数据传输后是否通过阅读器的信号而断开, 又分为“开关断开法”和“非开关”法 (如图 4-1 所示)。

阅读器控制法, 是采取阅读器作为主控制器的方法。该方法可以同步进行观察, 因为这里所有的标签同时由阅读器进行控制和检查。因为阅读器控制法可以快速地按时间顺序操作标签, 所以也称作定时双工传输法。阅读器控制方法可再分为“轮询法”和“二进制搜索算法” (如图 4-1 所示)。

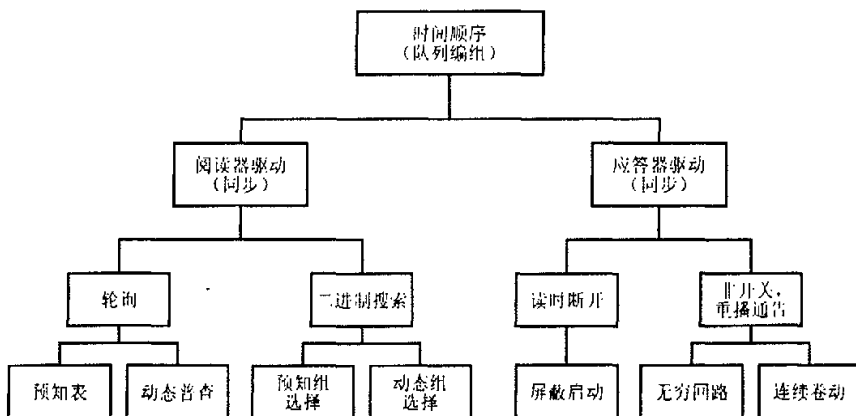


图 4-1 时分防冲突法划分图<sup>[3]</sup>

与标签控制法和阅读器控制法相对应的, RFID 系统主要使用的防冲突算法有: ALOHA 算法系列和二进制搜索算法类。有关 ALOHA 算法系列的介绍可参考文献[3], 二进制搜索算法类将在下节进行介绍。

### 4.3 动态二进制搜索算法的改良与实现

从数据流的角度来看, 在 RFID 系统中应用系统对标签的操作是严格按照“主-从原则”进行的(如下图所示)。

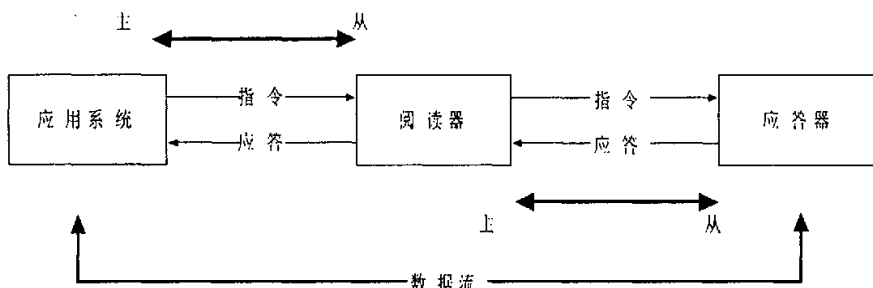


图 4-2 应用系统中的主从关系<sup>[3]</sup>

从工作原理来看, ALOHA 算法系列较二进制搜索算法类在标签方有更多的硬件需要, 而二进制算法类更适合软件设计。这样一来, 二进制搜索算法既保证了标签的低成本, 又可以增强系统的灵活性。另外, 二进制搜索算法类较 ALOHA 算法系列在算法执行的稳定性方面也有较好表现<sup>[3]</sup>。

综上所述, 二进制搜索算法显然更能体现 RFID 系统中多址通信的随机接入和集中控制特点。因此, 本文选择二进制搜索算法类为研究对象。

#### 4.3.1 问题的提出

作为 RFID 应用的一般规律, 频率越高系统的识别距离就越远。这一特点在带来众多便利的同时, 也势必导致阅读器工作区域内同时出现待识别的标签数目的增多。另外随着 RFID 应用的进一步推广, 客户的个人隐私及数据安全方面的问题也越发突出<sup>[21]</sup>。二进制搜索防冲突算法以其简明的实现思想、稳定的系统性能和较少的系统资源需求早在 ISO14443 种规定的 TYPE A 型通信协议中已成功应用于疏耦合的 RFID 系统中。但是二进制搜索算法在执行效率和数据安全方面都欠缺考虑。为此, 作者基于动态二进制搜索算法提出一种改良型动态二进制搜索算法来加以改善算法系统的性能。



### 4.3.2 二进制搜索算法及动态二进制算法

#### 二进制搜索算法

二进制搜索防冲突算法是采用比特冲突监测协议(Bit Collision Detection Protocol)作为防冲突方案。因此,实现二进制搜索算法的系统的必要前提是能辨认出在阅读器的数据冲突的比特的准确位置。也就是必须要有合适的位编码法——Manchester 编码。Manchester 编码中的某位之值是在一个位窗内由电平的改变来表示的。数据传输过程中“没有变化”的状态是不允许的,并作为错误被识别。当有两个或两个以上标签同时发送的数位有不同的值时,则接收数据流中部分位的上升沿和下降沿相互抵消。从而“没有变化”的状态指示出错误,算法发现冲突比特位(如下图所示)。

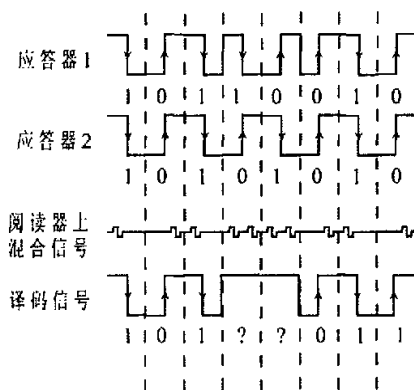


图 4-3 Manchester 编码按位识别冲突原理图

从算法实现来看,二进制搜索算法系统也就是由一个阅读器和多个标签之间规定的相互作用(命令和应答)顺序(规则)构成的。目的在于从较大的一组中选出任一个标签。为了实现这个算法思想,每个标签应拥有一个唯一的序列号。此外,算法系统需要一组命令。这组命令由标签处理。主要命令有:请求命令 REQUEST(SNR)、选择命令 SELECT(SNR)、去活命令 UNSELECT 和读出命令 READ 等。其中,SNR 表示标签的序列号。文献[3]中有该组命令的详细定义,此处就不在赘述。

现以三个序列号分别为 001、011 和 110 的 3 比特编码标签在阅读器作用范围内的情况说明二进制搜索算法的工作流程。

算法系统首先由阅读器发送 REQUEST(111)命令。因为所有标签的序列号都小于

或等于 111，所以阅读器作用范围内的所有标签都会应答。从而阅读器接收到的数据流在 0 位、1 位和 2 位上都发生了冲突。为了缩小响应 REQUEST(SNR)命令标签的范围，将所有冲突位中的最高位的位值置 0 后作为新的请求命令参数系统重复执行请求、应答和判别操作。直到阅读器接收到的数据流无冲突发生时，系统停止执行重复操作。此时，搜索算法已成功识别工作范围内的一个标签。通过 SELECT(SNR)命令就可以将该标签激活，并执行读出数据命令。待读出命令执行完毕后，再通过 UNSELECT(SNR)命令去活标签。

其他标签重复这一过程，直到阅读器工作范围内的所有待识别标签被一一成功识别并执行读出操作为止。本示例的二进制搜索流程如下图所示。图中空心圆标注的父节点是发生冲突的比特位置。至上而下，树的深度越深的父节点对应的序列号编码位越低。

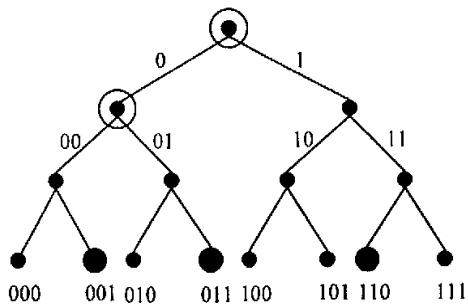


图 4-4 二进制搜索算法示例树状图

### 动态二进制搜索算法

以上是二进制搜索防冲突算法的关键技术与工作流程。二进制算法再实现防冲突的过程中，标签总是以完整的序列号作为应答。而在实际应用中，标签的序列号可能长达 10 多个字节。如 EPC 编码采用 96 比特编码，UID 编码长度为 128 比特。这样一来用于传输识别序列号的数据量过大，识别时间过长。

从二进制算法实现过程我们不难发现：①对于最高冲突位后的所有比特位都被阅读器置“1”，而这部分编码不包含任何给标签的补充信息；②同时，标签返回的包括最高冲突位在内的之前比特位也不包含给阅读器的补充信息，因为这些信息是阅读器已知的。由此可见：防冲突识别过程中，传输序列号的各自互补部分是多余的。动态

二进制搜索算法正是出于这样的考虑提出的。即，在动态二进制搜索算法中阅读器检测到冲突后，下一次只发送当前已确定位数  $NVB$  及其对应的比特位编码  $SNR'$ ，而具有相同确定比特位编码的标签则回送其序列号的互补部分<sup>[3]</sup>。从而，动态二进制搜索算法大大减少了算法系统消耗在序列号上的传送时间，即提高了系统的执行效率。此时的请求命令格式可表示为  $REQUEST(NVB, SNR')$ 。有关动态二进制搜索算法的详细描述请参阅文献[3]。

### 4.3.3 改良型动态二进制搜索算法设计

为了从大量的标签中发现一个单独的标签，需要重复操作。其平均次数  $N$  取决于阅读器工作范围内的标签总数  $M$ 。两者的关系为

$$N = \lceil \log M / \log 2 \rceil + 1 \quad (4.3.1)$$

式（1）中的方括号表示取整操作。假设传送完整  $SNR$  的时间为  $T$ ，则二进制搜索算法在一次成功识别过程中阅读器用于传输  $SNR$  的时间为：

$$t = T \times N \quad (4.3.2)$$

如果采用动态二进制搜索算法，用于传输动态调整的  $SNR'$  的时间比每次传输完整的  $SNR$  约节省 50%<sup>[30]</sup>。

虽然动态二进制搜索算法通过修改二进制搜索算法中的请求命令实现了执行效率方面的优化。但由于其仍采用二进制搜索算法的工作流程，动态二进制搜索算法仍存在以下几点问题：

- 所有未去活的标签每次都要通过比较自身的序列号是否小于或等于查询范围值来决定是否响应请求命令，这不但是对前面已得到冲突信息的浪费，而且那些本应排除在请求范围之外标签的运行势必加大了系统内部干扰；
- 完全由标签内部硬件结构完成的标签去活等操作也势必给实际应用带来诸多不便；
- 由于在防冲突过程中阅读器发送的请求命令都直接包含有标签序列号的信息，这将导致根据 RFID 上、下行信道不对称性远距离窃听标签信息的安全方面的问题<sup>[27,28]</sup>。

正是出于这些问题的考虑,本文提出一种改良型动态二进制搜索算法。

由上节二进制搜索算法与动态二进制搜索算法的描述来看,作者认为一组行之有效的命令不仅是算法实现的关键,更是体现算法思想所在的精髓。因而,根据上一节介绍的防冲突算法目的,作者也设计了一组命令来实现改良型动态二进制搜索算法。并结合开放系统参考模型<sup>[28]</sup>,本设计将算法系统中的命令分为两大类。一类是为了实现从众多的标签中任选一个建立其与阅读器间点对点通信信道的逻辑数据链路命令,如请求命令、激活命令和去活命令等;另一类就是在阅读器与某一标签之间建立了点对点通信后执行的如读/写命令、认证命令、出纳登帐等命令。不难看出,第一类命令就是体现本算法思想的关键命令,而第二类命令则与具体操作和实际应用有关。下面会对第一类命令具体说明。第二类命令本文不加说明,仅统称为高级命令。

另外为了使标签参与利用已经获取的冲突信息,本算法系统利用状态机思想将在阅读器工作范围内执行防冲突算法的标签设定了上电、待命、休眠、通信和去活 5 种状态。再加上离开阅读器工作范围后的掉电态,本算法系统中的标签共有 6 种可能的状态。其中的休眠态对应的休眠程度寄存器协同阅读器中的序列号生成寄存器完成一轮冲突信息的记录和利用,休眠程度寄存器的初值为 0。为了实现方便和应用的灵活性,标签的状态转移主要由阅读器控制,即状态转移由软件控制。并且标签所处的各种状态由其内部的状态寄存器标示。

第一类命令说明如下:

**Request( $N$ )**——请求命令:此命令发送标签须返回序列号位数  $N$  作为参数,阅读器工作范围内的所有处于待命态标签返回其低  $N$  位序列号作为应答。同时该命令还完成阅读器与标签之间通信的同步操作。

**Rest( $P$ )**——休眠命令:此命令中的参数  $P$  指示了当前发生比特冲突的最高位。对于待命态的标签,如果其序列号的  $P$  位之值为 1,该标签转为休眠态,并将休眠程度寄存器置 1;否则,标签不发生状态转移。对于已处于休眠态的标签,其休眠程度寄存器加 1。

**Wakeup**——唤醒命令:此命令是一个无参命令,并且只有处于休眠态的标签才响应该命令。休眠态的标签将其休眠程度寄存器减 1。如果当前休眠程度归 0,该标签转

为待命态；否则，标签仍处于休眠态。

**Select**——激活命令：此无参命令将阅读器工作范围内待命态的标签转为通信态以便完成其他高级命令操作。

**Unselect**——去活命令：此无参命令是将当前通信态的标签转为去活态。其预示系统当前已经完成了对通信态标签所需的操作。

参照图 2 示例，序列号分别为 001、011 和 110 的 3 个标签同时进入阅读器工作范围。阅读器首先发送请求命令 Request(3)，3 个标签同时响应。此时发生冲突的最高比特位下标  $P$  是 2，则阅读器更新回送序列号位数为  $N = 2$  并置序列号生成寄存器 2 位为 0。阅读器发送休眠命令 Rest(2)。序列号为 110 的标签转为休眠态，其休眠程度置 1。阅读器再次发送请求命令 Request(2)，剩余两个标签同时响应。此次  $P = 1$ ，则  $N$  更新为 1 同时置序列号生成寄存器 1 位为 0。阅读器发送 Rest(1)。011 标签休眠，其休眠程度置 1。另外，110 标签休眠程度加 1。阅读器第 3 次发送请求命令 Request(1)。这次无冲突产生，阅读器成功识别 001 标签。随后阅读器发送激活命令将 001 标签转为通信态。在完成响应的操作后，阅读器发送去活命令在将其转为去活态。

在完成 001 标签的通信后，阅读器发送唤醒命令 Wakeup 以执行下一轮防冲突识别过程。在剩余标签的识别中为了利用前面已获得的冲突信息，根据图 2 所示的深度优先二进制搜索树的特点，本改良型算法中设计了一个冲突记录堆栈实现防冲突识别的回溯操作。

如此循环，直到将阅读器工作范围内的所有标签全部成功识别为止。图 4-5 是算法设计思想的流程图描述。

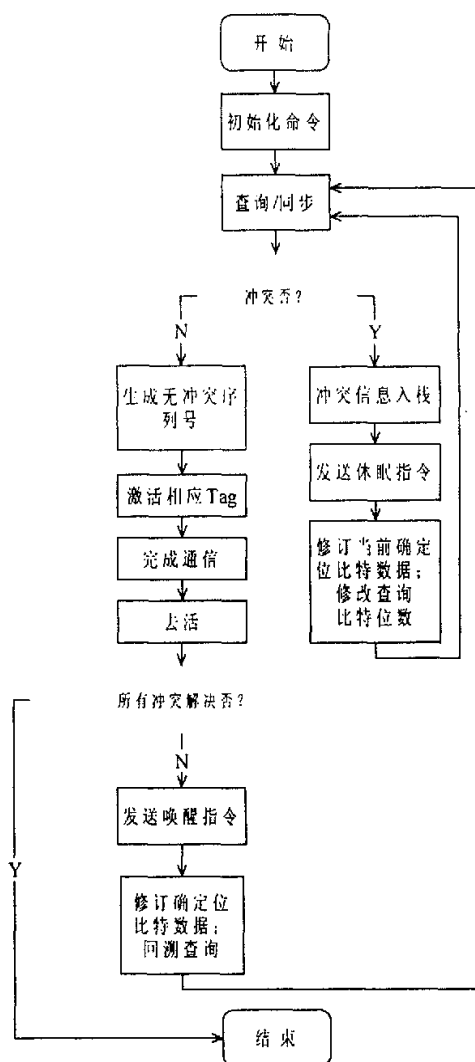


图 4-5 改良型动态二进制搜索算法工作流程图

由上述算法描述可知，在防冲突识别过程中标签参与了冲突的记录。因此为了避免未参与冲突记录的新标签进入识别过程而导致的错误，本算法系统设计了一个特殊的待命组初始化命令  $\text{Request}(0)$  和标签的上电态。标签进入阅读器工作范围内后首先进入上电态，然后由  $\text{Request}(0)$  将上电态的标签转移为待命态。上电态标签不参与防冲突识别过程。

图 4-6 表明了标签的状态转移与基本命令及事件间的关系。其中需要说明的是，处于掉电态以外的任何一种状态的标签只要离开阅读器的工作范围后其状态皆转移为

掉电态。

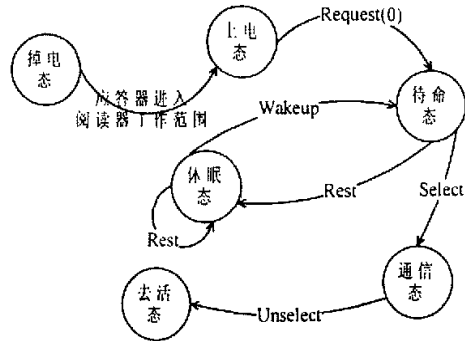


图 4-6 标签状态转移图

4.3.4 改良型动态二进制搜索算法仿真实现与性能分析

通过 C 语言对上述改良型动态二进制搜索算法进行了仿真实现。根据编码信道通信系统模型<sup>[35]</sup>，仿真程序设计时采用模块化的设计思想将 RFID 通信系统划分为阅读器、编码信道和标签 3 块进行设计。

为了实现多标签同步响应阅读器命令，仿真程序中设计了一个串行工作的标签组来模拟实现并行操作。而作为二进制搜索类防冲突算法的原理，比特位冲突监测，也是程序设计的一大关键。根据图 4-3 所示 Manchester 编码的特点，仿真程序将编码信道模型中的译码信号采用正反码予以实现。如下图所示，正反码即是 Manchester 编码以 2 倍频取样后按奇偶位分组生成的两个码组。

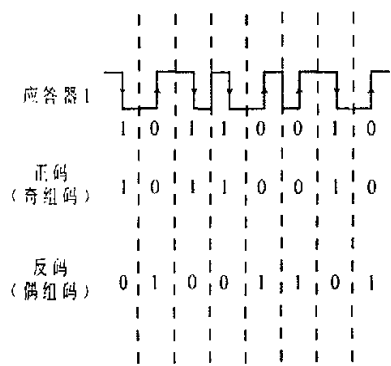


图 4-7 Manchester 编码的正反码程序设计原理

本改良型动态二进制搜索算法仿真程序实现作以下规定：①应答序列号采用 8 比

特编码；②编码信道无噪声干扰；③被识别标签相对静止，即识别过程中标签无变化。

程序运行结果表明，改良型动态二进制搜索算法与动态二进制搜索算法具有相同的执行效果。另外，根据动态二进制搜索算法执行过程来看，防冲突过程中标签的序列号由确定比特位和待定比特位两部分组成。作者认为，其中确定位有两个作用：①记录了所有已确定高位比特的信息；②将此信息传递给标签，由标签进行比较后缩小预选范围。因为动态二进制搜索算法中标签不具备对现前冲突进行记录和避免的功能，所以算法中确定位所起的第二个作用是必不可少。然而根据状态机实现思想，标签自行记录和避免冲突是可行的。因此从原理上来说，防冲突过程中阅读器不直接发送标签序列号的相关信息是可行的。

正是由于改良型动态二进制搜索算法的设计思想，该算法与动态二进制搜索算法的最大区别就在于防冲突过程中阅读器与标签协同对冲突信息进行了记录和利用。因此在防冲突过程中阅读器无需直接发送标签序列号信息，而是通过发送返回位数和冲突位下标实现防冲突识别。这样，阅读器用于传送序列号相关信息的时间就可以表示为：

$$t = T \times N \times ([\text{Log } SNR\_N / \text{Log } 2] / SNR\_N) \quad (4.3.3)$$

式(4.3.3)中  $SNR\_N$  为标签序列号的位数。因为改良型算法中阅读器无需传送动态调整的序列号，所以执行效率一定优于传统算法。在上述示例中  $SNR\_N = 3$ ，实际应用中  $SNR\_N$  多为 8 的整数倍数。当  $SNR\_N = 8$  时，改良型算法较传统算法约节省 36% 的时间；当  $SNR\_N = 16$  时，约节省 40% 的时间。很明显，每次传送序列号位数越多，相应节约的时间也越多。

阅读器不直接发送标签序列号的特点不仅可以提高系统执行效率，还具有较好的防下行信道窃听功能。如图 2 所示，由于客观原因所有的标签不太可能同时存在于阅读器的工作范围内，因此冲突便不会在每一个父节点都产生。从而在文献[33,34]中所提到的 Silent Tree Walker 就无法准确地判断出物品信息。

从系统的灵活性和可控性上看，改良型动态二进制搜索算法系统一改传统算法中标签由内部硬件直接自行控制其状态转移的做法，而通过阅读器发送命令实现软件控制。而且标签状态寄存器的使用也为后期产品使用者带来了更大的选择性。



## 4.4 本章小结

本章就 RFID 技术研究中的防冲突问题进行了探讨。其中，重点分析了主要用于 UHF 频段多标签识别的二进制搜索算法。在介绍二进制算法思想和关键技术的基础上，运用状态机机制并结合二叉树遍历思想对传统动态二进制搜索算法进行了改造，提出并设计了改良型动态二进制搜索算法。

本算法不仅经 C 语言仿真实现验证切实可行，而且具有较动态二进制搜索算法更高效的执行效率，和较好的防下行信道窃听的功能。另外，改良型算法系统还将传统系统中由标签硬件自行进行状态转移改为由阅读器命令控制，从而也大大提供了系统灵活性。

由于本改良算法的设计是在原理层面上实现的，从而未考虑噪声干扰的影响。所以在噪声干扰下算法设计的考虑也是很值得研究的问题。

## 第五章 射频识别在数字化校园中的应用

Auto ID 提出物联网的初衷始为提高流通领域信息化水平。在这一领域美国的 Wal-mart 和德国的麦德龙等巨头都已开始在自己所属的范围内实施局部物联网,而我们在 RFID 具体的应用开发还较缺乏。

以上两章主要讨论了 RFID 在物联网应用中标签天线的设计和多标签反冲突识别两大关键技术。本章将在探讨数字化校园的环境中应用 RFID 技术的相关问题前提下,提出一套结合电信服务平台,在已有管理系统的基础上运用 RFID 技术改造实现的智能图书馆方案。

### 5.1 数字化校园概述

1990 年由美国克莱蒙特大学教授凯尼斯·格林(Kenneth Green)发起并主持的一项大型科研项目“信息化校园计划”(The Camps Computing Project),是数字化校园的概念最早出现<sup>[36]</sup>。2002 年 5 月国内部分高校在广东中山大学召开了数字化校园的专题研讨会,在会上成立了“高校数字化校园建设工程委员会”。会议认为建设数字化校园内容丰富,涉及领域广泛,是高校一项长期建设的工程。另外,许多高校将“数字化校园”建设列为“十五”、“211”建设子项目。

关于数字化校园,可以从不同角度、不同层次加以理解。如:“数字化校园就是用信息技术取改善管理者、教师、学生和合作单位的沟通,以提供相应的服务”;“数字化校园是指以教师、学生、管理人员为主体,以教学、科研、管理活动为主要服务对象,通过数字化校园实现资源共享、信息高速流动,建设数字化教学、科研与管理环境等等”。从广义上讲,“数字化校园是以网络为基础,利用先进的信息化手段和工具,实现从环境(包括设备、教师等)、资源(如图书、讲义、课件等)到活动(包括教学、管理、服务、办公等)的全部数字化,在传统校园的基础上,构建一个数字空间,拓展现实校园的时间和空间维度,提升传统校园的效率,扩展传统校园的功能,最终实现教育过程的全面信息化,从而达到提高教学质量、科研和管理水平的目的。”可见:①数字化校园是在传统校园基础上构建的多纬度数字空间;②在这空间里的环境条件及活动全部实现网络化、数字化、智能化;③这个多维度数字空间是不断发展变化的,其建设目标水准是与时俱

进的；④数字化校园的根本着眼点是提高教学质量、科研和管理水平，提高学校的综合素质<sup>[37]</sup>。

数字化校园是利用计算机技术、网络技术、通讯技术对学校、科研、管理和生活服务有关所有信息资源进行整合和集成，已构成统一的用户管理、统一的资源管理和统一的权限控制，使之在传统校园的基础上构建一个数字空间，以达到共享信息资源，提升传统校园的效率，扩展传统校园功能。因此数字化校园应以网络基础和数字流动软件基础构成数字化的支撑平台，在支撑平台上开展信息服务，实现教学、科研、管理、公共服务、消费等领域信息资源数字化，信息传输网络化，用户个性化，终端智能化<sup>[36-38]</sup>。数字化校园基本构架如下图所示：

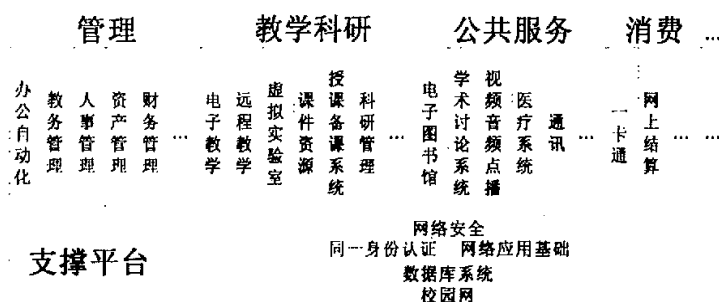


图 5-1 数字化校园基本构架<sup>[30]</sup>

## 5.2 射频识别在数字化校园中的应用

### 5.2.1 机遇与挑战

高等教育信息化是一项庞大的系统工程。从宏观角度看，它涉及到高等教育机构的管理、教学、科研和社会服务等领域。现阶段，我国各大高校基本完成了校园网的建设。在数字化校园的发展中，已从“基建”向“开发与拓展”转变。数字化校园继 PC、基础网络后的特点应突出体现在三个方面：网络化、智能化和个性化。其中，智能化从技术的角度讲就是自动化，就是通过一系列智能技术使设备或者系统部分地具有人的智能，从而能够部分地代表人的劳动。另外，无线应用也已成为国内外校园信息化的一大热点。

射频识别技术已拥有较长的应用历史。实际上，射频识别技术真正的应用潜力完全可以借助于各行各业人们的想象力。射频识别技术作为一种非接触的自动识别技术，今

天已被看作无线版本的条码技术。尽管射频识别技术还有尚待拓展的应用空间并需克服的问题,但随着电子、印刷技术的革新,成本的降低和数字信息技术在各行业中的深入,射频识别技术必定有着一番更为广阔的发展前景。

现在,射频识别技术在校园中的应用也只停留在少数环境中。如,食堂饭卡和图书管理等。而且正在应用此项技术的国内学校更是少之又少。可以想象,在不久的将来正如射频识别技术在其他行业中如火如荼的发展一样,其在数字化校园的建设中得到广泛地应用。射频识别技术与数字化校园的结合,既能促进校园数字化的发展,提高管理效率和加快新式管理模式的建立,又能加快推广和拓宽射频识别技术的应用和 EPC 网络的研究,可以说二者是互惠互进。

### 5.2.2 射频识别在数字化校园中应用的实施对策<sup>[4]</sup>

同其他行业在选择和应用射频识别技术一样,射频识别技术在数字化校园中的应用需考虑诸如系统使用频率、协议和标准,产品间的兼容性,设备升级与维护成本等问题。下面为几个较为突出的此类问题的简单介绍。

#### 产品的频率和标准

一般情况下,可采用沃尔玛、美国国防部的系统标准,则系统工作频率在 UHF 频段,使用 1 类和 0 类 EPC 协议。但如果应用较为特殊,则应选择合适的系统工作频率和支持频率。

如在食堂饭卡应用上,广泛使用低频系统。而在资产管理方面应用时,则需采用 13.56MHz 的产品。另外,现在射频识别技术存在向高频发展的趋势,所以在选择时还应考虑到高频系统。

目前,射频识别标准的确定还有一段时间。所以所选产品采用的标准就显得十分重要。

#### 产品的兼容性

虽然 ISO 有检测产品是否和协议标准相符合的标准,但是目前并不能确保不同产品之间相会兼容。因此,在选择射频识别设备时,应该考虑设备与其他产品的兼容性。这样对于系统的扩容、升级和使用其他产品提供了基础,既增强了系统的灵活性又节约了

投资成本。

### 产品的性能和维护

迄今为止，射频识别技术还未十分成熟。不同厂商的同类型产品的性能存在较大差异。因此，选择的产品应经过现场测试满足系统需求为佳。值得注意的是，对于作为设备中重要部件的阅读器要认真选择。因为阅读器的好坏不仅影响早期的建设成本，还将影响系统使用中间的维护费用。这一点在大规模的射频识别应用中尤为突出。

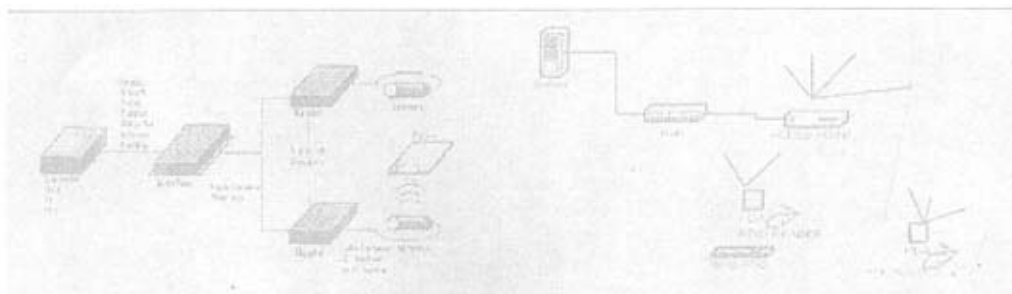
关于阅读器，应主要关注产品是否具有如故障重启和自身诊断系统等可靠的维护措施和技术。另外，阅读器的费用、性能、频率和协议也应考虑。

另外，射频识别技术在数字化校园中的应用是作为数字化校园结构中的上层部分。所以，射频识别设备的选择还应考虑到已有校园网络及下层数据库系统等方面。

### 5.2.3 射频识别设备组网方式

网络化，作为数字化校园建设和射频识别技术发展的方向和趋势，是二者的有效结合的一个关键问题。对于射频识别技术而言，其具体表现为由射频识别设备所构成网络（以下简称射频识别网络）的组网方式。而此组网方式主要取决于具体的应用。

根据应用系统的功能需求的不同，射频识别的阅读器主要分为固定式和手持式两种。如 EAS 系统中的门禁系统大多采用固定式阅读器，而在大型仓储场所内工作人员则使用较为灵活的手持式阅读器。一般来说，阅读器只负责收集数据和简单的数据处理功能，而大量的数据处理工作由后级系统完成。因为后级数据系统多为微机，所以射频识别网络的组网方式最终可看成是阅读器与后级系统的构建形式。对于上述两种阅读器而言，一般固定式的采用有线结构，而手持式的大多采用无线组网方式（如下图所示）。



(a) 固定式阅读器组网结构

(b) 手持式阅读器组网结构

图 5-2 两种典型射频识别网络结构

综上所述，只要做好前期项目需求的分析和选择适当的产品，目前 RFID 技术在数字化校园中的应用不仅切实可行，而且将大大改善资源使用的效率。以下是在已有成功应用案例的基础上，结合 RFID 发展趋势提出的智能图书馆系统方案介绍<sup>[39,40]</sup>。

5.3 智能图书馆系统方案设计

对于现有的绝大多数高校图书馆而言，图书的识别主要还是利用的条码技术，而借阅的师生也都必须通过图书分类号到相应的图书加上直接查找。随着各大高校规模的不断扩大，其藏书量也是逐年倍增。因此想要找到一本特定的图书时将化去不少的时间。如果，图书归架时发生了偏差，则会给借阅者造成更大的时间浪费。出于这样的考虑，此处提出一种利用 RFID 技术进行图书管理和服务的智能图书馆系统。

智能图书馆系统是利用 RFID 技术、图书网络管理系统、移动信息服务平台构建的图书信息综合管理和服务平台。该系统主要由客户查询终端、信息管理数据库、客户服务器、电信运营商移动信息服务平台、定位 RFID 阅读器、RFID 标签、图书定位服务器、图书借阅服务器和门禁 RFID 阅读器组成。其网络拓扑结构如图 5-3 所示。

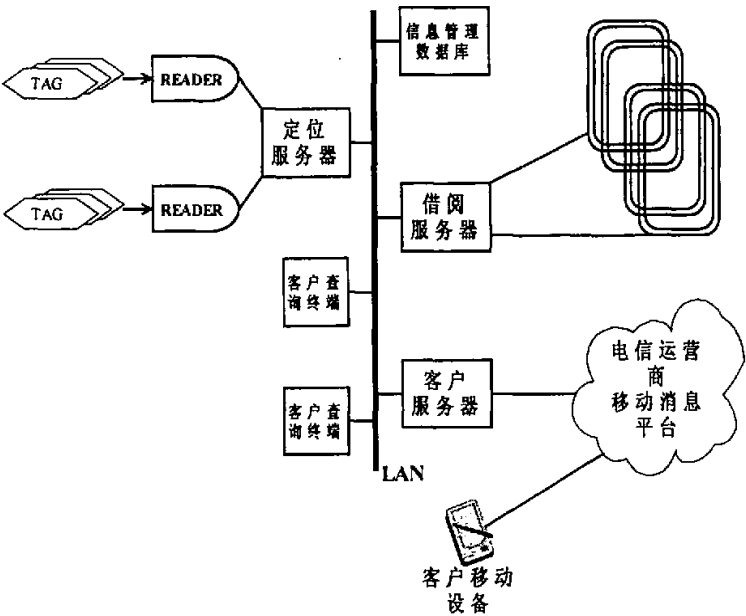


图 5.3 智能图书管理网络拓扑图

客户查询终端，可以是校园网内的任何一台 PC，也可是师生的移动通信设备。通过 PC 终端，师生首先可以获得查询图书的相关书目的详细信息，同时还可以获得此书的方位信息。其次通过菜单选择，师生还可以将感兴趣图书的方位信息下载到随身的移动设备上。另外，师生还可以通过移动设备将个人认证信息和待查图书信息直接发送给图书查询服务台，从而直接获取图书的书目及方位信息。

信息管理数据库，就是传统的图书管理数据库。其主要功能是记录馆藏图书及登记用户的相关信息及完成相应的计费功能等。

客户服务器，是智能图书管理系统与用户的接口。它不仅与信息管理服务服务器和定位服务器交互完成用户的认证和查询任务，而且还是智能图书管理系统与电信运营商移动信息服务平台的互连设备。

移动信息服务平台，为智能图书管理系统提供一个信息服务台号码。以实现智能图书管理系统为用户提供随时随地的个性化移动查询服务。

RFID 阅读器、RFID 标签和定位服务器，构成在馆图书的定位跟踪系统。其中每本书都贴有一个 RFID 标签，整个馆藏范围设置了多个固定式阅读器，每个阅读器的工作范围称为一个区域。由于各个固定阅读器的坐标是事先确定的，因此其对应的区域也可确定，即图书的方位信息。每个阅读器时序地查询本区域，并将获得的标签信息传送给定位服务器。定位服务器根据获得的信息，更新各区域内存在标签信息的方位数据库。另为，定位服务器还要负责对各个阅读器的工作情况进行监控和管理。如发现工作异常的阅读器并对其重启操作，或记录损坏的阅读器并发出维修警报等。

借阅服务器和门禁阅读器为可选部件。它们协同工作已实现图书的自助式借阅功能。

以用户使用校园网内 PC 终端查询并接受图书方位短信后借阅图书过程，来说明系统各组成部分的协同工作关系。

- 1、 用户使用 PC 登陆到客户服务器并输入认证信息。客户服务器将信息送至信息管理服务器进行核实。如为合法用户，用户则进入图书查询页面进行查询。反之，用户无法进入查询系统。

- 2、 对于合法用户，客户服务器接收用户的查询信息，并将信息送往信息管理数据库。数据库再返回相关书目信息的同时，将相关图书的标签序列号送往定位服务

器。定位服务器则将相应的图书的方位信息发送给客户服务器。客户服务器将收到的两类图书信息一起送至查询 PC 端。

3、 用户发送短信服务请求后，客户服务器将服务手机号和相关图书方位信息一并送往移动信息服务平台。由移动信息平台转发到用户手机上。

4、 用户根据方位信息拿取图书的同时，定位服务器更新方位信息数据库。

5、 如采用门禁阅读器且用户也使用 RFID 式图书证时，则在用户出门时借阅服务器自动记录借阅情况，同时将信息送往信息管理数据库以供更新管理数据库。

从上述过程可以看出，由于采用了经典客户—服务器（Client-Sever）模式，该系统在不改变原有数据库信息的前提下提供了一种更为自动化和人性化的服务。另外，管理员还可以选用无线接入的手持阅读器对藏书进行实时监控和维护。



## 结束语

RFID 技术作为一种新兴的自动识别技术,其表现出巨大应用市场的同时在技术研究和应用研究方面也面临着不少问题。本文在介绍 RFID 技术发展、研究现状和基本工作原理的基础上,针对极具应用前景的 UHF 以上频段在商业链应用中将会出现的问题,就 RFID 中天线设计和防冲突算法进行了研究。最后,我们还对 RFID 技术在数字化校园的应用作了应用研究的探讨。并在客户—服务器模型的基础上提出了智能图书馆的构建方案。

在天线设计方面,本文主要对零售业应用中使用的 2.45GHz 软衬底线性标签天线的弧形弯曲对系统工作距离的影响进行了研究。首先运用 Friis 传输公式理论分析了微波段 RFID 系统工作距离同标签天线参数的关系,然后通过线天线分析软件 NEC 对微波段广泛使用的半波振子及其三种变形天线进行了弧形弯曲仿真计算。结果表明,RFID 系统的工作距离主要受到标签天线发生形变所引起的阻抗失配和天线增益的改变的影响。因此,对于形变低敏感性的天线结构在很多实际应用中是值得考虑的。

在防冲突方面,我们则选择了系统性能稳定在 UHF 频段广泛使用的二进制搜索算法进行了研究。对于被极力推广且具有巨大潜力的 EPC 网络而言,传统的二进制搜索算法不光在执行效率方面无法适应实际需要,而且还存在下行信道被窃听标签信息的安全问题。本文在分析二进制搜索算法和传统动态二进制算法实现机理的基础上,运用状态机机制并结合二叉树遍历思想提出并设计实现一种改良型的动态二进制搜索算法。理论分析和 C 语言模拟实现都证实了算法思想的正确性和可行性。同时,改良型动态二进制搜索算法较传统算法在执行效率和防下行信道窃听方面都有较明显的改善。

从物联网发展趋势来看,智能图书馆管理系统方案中图书级的自动标识不仅是 RFID 应用的必然结果,其中更为重要的是统一认证和人性化服务思想的体现和设计。

就本文研究问题而言,标签天线在更为复杂的环境中的仿真计算、动态二进制搜索算法的抗噪声处理、导电墨技术和 RFID 定位方面的研究将是下面应该加以考虑的问题。而对于 RFID 技术本身而言,传感器集成技术、自动识别和数据采集技术、EPC 编码技术、认证和安全技术以及 RFID 组网技术将是未来几年 RFID 技术得以普及而需解决的主要技术问题。

## 参考文献

- [1] Jerry Landt, Transcore. Shrouds of Time-The history of RFID [EB/OL].  
[Http://www.aimglobal.org/technologies/rfid/resources/shrouds\\_of\\_time.Pdf](http://www.aimglobal.org/technologies/rfid/resources/shrouds_of_time.Pdf),  
An AIM Publication, Ver.1.0, Published October 1,2001.
- [2] 沈宇超,沈树群. 射频识别技术及其发展现状[J].电子技术应用,1999(1):4-5.
- [3] [德]Klaus Finkenzeller. 射频识别(RFID)技术—无线电感应的标签和非接触 IC 卡的原理与应用[M].第二版陈大才译.北京: 电子工业出版社, 2001.
- [4] 游战清,李苏剑等编著.无线射频识别技术(RFID)理论与应用[M].北京: 电子工业出版社, 2004.
- [5] AIM Inc. WP-98/002R2. Radio Frequency Identification RFID A basic primer [EB/OL].  
<http://www.aimglobal.org/technologies/rfid/resources/RFIDPrimer.pdf>, AIM Inc. White Paper,  
Version 1.2, 2001-08-23.
- [6] AIM Inc. Frequency Forum White Paper. Draft paper on the characteristics of  
RFID-System [EB/OL].  
<Http://www.aimglobal.org/technologies/rfid/resources/RFIDcharacteristics.pdf>,  
AIM FF 2000:001 Ver 1.0, July 2000.
- [7] 邱景辉, 李在清, 宋朝晖, 陈燕. 射频自动识别技术[J]. 哈尔滨工业大学学报,  
2000:32(1):107-110.
- [8] 董彬, 崔雪梅, 常春. RFID 技术在焦化三大机车自动控制中的应用[J]. 系统与装置,  
2003:3:37-40.
- [9] 栋. Anita S. Becker. FID 技术迅速发展的关键因素是技术可接受性和互可操作性[J].  
电子产品世界, 2002:Z1:61-64.
- [10] 李元忠. 射频识别技术及其在交通领域的应用[J]. 电讯技术, 2002:5:5-9.
- [11] 张其强, 郑铭, 张其善. 远距离射频识别系统及其应用前景[J]. 中国数据通信,  
2004:01:95-98.
- [12] 沈滨. 射频识别卡的关键技术[J]. 哈尔滨铁道科技, 2001:2:13-14
- [13] 李锦涛, 郭俊波, 罗海勇等. 射频识别(RFID)技术及其应用[J]. 信息技术快报 2004 年  
11 期.

- [14] AUTO-ID 中国实验室. 射频识别 (RFID) 的定位 [EB/OL].  
<http://www.autoidcenter.cn/file/RFID.pdf>
- [15] 王志华. 无线技术中无线认证中的应用 (上) [J]. 世界电子元器件, 2002: 1: 34-35.
- [16] Jams Waldrop, Daniel W. Engels, Sanjay E Sarma. Colorwave: An Anticollision Algorithm for the Reader Collision Problems[J]. 2003 IEEE International Conference on Communications, Anchorage. NJ. USA, 11-15 May 2003.
- [17] 江贤祚编著. 天线原理[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社.
- [18] 周朝栋, 王元坤, 杨恩耀编著. 天线与电波[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1994.
- [19] [日] 藤本共荣(K. Fujimoto), [美] J.R. 詹姆斯(J.R. James) 著. 移动天线系统手册[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1997.
- [20] 正田英介主编, 吉泳淳编. 通信技术[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [21] P R Foster and R A Burberry, Antenna problems in RFID systems [J]. IEE colloquium. RFID Technology, 25 Oct. 1999, London, UK.
- [22] J. siden, P. Jonsson, T. Olsson, G. Wang. Performance degradation of RFID system due to the distortion I RFID tag antenna [J]. Proceeding of 2001 11<sup>th</sup> International Conference Microwave & Telecommunication Technology, (CriMiCo'2001) Sevastopol, Ukraine, 10-14 September 2001.
- [23] 于兴启, 蒋纯波, 赵继军等. 一种新型射频识别天线的进场分析及应用[J]. 北京邮电大学学报, 2001:24(3):31-35.
- [24] 于兴启, 沈树群, 赵继军. 一种用于射频识别的梳妆天线[J]. 无线通信技术, 2001:4:40-43.
- [25] 岳喜成, 王文骥, 王媛媛. 一种用于微波射频识别卡的圆极化微带天线[J]. 微波学报, 2003:19(1):25-28.
- [26] 王承恕编著. 通信网基础[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1999.10.
- [27] 张大伟, 张其善. 基于有限状态机的 Type A 卡防冲突技术[J]. 北京航空航天大学学报, 2003:29(6):480-483.
- [28] 张大伟, 张其善. Type B 非接触智能卡防冲突模型的设计与实现[J]. 计算机工程于应用, 2003:26:137-139.
- [29] 张井合, 吴今培, 张其善. 非接触式智能卡中防冲突技术的研究[J]. 遥测遥控, 2002:23(5):42-47.

- [30]李少锐,林德云,石长生.非接触式识别卡通信方案的比较分析[J].电路与系统学报,2000:5(3):82-86.
- [31]张纲,杨庆森,程君侠,俞军.ISO/IEC 18000-6(CD)研究综述[J].标准与技术追踪,2004:4:23-28.
- [32] AUTO-ID 中国实验室. 18000-6 总结 [EB/OL].  
<http://www.autoidcenter.cn/file/18000.doc>
- [33] Luc André Burdet. RFID Multiple Access Methods [EB/OL].  
[http://www.vs.inf.ethz.ch/edu/SS2004/DS/reports/06\\_rfid-mac\\_report.pdf](http://www.vs.inf.ethz.ch/edu/SS2004/DS/reports/06_rfid-mac_report.pdf)
- [34] Ari Juels, Ronald L Rivest, Michael Szydło. The Blocker Tag: Selective Blocking of RFID Tags for Consumer Privacy[EB/OL]. CCS'03, October 27-30, 2003, Washington, DC, USA. <http://www.rsasecurity.com/rsalabs/staff/bios/ajuels/publications/blocker/blocker.pdf>
- [35] 樊昌信,张甫翊,徐炳祥,吴成柯.通信原理(第5版)[M].北京:国防工业出版社,2002.
- [36]况志军,李正凡,熊国良.数字化校园研究与开发[J].华东交通大学学报,2003:20(3):93-95.
- [37]郑铿.读解“数字化校园”[J].南京师大学报(自然科学版),2002:25:2-5.
- [38]严新平,张安富,田虹等.关于数字化校园建设的思考[J].交通高教研究,2001:2:7-9.
- [39]张厚生,王启云.图书馆服务的无线技术——RFID 的应用[J].大学图书馆学报,2004:1:56-59.
- [40]李欣荣.RFID 在现代图书馆管理系统中的应用[J].图书馆建设,2004:5:71-74.

## 作者攻读学位期间公开发表的论文

- [1]Xiang Zhou, Gang Wang. Study on the influence of curving of tag antenna on performance of RFID system. 2004 4<sup>th</sup> International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology Proceedings, ICMMT 2004 Beijing, China, August 18-21, 2004: 122-125
- [2]周祥,宋雪桦.标签天线弯曲对射频识别系统性能影响的研究.微波学报,2005:21(增):96-100.

## 致 谢

本论文是在王刚教授的悉心指导下完成的。无论是在研究生课程学习阶段，还是在课题研究阶段，王教授渊博的学识，严谨的科学态度和敏锐的眼光无不给我留下深刻的印象。特别是那些启发式的指导更使我终生难忘。王教授不仅是我在学术上学习的榜样，更是我生活中的一位益友。其乐观的生活态度，平易近人的待人方式，简朴的生活作风也都为我的研究生生活增添许多家的感觉。另外，作为一名青年教师，王教授对于我教学方面的指导也将是我受益不浅的财富。值此机会，对于王教授给予的关怀与帮助表示深深的感谢。

同时，我要感谢我所有的同学和朋友。是你们的陪伴和帮助使我顺利地完成了整个学习过程。其中，需要特别感谢的是我的同门在我研究过程中给予的帮助和支持。正是与你们在一次次的学术交流中的碰撞，才使得我对问题的理解不断深入，不断全面。

最后我要感谢我的家人，如果没有你们无私的奉献和默默的支持，我无法完成学业，无法有机会完成这篇论文。我爱你们！

# RFID技术在物联网中应用的关键技术探讨

作者：[周祥](#)

学位授予单位：[江苏大学](#)

本文链接：[http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis\\_W027734.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_W027734.aspx)