目 录

[南通大学学位论文原创性声明 II](#_Toc421178764)

[学位论文使用授权声明 II](#_Toc421178765)

[摘要 i](#_Toc421178766)

[Abstract iii](#_Toc421178767)

[第一章 绪论 1](#_Toc421178768)

[1.1课题来源 1](#_Toc421178769)

[1.2课题研究的目的和意义 1](#_Toc421178770)

[1.3 国内外研究概况 2](#_Toc421178771)

[1.3.1 国外对手术器械管理系统的研究 2](#_Toc421178772)

[1.3.2 国内对手术器械管理系统的研究 3](#_Toc421178773)

[1.4 论文的主要研究内容 5](#_Toc421178774)

[第二章 RFID射频技术原理 6](#_Toc421178775)

[2.1 RFID原理简介 6](#_Toc421178776)

[2.2 RFID应用介绍 8](#_Toc421178780)

[2.3 ISO15693标签 12](#_Toc421178783)

[2.3.1 ISO15693标签的协议分析 12](#_Toc421178783)

[2.3.2 ISO15693标签常用的命令集 12](#_Toc421178783)

[2.3.3 ISO15693标签特点分析 12](#_Toc421178783)

[2.3 本章小结 12](#_Toc421178783)

[第三章 手术器械管理系统架构原理分析与设计 13](#_Toc421178784)

[3.1 系统整体结构规划设计 13](#_Toc421178785)

[3.2 RFID标签选型以及系统相关要求参数说明 15](#_Toc421178788)

[3.3 天线分布与设计概述 13](#_Toc421178786)

[3.4 RFID阅读部分概述 15](#_Toc421178788)

[3.5 工控机概述与应用介绍 15](#_Toc421178787)

[3.6 本章小结 23](#_Toc421178794)

[第四章 系统硬件部分 24](#_Toc421178795)

[4.1 射频前端电路设计 24](#_Toc421178796)

[4.1.1 发射电路设计 15](#_Toc421178788)

[4.1.2 接收电路设计 15](#_Toc421178788)

[4.2 FPGA编解码电路设计 25](#_Toc421178797)

[4.2.1 FPGA原理简述与系统FPGA芯片选型 15](#_Toc421178788)

[4.2.2 编解码电路的Verilog设计 15](#_Toc421178788)

[4.2.3 编解码电路的软件仿真 15](#_Toc421178788)

[4.2.4 编解码电路的外围电路 15](#_Toc421178788)

[4.3 MCU逻辑控制电路设计 29](#_Toc421178798)

[4.3.1 MCU原理简述与系统MCU芯片选型 30](#_Toc421178799)

[4.3.2 MCU电路 32](#_Toc421178800)

[4.3.3 MCU外围电路 33](#_Toc421178801)

[4.4 MCU与FPGA编解码电路接口设计 37](#_Toc421178803)

[4.5 本章小结 45](#_Toc421178806)

[第五章 系统软件部分 24](#_Toc421178795)

[5.1 MCU软件设计 24](#_Toc421178796)

[5.1.1 C语言与单片机C51内核简介 15](#_Toc421178788)

[5.1.2 MCU软件框架设计 15](#_Toc421178788)

[5.1.3 MCU核心部分的代码实现 15](#_Toc421178788)

[5.1.2 抗冲突部分的饿代码实现 15](#_Toc421178788)

[5.2上位机软件的设计 25](#_Toc421178797)

[5.2.1 Qt技术简介 15](#_Toc421178788)

[5.2.2应用程序软件设计思想和方法 15](#_Toc421178788)

[5.2.3 上位机操作界面的设计 15](#_Toc421178788)

[5.2.4 后台控制程序的设计 15](#_Toc421178788)

[5.3 上位机与MCU的通信协议设计 29](#_Toc421178798)

[5.4 数据库的设计 29](#_Toc421178798)

[5.4.1 数据库技术简介与系统数据库选型 30](#_Toc421178799)

[5.4.2 数据库SQL技术 32](#_Toc421178800)

[5.4.3 数据库表的结构设计 33](#_Toc421178801)

[5.4.4 系统在Qt中数据库的使用 33](#_Toc421178801)

[5.5 本章小结 45](#_Toc421178806)

[第六章 系统安全可靠性研究与改进 24](#_Toc421178795)

[6.1 可靠性研究原理简介 24](#_Toc421178796)

[6.2 系统的可靠性分析与改进 15](#_Toc421178788)

[6.2.1 系统的安全可靠性分析 15](#_Toc421178788)

[6.2.2 系统的相关可靠性改进 15](#_Toc421178788)

[6.3 本章小结 45](#_Toc421178806)

[第七章 结论与展望 47](#_Toc421178807)

[7.1结论 47](#_Toc421178808)

[7.2展望 47](#_Toc421178809)

[参考文献 49](#_Toc421178810)

[英文缩写词表 51](#_Toc421178811)

[作者在攻读硕士学位期间公开发表的论文及参加的项目 52](#_Toc421178812)

[A：在期刊上发表的论文 52](#_Toc421178813)

[B：参加的项目 52](#_Toc421178814)

[致 谢 53](#_Toc421178815)

创新点：

1. RFID技术应用于手术器械管理，技术应用上的创新；
2. 软件设计上的创新：系统软件架构上的设计和一些算法上的创新；
3. 硬件设计上的创新：系统采用FPGA编解码加MCU控制处理使得系统更加稳定可靠；
4. 系统安全可靠性设计：采用可靠性分析系统的安全可靠性，并采用相关方法提高可靠性。

基于ISO 15693芯片的RFID手术器械管理系统的研制

研究生：陆志峰 学科专业：通信与信息系统（RFID技术应用）

指导教师：景为平研究员

# 摘要

随着智能化、网络化生产生活的普及和生活质量的提高，促使人们对医疗设备提出更高更智能化的要求，促使了高新技术在医疗设备制造行业的普及，一方面提高了医疗设备的智能化水平；另一方面也增加了医疗设备的复杂性，对其安全性和可靠性提出了更高的要求。尤其是在手术过程中，规范的管理和使用手术器械，不仅是保障医师正常进行手术的基础，也是保证病人生命安全的必要条件，更是给手术中器械管理人员以及器械管理软件系统提出了越来越高的要求。

根据一些调查和研究结果显示，在手术中手术异物遗留（RSIS）导致手术失败的比例占绝大多数。特别是在高难度的手术中，由于参与手术的医疗人员比较多，使用的手术器材同样是多种多样，并且手术过程高度紧张，手术时间相当紧迫，争分夺秒；另外由于纱布和某些手术器械完全浸没与血肉间，给肉眼识别带来极大的困难。即便是在有多名医疗器械管理人员，对手术器械进行清点的情况下，发生手术器械残留在病人体内的案列也是屡见不鲜。因此给病人的健康，乃至生命带来极大的威胁。

本文针对手术异物遗留（RSIS）的难题，提出了基于ISO15693射频标签的射频识别(RFID)手术器械管理系统。将ISO15693射频标签内置在手术器械中，采用三通道天线协调工作的RFID阅读器完成对手术器械的登记录入、回收统计和寻找扫描。借助Qt图形界面应用程序开发框架，实现对手术器械管理系统的上位机操作界面的设计。实验表明系统能够稳定、快速、准确地实现对手术器械使用和回收的智能化管理，有效地防止了手术器械遗留问题的发生，给手术安全提供了更加高效可靠的保障。

关键词：RFID；RSIS；ISO15693射频标签；手术器械；Qt

**Design of the RFID Operating Instruments Management System Based On ISO15693 Electronic Tags**

POSTGRADUATE:Lu zhifeng

SPECIALIZATION: Application of RFID

Directed by Prof.Jing Weiping

### Abstract

With the popularity of intelligent, networked production life and improving of quality of life, encouraging people to put forward higher and more intelligentized medical equipment, and promoting the high and new technology in the medical equipment manufacturing industry. On the one hand this improved the intelligent level of the medical equipment; On the other hand this added the the complexity of medical equipment, puted forward higher requirements on its safety and reliability. Especially in the operation process, and the use of standardized management of the medical equipment, is also a necessary condition to ensure the patient safety, it is put forward higher request to the operation medical equipment management personnel and software management of the medical equipment system.

According to some investigation and research, the Retained surgical items(RSIS) lead to the failure has the most proportion in the surgery. Especially in difficult surgery, as a result of the operation of the medical personnel is more, the use of surgical equipment is also varied, and the operation process, operation time is pressing, race against time. Because the gauze and some other surgical instruments total immersion and flesh and blood,it is difficult to identify by the naked eye. Even server medical equipment management personnel to count the surgical instruments, there are some case of the RSIS occuranced.All this bring great threat to the patient's health and life.

In order to solve the problem of retained surgical items (RSIS), the paper proposed a radio frequency identification (RFID) operating device management System based on ISO15693 electronic tags. The Surgical devices contains the ISO15693 electronic tags and the RFID reader having three channels cooperating to achieve the surgical instruments’ registration, recycling and scanning. Using Qt GUI application development framework to design the upper computer’s operation interface of the operating device management System. Experiments show that the system can stably, accurately and timely accomplish the intelligent management of the operation devices’ using and recycling, in order to prevent the problem of RSIS, actually the system can provide more reliable safeguard for The safety of operation. System now has the capability of practical application and is going on the medical application promotion.

**Key words:** RFID;RSIS;ISO15693 RFID Tag; Surgical devices;Qt

### 第一章 绪论

### 1.1课题来源

本课题来源于低功耗射频识别标签芯片研制，江苏省科技支撑计划-工业部分（重点），项目编号BE2013008-3。

### 1.2课题研究的目的和意义

根据一些调查和研究结果显示，在手术中异物遗留导致手术失败的比例占绝大多数。特别是在高难度的手术中，由于参与手术的医疗人员比较多，使用的手术器材同样是多种多样，并且手术过程高度紧张，手术时间相当紧迫，争分夺秒；另外由于纱布和某些手术器械完全浸没与血肉间，给肉眼识别这些纱布带来极大的困难。即便是在有多名医疗器械管理人员，对手术器械进行清点的情况下，发生手术器械残留在病人体内的案列也是屡见不鲜。因此给病人的健康，乃至生命带来极大的威胁。

2012年9月《纽约时报》报道了一位女士因手术异物遗留造成严重伤害的案例。数据显示，从2005年至2016年，联合委员会警讯事件数据库共收到772例手术异物遗留事件报告，其中造成16人直接死亡。这表明手术异物遗留给患者不仅带来了不必要的伤害和疼痛的折磨，甚至直接威胁到他的生命安全。在医患关系如此紧张的今天，手术异物遗留问题必须引起我们的重视。要解决手术异物遗留的问题，就在于对手术中手术器械的使用和回收进行科学、严格管理，杜绝任何手术器械遗漏的情况发生。通过调研发现,目前在国内的医院手术中，为防止手术器械（如纱布、手术剪刀、血管钳等）遗留在病人体内，采用严格的三人四次清点制度，完全依赖人工清点与回收，这不仅增加了手术的复杂度和管理成本，而且不能对手术中使用的所有器械进行统一规范的管理统计。

面对这样的困境和难题，发挥RFID技术的优势，并对手术器械的使用和回收做校验的设计理念，在手术器械中运用RFID技术来识别、追踪和定位手术器械可以大大减少意外的发生，确保手术器械完全回收无遗漏，使得器械管理员的工作更简单和安全。这不仅可以重整医疗保险事业的信心，也给病人的人身安全提供了一道有力的保障。

### 1.3 国内外研究概况

### 1.3.1 国外对手术器械管理系统的研究

目前RFID技术在医疗领域的运用是多方面的，其在医疗领域的运用，提高了医院的管理效率及治疗效率，产生良好的经济效益和社会效益。

从全球RFID技术在智能手术器械管理系统的研究来看，美国的公司对于智能纱布系统的研究，设计极其应用都走在了世界的前列。目前，已经主要有三家美国公司相继推出了自己的产品，这三家公司分别是RF Surgical Systems Inc，Patient Safety Technologies Inc和ClearCount Medical Solutions。

RF Surgical Systems Inc一个医疗设备公司，总部在华盛顿的贝尔维尤，该公司的产品叫RF Assure Detection System X，包含了两个部分：带有1bit标签的纱布和扫描检测系统。该系统采用的是传输可靠，非电离性的低频无线电波去探测被标记的纱布，与传统的RFID技术相比，运用低频的目的是为了信号强度的穿透性好，包括对人体组织，血液，骨骼和附近金属的穿透性，最终也减少海绵留在病人体内的风险。医生能通过该检测系统判断出纱布是否存在于患者体内，然而其局限性在于不能判断出纱布的具体数目以及读取距离不远。

Patient Safety Technologies Inc为一家位于加州的医疗器材公司，其主要产品領域为维护病患安全之用品。该公司的the Safety-Sponge System 产品，可用来计算手术时医材消耗量与使用情況，主要由三部分所組成：带有条码的手术用手术器械、手术次数计数器(扫描器)，以及资料处理系统。它运用小型化的移动电脑为手术室提供了一个实时计数的功能，该扫描系统一直在不断地扫描计数，能够告诉手术人员某种特定类型的海绵是否存在或者失踪， 给手术安全提供了保障。然而其局限性在于，对于手术时记录的信息比较少，没有较多的查阅内容。

ClearCount Medical Solutions 公司位于宾州，其销售产品为Smart Sponge系统，其主要用途也是用来监测手术进行当中，医用耗材的使用量与情况。该系统是由内带有RFID感测器的耗材(纱布、手术器具等)，在手术前中后使用RFID扫描器确认其序号，以及是否在正确的位置。据称，SmartSponge System，即智能纱布系统，它是全球首个能够对手术中使用的纱布和海绵进行探测，设别，读取和计数的RFID系统。这个SmartSponge系统可以读取和记录拥有唯一ID号的每个海绵，无论它是用于病人还是被移除处置了。这个系统通过使用无线电波信号的射频识别标签来标示自己，在血液与组织中依然能够找到失踪的标记过得海绵，这为手术安全带来了可靠的保障。其推广的局限性在于生产的成本较高，目前还没有被大规模运用。

### 1.3.2 国内对手术器械管理系统的研究

国内对于射频识别技术的研究起步相对于国外来说是较晚的，各个区域间的发展也相对不平衡。本世纪初以来，我们国家对RFID技术进行系统地研究并且在大力发展。目前，我国内地的RFID产业链的雏形也已经基本建设了，主要集中在上海、北京、深圳等地区，其中上海以芯片研究设计为主(例如上海华虹、复旦微电子等)，而深圳则以大力发展了封装、应用方面(如远望谷、先施等)，北京则将主要的精力放在系统集成方案等方面。

目前在国内手术医疗中，很注重医疗手术中器械的管理和使用。由于国内的医疗设备制造行业，较之国外顶尖级的医疗设备制造商，还有很大的差距，导致国内手术过程中器械的使用主要依赖人工清点核对。通过对国内医院手术过程的调研发现，特别是胸腔类手术，为确保器械的规范使用，防止器械遗留在病人体内，避免医疗事故与纠纷，手术中采用严格的“三人四次”清点制度。对清点的时机，负责清点的人员都做了严格的规定。其中清点纱布的人员有医师助手、医疗器械护士和巡回护士三人组成，然后分四次完成清点工作，并对清点的方法，清点的时间，及其清点时候所要注意的具体事项。如此一来，增加了手术过程中的人员用工成本，操作和管理成本。

国内对于智能手术器械管理方面的研究也主要集中在广东地区，已经有一些公司企业对此进行了深入的研究，并开发出了相应的产品，例如粤发实业有限公司研制出的主要用于医院手术的超高频智能电子纱布标签。然而，由于技术方面的原因，整体的产品性能比较平庸，并没有体现出对于生命安全监测的高可靠性和稳定性。还有另外一家规模较大的公司——深圳市新元素医疗技术开发有限公司，成立于2005年，是一家集医疗、IT和服务于一体，拥有自主知识产权、自有品牌的，专业从事医疗信息化系统集成、系统方案解决、医疗设备生产与经营、医疗相关技术开发与投资的国家高新技术企业、国内远程医疗的领先企业。他们通过与大型医院合作建设“网络保健中心与健康小屋”的网络医院，并以此为基础，进一步与各类优质健康服务机构合作提供延伸的健康服务，为个人提供自我健康管理的工具和服务支持。公司的产品叫做电子纱布系统，能够准确地统计手术前带进手术室的纱布总数，计算手术过程中丢掉废弃纱布的数量，统计手术完成后未使用的剩余纱布数量，并且能够探测出体内残余纱布的数量以及它们在体内的位置。该系统使用先进的RFID电子标签技术，在纱布内部植入一个大小与一枚硬币相当、厚度不超过4毫米的小型电子标签，与普通纱布几乎无异。特制的电子纱布桶能够扫描、统计与识别这种电子纱布。总体来说，我国对于智能纱布系统的研究相对来说还是很薄弱的，任重而道远。

在这几年来，虽然国内运用RFID技术在各个领域取得了较大的进步，但是RFID技术运用于医疗手术器械管理领域还有很多需要研究探索的方面。到目前为止，RFID技术在中国仍然处于一个初级起步的阶段，而对于医疗行业的运用，特别是智能纱布系统这一研究方向上更是处于萌芽阶段，其发展的空间，市场和潜力都是十分巨大的，前景诱人。

### 1.4 论文的主要研究内容

本文提出了一种基于ISO15693射频标签的射频识别（Radio Frequency Identification, RFID）手术器械管理系统。系统以RFID技术为核心，结合高效的微处理器（Microcontroller Unit, MCU）、精准的复杂可编程逻辑器件（Complex Programmable Logic Device, CPLD）和友好的Qt图形交互界面，实现了一个稳定、高效的智能化手术器械管理系统。通过对手术器械使用和回收的智能化管理，能够达到有使用就有回收的标准，为手术器械的管理带来了极大的帮助，有效地避免了手术过程中异物遗留问题的发生。

第一章绪论对论文的课题来源、研究意义及国内外针对手术器械管理的医疗设备的研究动态做出概述，指出了本文的主要工作内容和研究目标，同时给出本文的组织结构。

第二章介绍RFID射频技术原理，以及RFID的一些相关应用。并结合ISO15693标签的协议标准和命令集分析其相关特性。

第三章结合系统设计开发的生命周期，以从上到下的设计理念，给出手术器械管理系统各部分的组成和整体架构，并对各个部分分别进行了简要分析和描述。

第四章具体介绍了手术器械管理系统硬件部分（RFID阅读部分）的设计。并分成射频前端电路、FPGA编解码和MCU逻辑控制电路三部分以及之间的连接部分进行详细分析和介绍。

第五章具体介绍了手术器械管理系统软件部分的设计。总体分为MCU端的软件和安装在工控机上的上位机控制软件。介绍的过程中顺带介绍了应用的相关技术和知识，可以使读者更快更易读懂。在第三小节还介绍了专门设计的上位机与MCU通信协议。

第六章介绍了在整个手术器械管理系统设计完成之后，根据一些可靠性检测的理论，对系统的准确度和可靠度进行了优化设计。

第七章作为总结和展望部分，对本文所完成的任务做了总结，指出了本文的工作量、创新点和取得的成果，并且提出了今后需要做的工作和下一步努力的方向。

### 第二章 RFID射频技术原理

### 2.1 RFID原理简介

射频识别(RFID)，又称为无线射频识别技术，是无线电频率识别的简称，即通过无线电波进行识别。它是一种通信技术，即可以通过无线电讯号来识别目标，并进行相关数据读写，获取存放在目标内的电子数据信息，却不需要识别系统和所识别目标之间建立机械或者光学上的接触，整个过程通过无线通信来实现。

2.1.1 射频识别系统构成

采用射频识别技术的射频识别系统一般由两个部分组成：

(1)应答器，即标签芯片，放在被识别的物体上。应答器是射频识别系统的数据载体。通常，应答器由耦合元件以及微电子芯片组成。

(2)阅读器，一种可以读写标签芯片的装置。它通过发送请求命令，并等待应答器的应答，对应答信号进行读取。另外，许多阅读器还会附加各种接口，以便将从应答器读取的数据传输给上级系统，如个人计算机等。

图1-1所示为RFID系统的基本单元，右边为具备耦合元件的阅读器，左边为含有耦合元件的应答器，二者通过各自的耦合元件建立起无线通信，通过电磁耦合的方式实现能量传输以及数据传输。



图1-1 RFID系统简图

2.1.2 射频识别系统分类

根据不同的分类标准，RFID系统可以有多种分类，以下是几种比较常见的分类。

1.根据标签的供电方式

根据标签供电方式的不同，行业将标签分为有源标签和无源标签。有源标签指的是在标签内部自身含有电池，标签的工作用电由电池供应。这样的RFID系统称为主动射频系统。有源标签适合远距离、高速度读写数据，而且可以主动发送射频信号和阅读器进行通信。但是此种标签体积大、价格高，而且使用寿命受限于电池而较短。无源标签则是内部没有电源，主要通过耦合阅读器的射频信号来获取能量。此种RFID系统也称为被动射频系统。无源标签读写距离较短，但是其体积小、价格低且使用寿命较长。

2.根据RFID系统工作频率

根据RFID系统的工作频段分，可以分为四种：低频系统（30-300KHz）、高频系统（3-30MHz）、超高频系统（300-2.45GHz）和微波系统（2.45GHz以上）如表所示。

表2-1 RFID芯片分类

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 低频 | 高频 | | 超高频 | 微波 |
| 工作频率 | 125~134KHz | 13.56MHz | JM13.556MHz | 868~915MHz | 2.45~5.8GHz |
| 市场占有率 | 74% | 17% | 0% | 6% | 3% |
| 读取距离 | 1.2m | 1.2m | 1.2m | 4m（美国） | 15m（美国） |
| 速度 | 慢 | 中等 | 很快 | 快 | 很快 |
| 潮湿环境 | 无影响 | 无影响 | 无影响 | 影响较大 | 影响较大 |
| 方向性 | 无 | 无 | 无 | 部分 | 有 |
| 全球适用频率 | 是 | - | 是 | 部分（欧盟、美国） | 部分（非欧盟国家） |
| 现有ISO标准 | 11784/85、14223 | 18000-3/1  14443 | 18000-3/2  15693，A,B和C | EPC C0，C1,C2，G2 | 18000-4 |
| 主要应用范围 | 进出管理、固定设备，洗衣店 | 图书馆、产品跟踪、货架、运输 | 空运、邮局、医药、烟草 | 货架、卡车、拖车跟踪 | 收费站、集装箱 |

其中，在低频系统中常用的频率为125KHz和134KHz，适合近距离的场合，如门禁、动物耳标等。高频系统中常用的频率为13.56MHz，适合信用卡、资产管理等。超高频系统常用的频率为860MHz-915MHz，适用于远距离场合工作，例如车辆跟踪，物流管理等。微波系统中一般工作频率为2.45GHz和5.8GHz，比较适合较远距离的场合，高速公路收费系统等。

3.根据标签的存储器类型

根据标签存储单元的类型一般将RFID系统划分为：只读型、一次写入、多次重复读写。只读型为标签在出厂时信息已经固定，对于用户来说只能够读取标签信息，但是无权修改。该系统可用于门禁物流管理等。一次写入标签只允许用户写入数据一次，一旦写入后不得修改，只可读。此种系统一般用于资产管理等贵重物品管理。多次重复读写标签允许用户可以任意次读写标签数据，此类系统一般用于信用卡服务等。

2.1.3 RFID标签

RFID标签具有条形码所不具备的防水、防磁、耐高温、使用寿命长、读取距离大、标签信息加密、存储数量容量大、存储信息可更改等优点。常见的RFID标签如图所示：



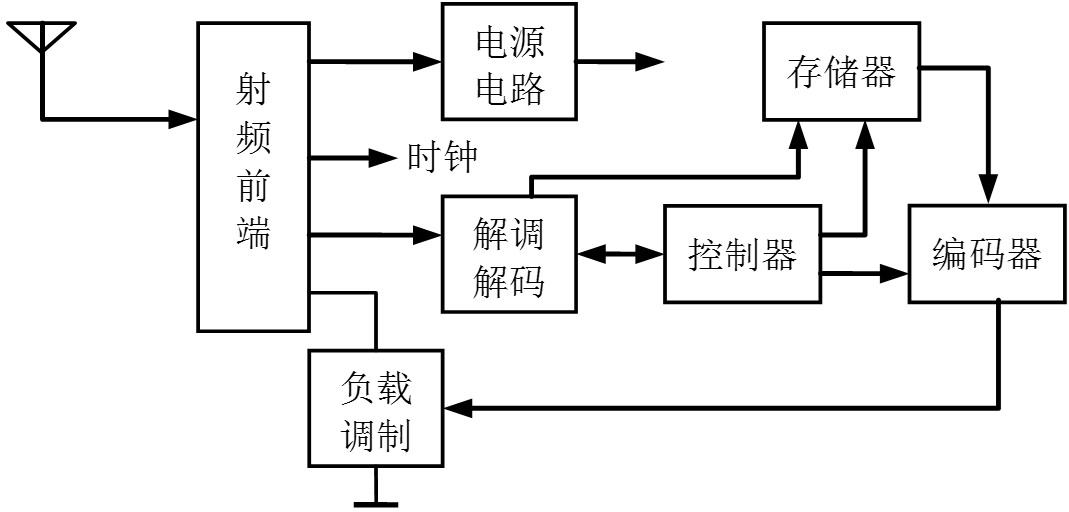
RFID标签主要性能参数：

* + 工作频率
  + 读/写能力
  + 编码调制方式
  + 数据传输速率
  + 信息数据存储容量
  + 工作距离
  + 多应答器识读能力（亦称防碰撞或防冲突能力）
  + 安全性能（密钥、认证）等。

RFID标签的内部结构主要是RFID芯片和天线组成，具体如图所示：



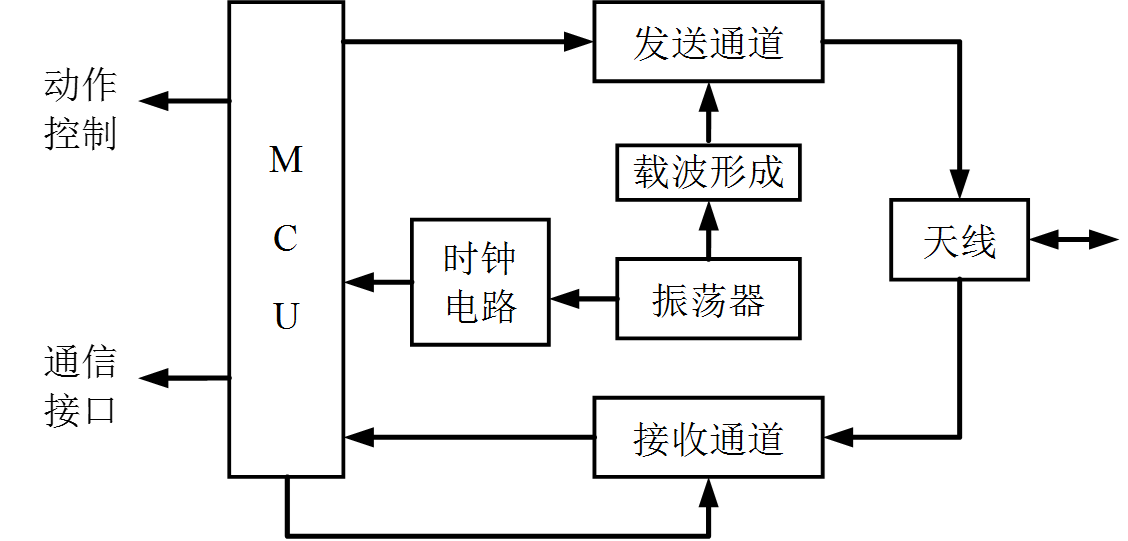
RFID芯片内部电路主要由射频前端的接收和发射电路、电源电路、逻辑控制电路和存储器件组成。基本结构如下图所示：



2.1.4 RFID阅读器

一台典型的阅读器包含高频模块（发送和接收器）、控制单元以及与标签的耦合元件。此外，许多阅读器还都有附加的接口（RS232、RJ45、WIFI等），以便将获取的数据向更高层系统传送。

阅读器的电路组成如图：



阅读器的功能

* 1. 以射频方式向应答器传输能量；
  2. 从应答器中读出数据或向应答器写入数据；
  3. 完成对读取数据的信息处理并实现应用操作；
  4. 若有需要，应能和高层处理交互信息。

常见的阅读器如图：



### 2.2 RFID应用介绍

目前射频识别按载波频率分为低频（LF）、高频（HF）、超高频（UHF）和微波（MW）。因为不同波段的无线电波具有不同特性，各个频段的射频识别具有不同的应用场景。

低频的频率主要为：125kHz和134.2kHz。由于该频段在金属和液体背景下有较好的性能，目前主要应用于动物体内外标签，门禁及危险品钢瓶，蔬菜水果肉类运输标签。常用只读形式，也有少量读写芯片。该类芯片通常不加密。高频的频率主要为：13.56MHz。由于该频段天线简单体积小，有加密，主要用于证票类，一般为读写卡。该卡又分逻辑卡和CPU卡。逻辑卡是最常用，如身份证，门票，交通卡，它的简化版用于一次性车票，如铁路客票。由于高度信息安全CPU卡将用的越来越多，如身份证，交通卡，银行卡，而逻辑卡则逐步退到门禁等领域。在这个频段还有由于手机支付等应用的NFC（短距离无线通信）。超高频的频率主要为：433MHz和915MHz。常用于于有源形式。有十几米的识别距离。915MHz也常有无源形式，物流和车牌用的多。微波的频率主要为：2.45GHz、5.8GHz。该频段都为有源。识别距离远，方向性好。2.45GHz常用于集装箱，和水路。5.8GHz常用于道路收费。

### 2.3 ISO15693标签

目前，国际上有许多针对RFID芯片的协议。分别在不同的频率范围内都有相应的协议规范。在13.56MHz的频率下，有ISO/IEC-14443系列、ISO/IEC-15693等协议，各种协议下的RFID标签芯片可以适用在不同的场合。本文用到的RFID芯片是一款满足ISO/IEC-15693协议的高频芯片，在现代生活中，可以应用在产品供应链管理、图书管理、防伪等领域，具有广泛的应用市场。

### 2.3.1 ISO15693标签的协议分析

阅读器(Vicinity Coupling Device，VCD)和标签芯片（Vicinity Card，VICC）的通信采用命令帧格式传输。表3-1为VCD到VICC的请求命令帧格式，帧格式包括帧头SOF（Start of Frame），请求标志（Flag），命令码（Command），若干参数（Parameter）与数据（Data），最后是CRC（Cyclic Redundancy Check）校验和帧尾EOF（End of Frame）。根据每条命令的不同，帧格式中的参数和数据也不同。VICC到VCD的响应帧格式比请求帧格式中少了命令码项，其余部分格式相同。

表3-1 请求命令帧格式

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| SOF | Flag | Command | Parameter | Data | CRC | EOF |
|  | 8 bits | 8 bits | m bits | n bits | 16 bits |  |

注: m、n 均为8的非负整数倍

协议规定了其通信命令帧的编码模式也有多种。以下简要介绍芯片通信的编码模式。

VCD到VICC的通信编码模式

VCD到VICC的通信编码模式有两种，一种是256取1，另外一种是4取1，两种编码模式通信速率不同，适用的场合也不同[33]。

1. VCD到VICC的SOF编码

如图3-2所示，为SOF的两种编码模式，上面的是256取1编码的SOF，下面一种为4取1编码的SOF，两种编码方式都是在第一个开始的9.44us产生一个暂停（pause）状态，并且都总共持续了两个37.76us。不同的是第二个pause产生的位置不同，从图中可以看到256取1的编码方式是在最后，不同于4取1编码。

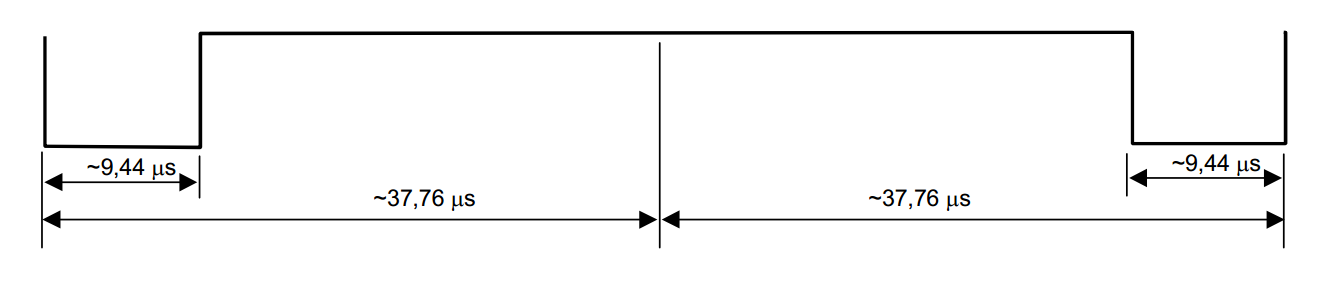
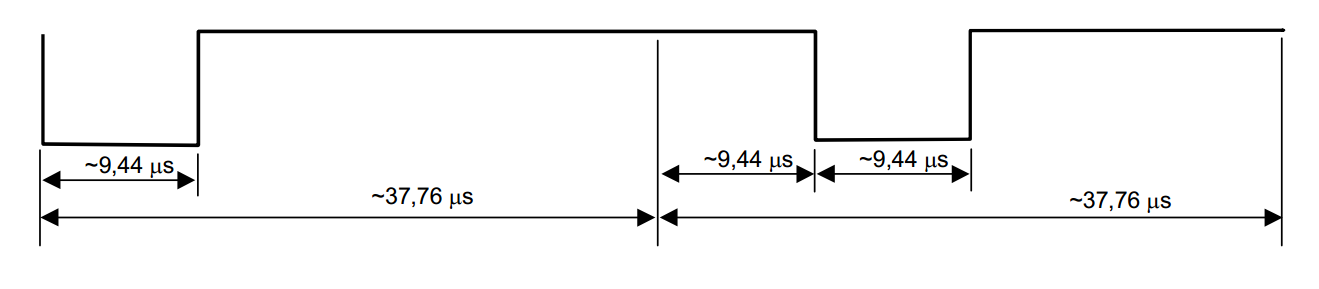
 

图3-2 VCD到VICC的SOF编码

2. VCD到VICC的EOF编码

这里的EOF编码，无论VCD采用何种编码方式，EOF只有一种形式，如图3-3所示。从图中可以看出，pause产生在倒数第二个9.44us处。

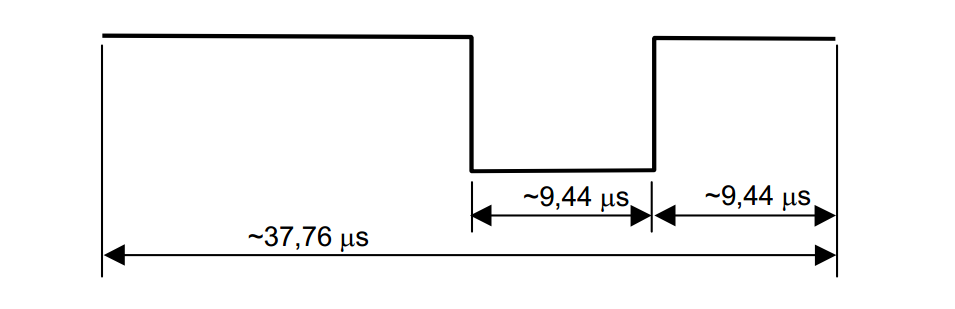


图3-3 VCD到VICC的EOF编码

3.VCD到VICC的数据编码

(1)256取1编码模式

此种编码模式采用一个字节产生一个pause的位置的方式来表示被编码的字节。所以，每次编码为一个字节，在256个连续的18.88us中，通过被编码的字节的数值，决定pause产生的位置。如数据“E1”，其十进制位225，则在第225个18.88us的后半部分产生一个pause，如下图所示。这样传输一个字节需要4.833ms，数据速率为1.54kbits/s。

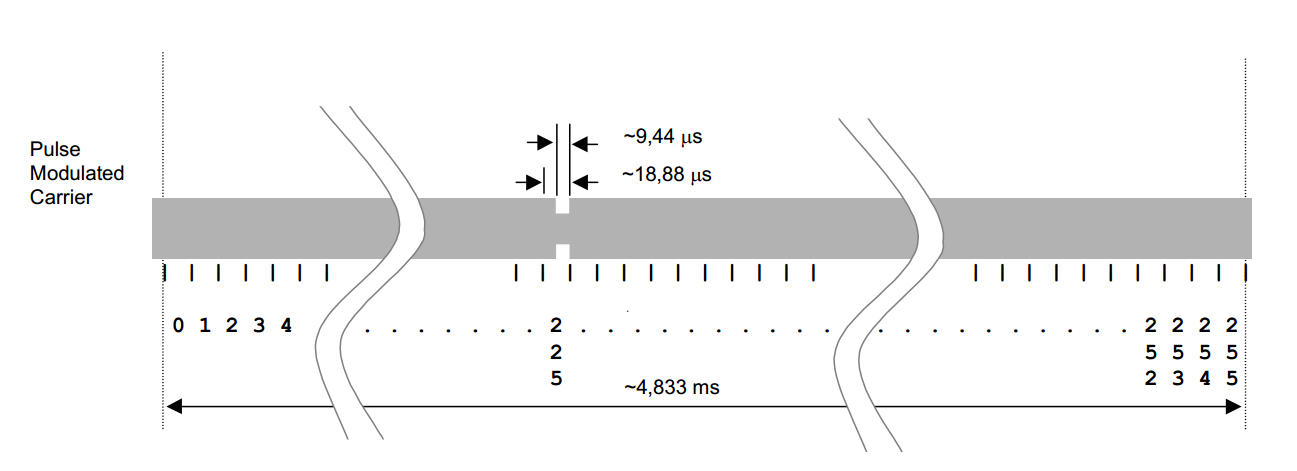


图3-4 256取1编码模式图

(2)4取1编码模式

此种编码方式为每2bits编码，在连续4个18.88us中，根据2bits值来决定产生pause的位置，如图3-5所示。从图中可以看到，如果被编码的2bits为“00”，则在第0个18.88us的后半个位置处产生一个9.44us的pause，其余编码依次类推。这种编码模式一个bit需要2个18.88us，所以数据速率为26.48kbits/s。

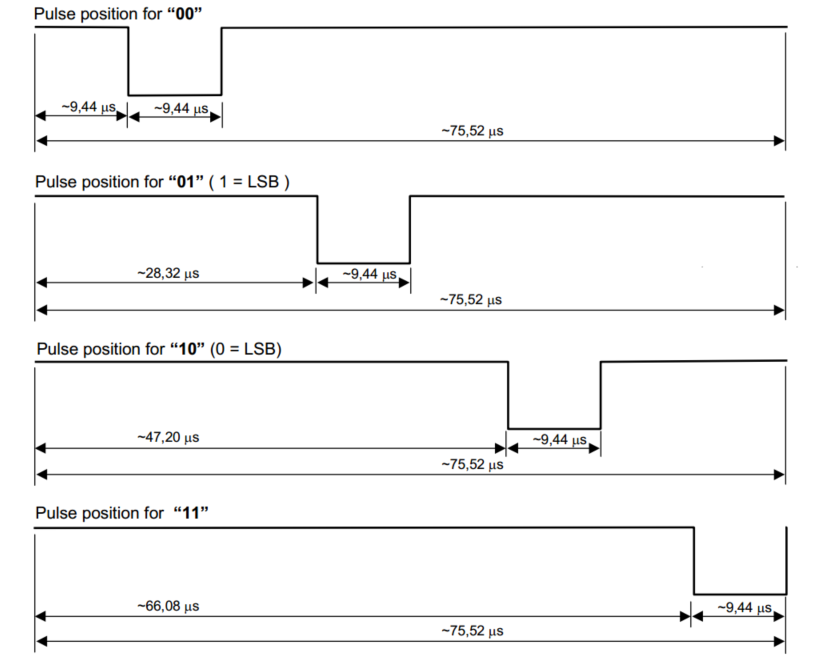


图3-5 4取1编码模式图

VICC到VCD的通信编码模式

从VICC到VCD的通信采用负载调制，通过载波来产生需要频率的副载波。在通讯中，有VCD控制VICC选择使用一种或者两种副载波，当使用一种副载波时，频率fs1为fc/32，当使用两种副载波时，其另外一种副载波频率fs2为fc/28。另外，VCD还可以通过请求命令的flag配置VICC的返回采用高速通信还是低速通信，下面介绍VICC到VCD的编码方式均是高速通信的编码方式，对于低速编码方式，则使用同样的副载波，但是脉冲数是原来的4倍[33]。

1.VICC到VCD的数据编码

VICC到VCD的数据编码采用曼彻斯特编码，如图3-6所示。图上半部分是逻辑0的编码，以频率fs1的8个脉冲开始，接着是约18.88us的非调制时间。而下半部分是逻辑1的编码，与逻辑0的编码恰好相反。所以一个bit传输的时间是37.76us，即通信速率为26.48kbits/s。这是采用单副载波的编码，对于双副载波，即是对非调制部分，采用频率fs2的9个脉冲进行调制。计算得出传输速率为6.67 kbits/s。以下双副载波编码方式同样如此，不在赘述，仅介绍单副载波模式。

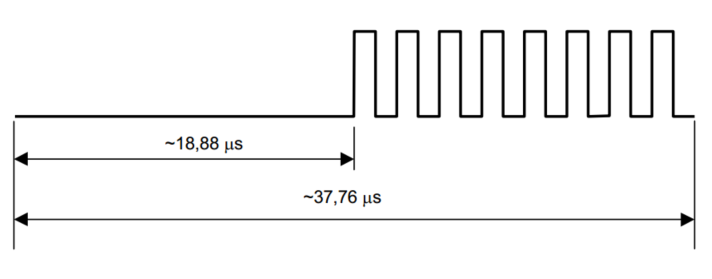
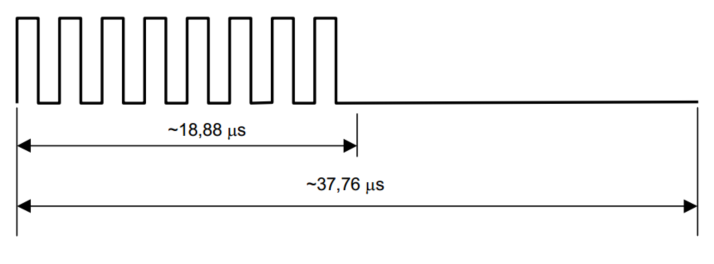


图3-6 VICC到VCD的单副载波数据编码

2.VICC到VCD的SOF

如图3-7所示，SOF包含三个部分，分别是一个56.64us的非调制时间、频率为fs1的24个脉冲和一个逻辑1。

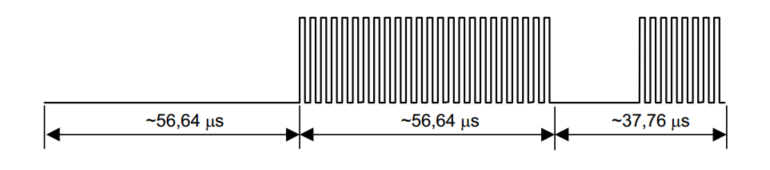


图3-7 VICC到VCD的单副载波SOF

3.VICC到VCD的EOF

如图3-8所示，EOF也包含三个部分，分别是一个逻辑0、频率为fs1的24个脉冲和一个56.64us的非调制时间。

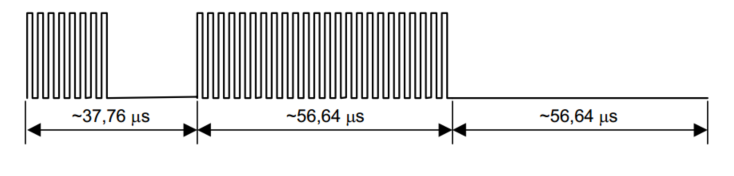


图3-8 VICC到VCD的单副载波EOF

### 2.3.2 ISO15693标签常用的命令集

标签在场强中工作，与阅读器的通信执行不同的动作是通过不同的命令来实现的，即3.2节中表3-1所描述的命令帧中的Command，也就是说，一个标签必须具备一个命令集。ISO/IEC-15693协议就规定了一系列的命令集以及扩充命令集的规则。表3-3就是15693协议所规定的命令集。

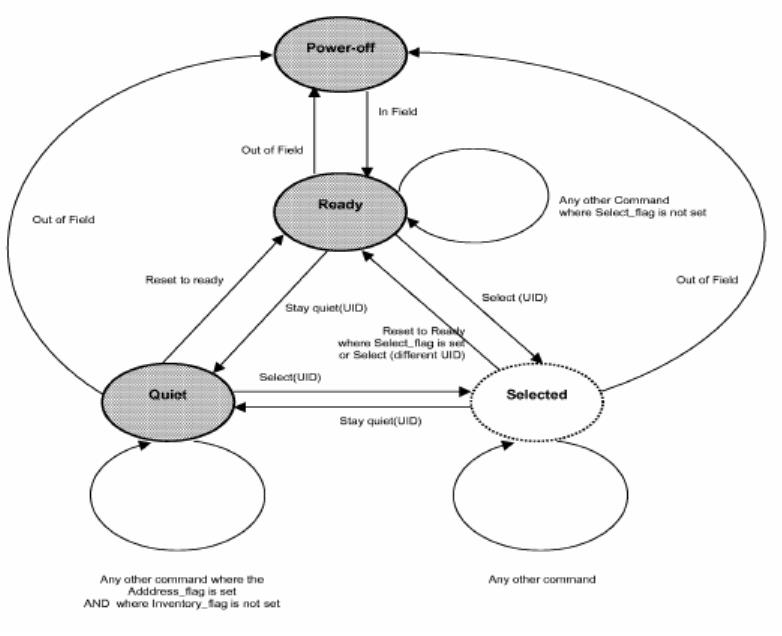
表3-3 15693协议命令集

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 命令码 | 类型 | 功能描述 |
| 01 | 强制 | 寻卡 |
| 02 | 强制 | 标签进入静默状态 |
| 03-1F | 强制 | 留作以后使用 |
| 20 | 可选 | 读单个块数据 |
| 21 | 可选 | 写单个块数据 |
| 22 | 可选 | 锁单个块数据 |
| 23 | 可选 | 读多个块数据 |
| 24 | 可选 | 写多个块数据 |
| 25 | 可选 | 标签进入选择状态 |
| 26 | 可选 | 标签进入复位状态 |
| 27 | 可选 | 写AFI数据 |
| 28 | 可选 | 锁AFI数据 |
| 29 | 可选 | 写DSFID数据 |
| 2A | 可选 | 锁DSFID数据 |
| 2B | 可选 | 获取标签信息 |
| 2C | 可选 | 获取标签多个块安全状态 |
| 2D-9F | 可选 | 留作以后使用 |
| A0-DF | 定制 | IC 制造商决定 |
| E0-FF | 私有 | IC 制造商决定 |

上表中，第一列为命令编码，使用一个Byte来表示，第二列为命令的类型，第三列为命令的功能描述。首先是01和02命令，是强制命令，也就是凡是满足此协议的标签芯片必须支持这两条命令。而03-1F命令也是强制命令，但是协议还没有规定功能，只是用来以后的协议扩充使用。20-2C这些命令对于标签芯片是可选择的。2D-9F同样留作以后使用。

### 2.3.3 ISO15693标签特点分析

ISO15693标签工作频率为：13.56MHz±7kHz，属于高频标签。ISO15693标签具有一个8字节共64bit的全球唯一序列号(UID),这个UID一方面可以使全球范围内的标签互相区别，更重要的是可以在多标签同时读写时用于防冲突。ISO用一个字节的AFI (Application family identifier)来区分不同行业中的电子标签。AFI的高半字节表示主要行业，低半字节表示主要行业中的细分行业。15693国际标准还规定了一个字节的可选的数据存储格式识别符(DSFID)，用来区分标签中不同的数据存储格式。如果标签支持DSFID，在清点命令中标签将返回一个非零的DSFID，读写器可据此判断射频场中的标签是否具有期望的数据格式。电子标签的内存最大可达8K字节，以数据块(Block)为单位进行管理，标签内最多可以有256个数据块，每个数据块最大可以有32字节。数据块的内容可以锁定以防止修改。标签具有4个相互转换的状态：Power off状态：在标签未进入到有效磁场区域时标签处于Power off状态；Ready 状态：被激活后选择表示未设立时，处理任何请求；Quiet 状态：不处理任何标签清点指令，可接受直接寻址的命令；Select状态：仅响应选择标识符设置的请求。



综合来看此波段的特点为：读取距离在10cm到1m不等，芯片具有抗冲突特性，用于读取环境具有多张标签，距离适中的场景。典型应用包括：电子车票、电子闭锁防盗（电子遥控门锁控制器）、小区物业管理、大厦门禁系统、物联网系统等。

### 2.3本章小结

本章开头从RFID原理开始分析和介绍，大体从RFID系统的组成、RFID的分类、各个频段RFID芯片和阅读器研究介绍，让读者对RFID系统原理和组成有一个大体的了解。后面对本文要用到的ISO15693协议进行了分析和研究，分析了协议中的编码解码规定，以及标签与阅读器之间的通信方式的规范，并结合ISO15693芯片的命令集含义进行介绍，这些重要的协议内容有助于后面对文章标签阅读部分的理解和依据。最后分析了ISO15693标签的物理特性和应用场景，变相的说明了本文手术器械管理系统为何选用ISO15693RFID标签的原因。本章总体上介绍了什么是RFID，RFID有哪些分类，RFID系统的组成，ISO15693协议规定了什么内容和为何本文选用ISO15693标签。

### 第三章 手术器械管理系统架构原理分析与设计

### 3.1 系统整体结构规划设计

手术器械管理系统的开发周期是指从该系统产生到该系统停止应用的整个周期。这里我们可以将手术器械管理系统生存周期人为的划分为：手术器械管理的问题定义阶段、手术器械管理的需求分析阶段、手术器械管理的软件架构阶段、系统的编码与测试阶段、运行和维护阶段等。

### 3.1.1 手术器械管理系统的需求分析

把手术器械管理系统的开发周期大致分为：需求分析、提出解决方案、设计实现、实施部署，测试与评估。之后如果市场、客户等对该手术器械管理系统还有其他新增的需求或者功能要求，我们将再次提出需求分析，提出解决方案…循环往复，这就是我们采用的周期模式中的迭代式模式，每次“迭代”都会产生一个可以发布的产品。手术器械管理系统开发遵循的迭代思想可以用下图展示：

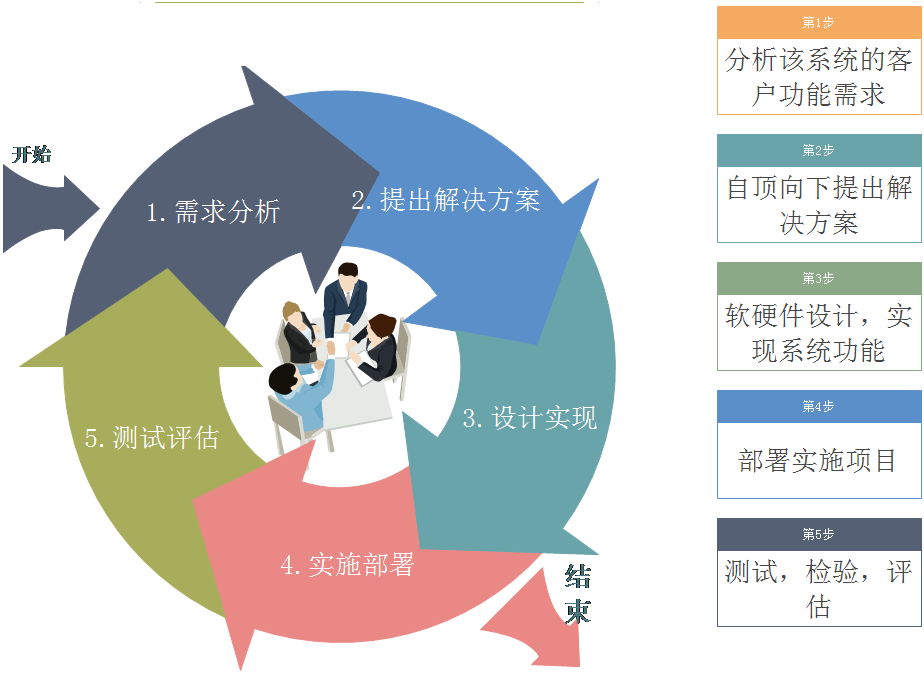


图2-1 手术器械管理系统设计周期

识别需求是该手术器械管理系统生命周期的最初阶段。需求分析主要是指理解用户的需求，整理出系统的功能，并尽量满足用户所提出的要求。然后我们需要评估开发该系统的风险系数，以及所需要的成本和代价，最终生成一份开发计划。就该手术器械管理系统而言，这个阶段的主要任务是确认需求，研究项目的可行性，分析自身具备的条件，分析投资和收益比等。

从客户的角度出发确认需求，手术器械管理系统要求能够准确记录进入无菌区的手术器械和所使用的手术器械，确保没有手术器械残留与病人体内，并给用户提供友好美观的交互界面；可行性方面，借助RFID追踪技术可以实现多手术器械的追踪和定位，并借助Qt技术实现对众多纱布信息的管理以及为用户提供友好和美观的操作界面；我们实验室已经具备独立设计完成RFID标签芯片和阅读器的能力，可以整合本实验室的RFID方面的技术，完成智能纱布系统的设计，并将其推广到市场上，实现其市场价值。

### 3.1.2 手术器械管理系统系统框图

在详细分析了智能纱布系统需求之后，我们便要设计该系统的解决方案。由于整个手术器械管理系统涉及的方面很多，功能非常的复杂，不管是系统的硬件方面还是软件方面都有各自的差异性。比如软件系统上既有面向底层硬件的接口程序，又有面向高级应用的面向对象程序；而硬件方面及存在数字电路又有射频模拟电路等。自顶向下的设计方法是开发复杂系统的推荐方法，对于此复杂的智能纱布系统的设计我们一般采用自顶向下的设计方法，先制定高层规划，将系统分割成若干模块，从高层规划向下逐步细化，下图2-2详细展示了手术器械管理系统各个模块功能和之间的关系。

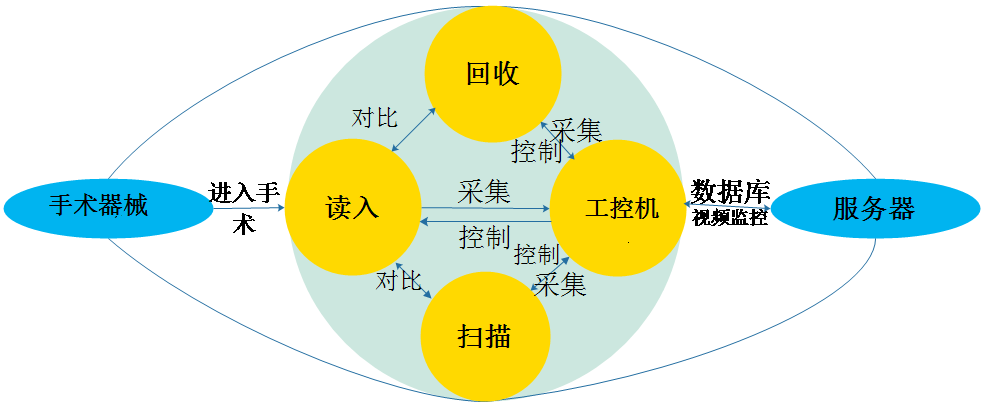


图2-2 自顶向下设计规划系统框图

遵循自顶向下和模块化的设计思想，增强了系统的可扩展性和通用性，如上图所示，将手术器械管理系统各个部分构成划分为以下：嵌入有RFID标签的手术器械，基于自动识别的RFID阅读器手术器械读入部分，用于处理废弃手术器械的回收处理系统，检测意外遗留在病人体内手术器械的扫描部分，以上部分都是由安装在工控机上Qt开发的上位机软件来协调和控制。

### 3.1.3 手术器械管理系统的实现方案

设计实现阶段的工作是提出手术器械管理系统解决方案后工作的延续。针对上述需求，本文提出了一种基于ISO15693射频标签的RFID手术器械管理系统。系统以射频识别（RFID）技术为核心，结合微处理器（MCU）的高效，利用复杂可编程逻辑器件（CPLD）的精准，凭借Qt友好的图形交互界面，最终实现了一个稳定、高效的智能化手术器械管理系统。通过对手术器械使用和回收情况的智能化管理，达到有使用就有回收的标准，为手术器械的使用和回收管理带来了极大的帮助，有效地避免了手术过程中异物遗留问题的发生。

手术器械管理系统主要由内嵌射频识别标签的手术器械、读卡机系统、工控机等部分组成。阅读器系统由三通道天线、射频前端模块、CPLD编解码模块、MCU控制模块组成，主要完成对射频识别标签的登记录入、回收统计和寻找扫描。天线完成发射和接收磁场信号，射频前端模块实现电信号与磁场信号的相互转换，CPLD编解码模块负责将通信数据根据ISO15693协议进行编码和解码，MCU控制模块控制硬件电路的逻辑动作并与上位机进行通信。工控机端安装了Qt开发的上位机程序，通过RS232串口与读卡机系统通信，显示系统的操作管理界面并完成数据处理和分类。手术器械管理系统整体结构框图如下：



### 3.2 RFID标签选型以及系统相关要求参数说明

根据第二章中对RFID标签分类的介绍可知，RFID标签可以分为四种：低频系统（30-300KHz）、高频系统（3-30MHz）、超高频系统（300-2.45GHz）和微波系统（2.45GHz以上）。这四种因其工作频率的不同各有各的特性，因此适用的场合也不同。本系统根据相关实际应用需求进行选型。

### 3.2.1 手术器械管理系统的相关参数要求

手术器械管理系统整个设计的使用过程如下：手术开始打开手术管理系统，点击操作界面的登记录入按钮，将手术器械使用前在登记录入天线处扫描录入，器械使用完后扔进回收桶中。手术结束后点击回收按钮，系统自动统计回收桶中的器械。根据系统显示结果判断，如果有未回收的遗漏器械，点击扫描按钮用扫描天线去病人身体部位探测寻找，快速定位遗漏器械的位置。手术器械管理系统适用场景要求能够准确记录进入无菌区的手术器械和所使用的手术器械，确保没有手术器械残留与病人体内。在登记录入天线、回收桶天线和扫描天线处读取RFID时都会出现同时读取多张标签的情况，另外扫描天线需要读取距离在50cm左右这样才能确保整个人身体部位都能被读取，但读取距离又不能太远这样整个手术室内的标签都会被读取。总体上来说手术器械管理系统的参数要求为：1.能够同时读取多张RFID标签及RFID的抗冲突特性；2.读取距离小于70cm，其中扫描天线读取距离大于50cm。

### 3.2.1 手术器械管理系统的RFID标签选型

四种RFID标签一些应用特点如下：

1.低频系统中常用的频率为125KHz和134KHz，不具备抗冲突特性，适合近距离的场合，如门禁、动物耳标等。

2.高频系统中常用的频率为13.56MHz，具备抗冲突，读取距离适中，适合信用卡、资产管理等。

3.超高频系统常用的频率为860MHz-915MHz，具备抗冲突，适用于远距离场合工作，例如车辆跟踪，物流管理等。

4.微波系统中一般工作频率为2.45GHz和5.8GHz，具备抗冲突，比较适合较远距离的场合，高速公路收费系统等

根据上一节分析的手术器械管理系统的相关参数要求：1.能够同时读取多张RFID标签及RFID的抗冲突特性；2.读取距离小于70cm，其中扫描天线读取距离大于50cm。只有高频系统适用，所以选取ISO15693协议的RFID标签，作为手术器械管理系统的工作RFID标签用来标识和跟踪手术器械。

### 3.3天线分布与设计概述

### 3.3.1手术器械管理系统天线设计的基本要求

手术器械管理系统的阅读器和手术器械内的电子标签之间的电感耦合主要通过天线间的耦合来实现，以此来传输能量与信息，手术器械管理系统阅读器天线设计的好坏直接影响到阅读器与手术器械内的电子标签之间的耦合效果。由于手术器械管理系统的天线用于产生磁通量，给手术器械内的电子标签提供电源使其正常工作。因此，对智能纱布阅读仪天线的设计有几个基本要求：

1）线圈天线的电流尽可能大从而产生最大的磁通量；

2）功率匹配良好，最大限度的利用阅读器传输的能量；

3）足够的带宽，使得载波信号能正常传送。

在设计手术器械管理系统时，对手术器械管理系统的阅读器的识别距离是有要求的。影响手术器械管理系统识别距离的主要因素有:

1) 手术器械管理系统的阅读器和纱布内的电子标签天线的几何尺寸；

2)天线的匹配电路设计；

3)天线与匹配电路的品质因数；

4) 手术器械管理系统的阅读器天线的输入功率；

5)内外环境的影响。

### 3.3.2系统天线的结构

手术器械管理系统的天线也是工作于13.56MHz，是利用电感耦合型的RFID系统，目前，市场上流通的阅读器的天线都普遍采用线圈型结构，主要是利用了其结构简单，成本较低的特点。常见的线圈型天线有圆形和矩形（PCB平面印制），天线的匝数，印制的层数，可能是单匝层，也可能是多匝层结构的。两种主要的结构如图2-10所示：

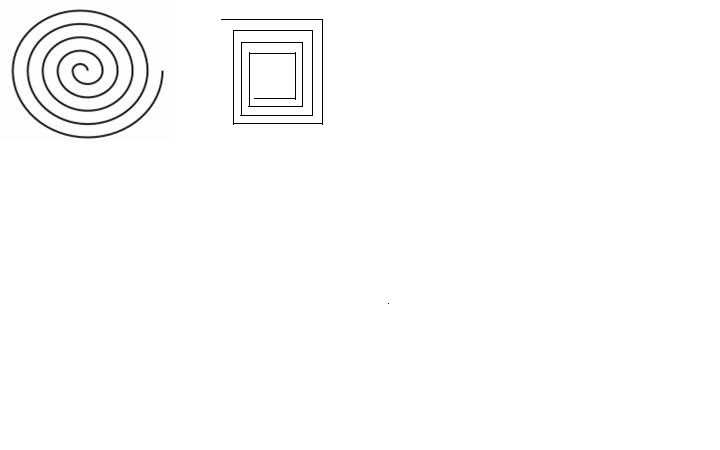


图2- 10阅读器天线的主要结构

### 3.3.3 天线尺寸的理论分析

工作于13.56MHz的手术器械管理系统的线圈天线，其工作波长22.12m远大于其电尺寸，可归为小环形天线。我们可以通过对小环形通电导体磁场分布特点的研究，得到阅读器天线的磁场强度及其可能的影响因数。

由安培定律克制：电流流经一段导体时在导体周围产生磁场，如图2-11所示。

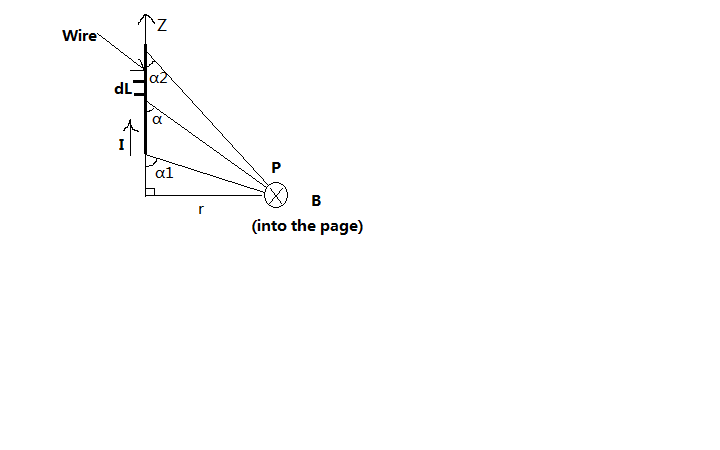


图2- 11导线处产生的磁场

磁感应强度大小的表达式如下：

 (2.10)

可知，当电流流经一段导体时，会在导体周围产生磁场，磁场的磁感应强度大小与流经导体的电流I成正比，与距导体的半径r成反比。

根据毕奥-萨伐尓定律：

 (2.11)

可得出，在距离天线线圈中心垂直距离为r处的磁感应强度B的大小为：

 (2.12)

又因为R2=r2+a2，代入上式2.16，得到图2-12中点p处的磁感应强度的大小为：

 (2.13)

式中，μ0为真空磁导率，r为离线圈中心的垂直距离， a为线圈边长，I为电流值，N为线圈匝数。

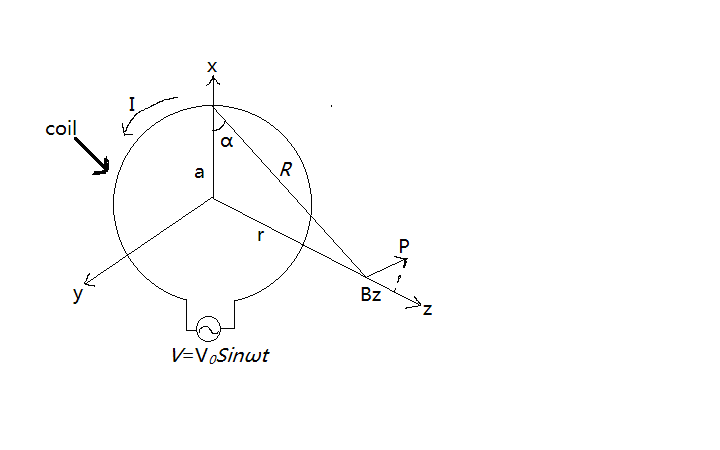


图2- 12环形线圈的磁场

由上式可知，当r<<a的的时候，其范围内的磁感应强度基本上没有变化；当r=0时，表达式也可化简为：

 (2.14)

当r>>a的时候，表达式可以化简为：

 (2.15)

由上式可知，在r>>a时，，磁感应强度的衰减与距离r3成正比。其关系如图2-13所示：

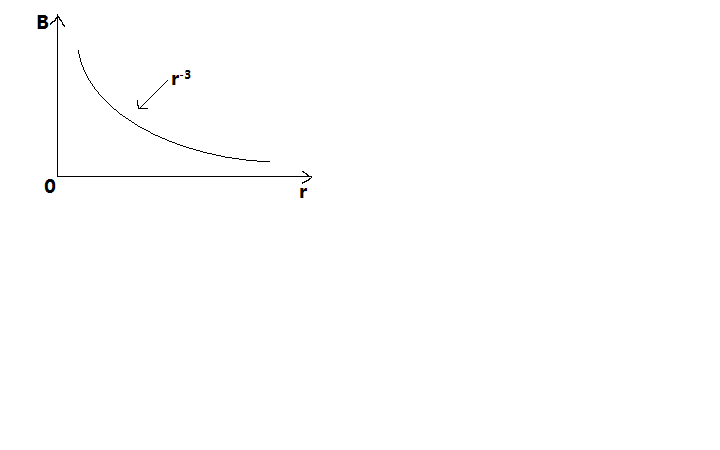


图2- 13磁感应强度与距离的关系

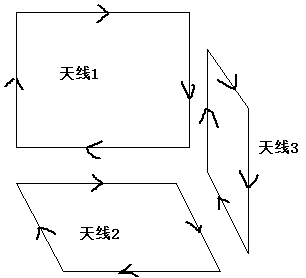
由上图可知，从线圈中心到一定距离的磁场强度差不多是变化很小，然后迅速衰落。这就意味着: 对于手术器械管理系统阅读器来说，可识别距离都会对应着一个最佳的天线边长a。我们来做如下的推导计算，在式2.13中，将B对a求导得出以下等式：

 (2.16)

并且令可以计算得出B具有极大值时的条件为，由此得出，手术器械管理系统天线的最佳边长值等于最大期望阅读作用距离的倍，其中的正负号表示天线产生的磁感应强度在垂直于线圈轴的两个传播方向。

### 3.3.4 天线具体分布和形状

手术器械管理系统天线总共有三组天线组成：登记录入天线、回收桶天线和扫描天线。该手术器械管理系统的登记录入天线获取未使用的无菌纱布部分和扫描天线扫描残留纱布分布都采用的是，单组圆形或者方形线圈天线。回收桶天线为确保手术器械中的RFID标签，不管以任何角度，认识姿态，摆放在桶内的任何位置，都能被读取到，所以回收桶四周布置了三组线圈天线，实现对纱布回收桶全方位，无死角的覆盖，达到回收桶中没有盲区的效果。回收桶天线效果图如图所示。



### 3.4工控机概述与应用介绍

### 3.4.1 工控机的概念

工控机（Industrial Personal Computer，IPC）即[工业控制计算机](http://baike.baidu.com/view/1115231.htm)，是指对工业生产过程及其机电设备、工艺装备进行测量与控制用的计算机。工控机通俗地说就是专门为工业现场而设计的计算机。工控机如图所示。



工业控制计算机是工业自动化和信息产业基础设备的核心。传统意义上，将用于工业生产过程的测量、控制和管理的计算机统称为工业控制计算机，包括计算机和过程输入与输出通道二部分。但今天工业控制计算机的内涵已经远不止这些，其应用范围也已经远远超出工业过程控制。因此，工业控制计算机是应用在国民经济发展和国防建设的各个领域、具有恶劣环境适应能力、能长期稳定工作的加固的增强型个人计算机（PC），因此也简称工控机。

工控机之所以大受欢迎，其根本原因在于PC的开放性。其硬件和软件资源极其丰富，并且为工程技术人员和广大用户所熟悉。基于PC的控制系统，所以20%以上的增长速率，并且硬件成为DCS，PLC未来的参照物。

### 3.4.2 工控机的特点

工控机是一种加固的增强型个人计算机，它可以作为一个工业控制器在工业环境中可靠运行。早在20世纪80年代初期，美国AD公司就推出了类似工控机的MAC150工控机，随后美国IBM公司正式推出工业个人计算机IBM7532。由于工控机的性能可靠、软件丰富、价格低廉，在控制系统中异军突起，后来居上，应用日趋广泛。目前，工控机已被广泛引用通信、工业控制现场、路桥收费、医疗、环保及人们生活的方方面面。

工控机是根据工业生产的特点和要求而设计的电子计算机，它应用于工业生产中，实现各种控制目的、生产过程和调度管理自动化，已达到优质、实时、高效、低耗、安全、可靠、减轻劳动强度、改善工作环境的目的，它是自动化仪表的重要分支，也是电子计算机的重要分支。它主要用于工业过程测量、控制、数据采集等工作。而工业现场一般具有强烈震动灰尘多、电磁场力干扰等特点，且一般工厂均是连续作业，即一年中一般没有休息。因此，工控机与普通计算机相比具有以下特点：

1. 可靠性高。工控机通常用于控制不间断的声场过程，在运行期间不允许停机检修，一旦发生故障将会导致质量事故，甚至生产事故，因此要求工控机具有很高的可靠性。
2. 实时性好。工控机对生产过程进行实时控制与监测，因此要求它必须实时地响应控制对象各种参数的变化。
3. 环境适应性强，工业现场环境恶劣，电磁干扰严重，供电系统也常受大负荷设备启停干扰，因此要求工控机具有很强的环境适应能力。
4. 系统扩展性好。随着工厂自动化水平的提高，控制规模也在不断扩大，因此要求工控机具有灵活的扩展性。
5. 软硬件兼容性。能同时利用ISA和PCI及PICMG资源，并支持各种操作系统，多种编程语言，多任务操作系统，充分利用商用PC所积累的软、硬件资源。

### 3.5.3 工控机的应用

随着铁路多次提速，原来应用在车站计算机连锁系统、行车调度监督系统以及铁路红外热轴探测系统上，现在已经开始用新一代Compact PCI总线和PXI总线工控机控制;由于电力紧缺而正在加快建设的发电厂和电网系统，需要大量的新一代工控机产品来实现电力系统综合自动化;正在迅速发展的智能交通系统需要新一代工控机技术;纺织工业制造业、食品加工、石油化工行业、车载信息系统等需要采用新一代工控机技术。海军舰载测控设备、陆军车载武器控制系统和指挥系统、新型的飞行模拟教练系统等需要高性能的新一代工控机;航空和航天器地面测控设备、雷达识别和电子对抗系统需要新一代工控机技术;核电站的核聚变低杂波数据采集与控制系统、大专院校的虚拟仪器教学实验系统、汽车功能测试性能测试系统、防洪数字化大坝在线监测系统等需要新一代工控机技术;下一代的网络设备、电信核心和边缘设备、数据通信设备、计算机电话集成(CTD系统和增值服务业务需要Compact PCI、PICMG2.16及ATCA等新一代工控机技术。

手术器械管理系统正是在这样的背景下考虑到工控机的可靠性高、实时性好、环境适应性强等优点，决定在系统控制处采用工控机作为控制软件的安装硬件，来实时可靠地控制整个手术器械管理系统。

### 3.5本章小结

本章在第一节根据系统的开发流程从系统需求分析开始介绍了手术器械管理系统需要实现的效果和功能，然后提出了手术器械管理系统的理论整体框图和规划，最后具体介绍了理论框图具体实现的方法和用到的相关技术。第二节介绍了上一节提及手术器械内嵌的RFID标签，从手术器械管理系统的实际需求的参数角度来解释了选择ISO15693RFID标签的原因。第三节介绍了手术器械管理系统天线相关的设计和原理。第四节介绍了手术器械管理系统涉及到的工控机的概念、优点和应用场景，变相地解释了手术器械管理系统选择工控机的原因和优势。

### 第四章 系统硬件部分

上一章介绍了系统的整体结构和各个组成部分，本章着重介绍手术器械管理系统的硬件电路部分。系统的硬件电路主要是RFID阅读器的三个部分：射频前端模块、CPLD编解码模块和MCU逻辑控制模块。MCU逻辑控制模块负责RFID阅读器的工作逻辑控制和将采集的信息上传至上位机程序；CPLD编解码模块依据ISO15693协议实现MCU和射频前端电路之间通信的编码和解码；射频前端电路对发射信号进行调制和放大，对接收信号进行整形滤波和解调。本章准备从阅读器的射频前端电路设计、FPGA编解码电路设计和MCU逻辑控制电路设计三部分来介绍。

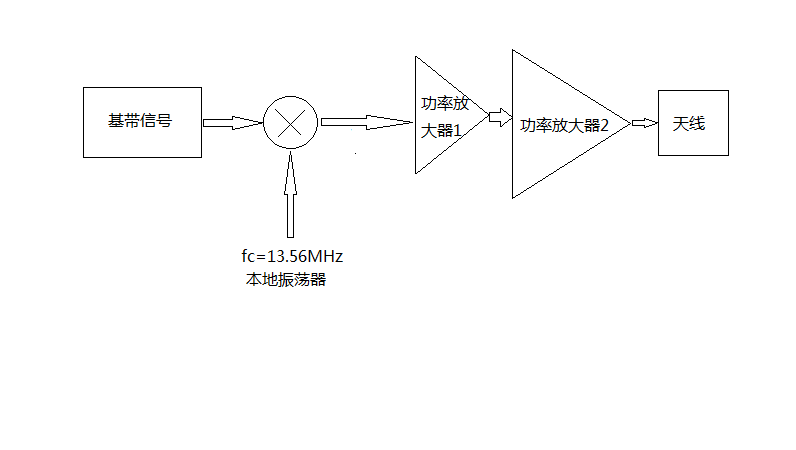
### 4.1 射频前端电路设计

射频前段电路分为发射和接收电路两部分，均采用分立元件设计，使得硬件电路更加简单、成本更低而且性能更稳定。

### [4.1.1 发射电路设计](#_Toc421178788)

在发射电路设计中，射频前端发射电路的主要功能表现如下：首先由本地振荡器产生一个频率为13.56MHz的载波信号，本设计中采用的是稳定性好的石英晶体振荡器，接着和已经调制好的基带信号通过调制电路进行ASK调制，为了能够保证天线对于发射功率的要求，需要将信号通过功率放大电路进行放大，接着再将信号通过第二级功率放大电路进行二次放大，然后再送到天线，天线的任务就是将信息通过电磁波向电子标签发射，以确保电子标签的正常工作。

前端发射电路的发射通道主要由以下几部分构成：编码好的基带信号，本地振荡器，二级功率放大器和天线。其主要的结构图如图3-1所示：



### [4.1.2 接收电路设计](#_Toc421178788)

上一节介绍了射频前端发射电路，这小节介绍射频前端接收电路，接收电路利用AD8616芯片外接滤波器构成的两级放大滤波电路，将13.56MHz的载波信号滤除，提取出副载波信号，然后利用MAX9142双路比较器对提取的副载波信号进行规整和优化。其中AD8616芯片具有低失调、低噪声、极低的输入偏置电流和高速度的特性，配合滤波器可以完整高效的提取出副载波信号。双路比较器MAX9142具有低功耗、高速度、满摆幅特点可以快速稳定的对信号进行整形和优化。接收电路部分重要电路如图所示。



### [4.2 FPGA编解码电路设计](#_Toc421178797)

### [4.2.1 FPGA原理简述与系统FPGA芯片选型](#_Toc421178788)

### [4.2.2 编解码电路的Verilog设计](#_Toc421178788)

### [4.2.3 编解码电路的软件仿真](#_Toc421178788)

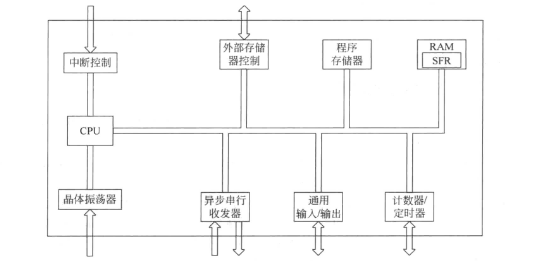
### [4.2.4 编解码电路的外围电路](#_Toc421178788)

### [4.3 MCU逻辑控制电路设计](#_Toc421178798)

MCU逻辑控制电路主要负责将通过串口接收上位机传来的操作命令，解析后转成对应的ISO15693协议上的通信帧发往FPGA编码；将FPGA解码好的标签返回数据包装成与上位机通信的协议返回到上位机中。整个系统中起到了逻辑控制和判断的作用。

### [4.3.1 MCU原理简述与系统MCU芯片选型](#_Toc421178799)

从字面上来说，单片机一词中的“单片”是指一个芯片，“机”是指小型计算机系统。这个小型计算机系统的功能部件主要包括中央处理单元、程序存储器、随机访问存储器、中断系统、定时器/计数器、外部设备接口模块，以及连接各个功能部件的总线。



1.中央处理单元

中央处理单元(central processing unit，CPU)是单片机系统的大脑和中枢，它可以完成下面最基本的功能:

（1）与不同地址空间的不同类型存储器交换信息。通过对存储器的读和写操作.完成CPU和存储器的信息交换过程。

(2)执行逻辑和算术指令。基本和常用的指令包括加/减运算、逻辑按位或运算、逻辑按位与运算、逻辑按位异或运算、移位运算等。更具体地说，CPU是由一些更小的子系统构成。这些重要的子系统包括:

1)程序计数器

PC ( program counter)指向保存将要执行的下一条程序指令的存储器地址。然后，通过读操作，从PC所指向的存储器的地址获取具体的指令内容。指令中包含着操作码和操作数。

如果在执行指令的过程中，并不是顺序地执行指令，如遇到跳转指令，那么PC将加载新的所要运行指令的地址，从而从指向存储器新地址的位置继续执行程序。

2)指令译码单元

从实现的本质来说，指令译码单元就是一个复杂的有限自动状态机(finite state machine, FSM)，它用于对来自程序存储器的指令内容进行翻译。从而确定将要执行的指令，这些指令表示CPU将要执行的逻辑操作行为。实际上，这些逻辑操作行为就是一系列的控制序列。

3)算术逻辑单元

ALU(arithmetic logic unit)是CPU中最为重要的核心单元。通过指令译码单元发出的控制信号，将需要操作的数据从寄存器、存储器中取出，并被送到ALU，然后执行所要求的算术运算或者逻辑运算。

4)控制寄存器和状态寄存器组

对于CPU来说，其内部的控制寄存器组用于设置CPU的工作模式;而状态寄存器组用于反映CPU当前的工作状态，如CPU执行加法运算的过程中，是否出现溢出、进位等。

2.程序存储器

程序存储器用于保存将要执行的程序代码。通常地，程序存储器是非易失性的，即一旦将程序固化到存储器中，除非重新固化程序到存储器中，否则程序将一直保存在存储器中。即使给单片机断电，在下次上电时，原来固化在程序存储器中的程序仍然存在。

从工艺来说，大多数单片机的程序存储器采用Flash 工艺，极少数的单片机采用一次可编程（one-time-programmable，OTP）工艺。当采用Flash工艺时，设计者可以多次修改和固化程序;当采用()TP工艺时一旦程序固化，设计者就再也没有机会修改程序。

3.随机访问存储器

RAM(random access memory)存储器保存着在程序中所需要用到的数据。

4.中断系统

中断系统用于CPU对紧急事件的处理。当CPU正在执行当前的程序时，如果外部设备发出了紧急事件的请求，也就是通常所说的中断请求信号时，如果CPU允许立即处理当前紧急事件，则打断当前正在执行的程序，从而对紧急事件进行处理，也就是通常所说的用于处理紧急事件的程序，即中断服务程序。

当CPU开始对外部紧急事件进行处理时，会通过中断系统通知外部设备CPU已经开始处理紧急事件。这样，外部设备会做出相应的判断。

5.定时器/计数器

在单片机中，定时器/计数器单元是一个最基本的功能单元。通过这个单元。可以对不同事件进行同步。典型的，当定时器中的计数值到达预先设置的初值时，就会产生定时器中断信号。通过这个信号，就可以同步其他设备。

6.外部设备接口模块

不同单片机厂商所提供的外部接口模块也不尽相同。但是，基本上都提供了通用IO(general purpose input and output，GPIO)和RS-232接口等。

7.总线

总线是一组相关逻辑信号的集合。目前大多数计算机系统都是基于总线的结构，总线包括控制总线、地址总线和数据总线。

对于单片机系统来说，总线分为内部总线和外部总线。其中:

(1)内部总线用于连接芯片内各个模块单元。

(2)外部总线用于将外设连接到单片机上。

选择一款单片机，选型的原则包括:

(1)在产品交付后，是否需要修改设计，即将来是否需要使用应用在线编程的产品升级方法。

(2)在设计阶段对系统进行调试和仿真时所需要的调试和仿真环境。

(3)单片机的价格成本。

(4)单片机的工作环境要求。

(5)单片机的封装形式。

(6)单片机的工作频率。

(7)单片机内的程序存储器容量。

(8)单片机的片内RAM容量。

(9)在满足上述要求的前提下，优先选用片内外设资源丰富的单片机。

根据实际手术器械管理系统的阅读器工作需求，从市场中挑选了STC的一款性价比较高的IAP15W4K61S4单片机，具有30MHz的最大处理器频率，保证其能够快速的完成ISO15693协议中的抗冲突算法，实现快速准确识别多张标签的要求。

### [4.3.2 MCU电路设计](#_Toc421178799)

单片机通过MAX232串口芯片实现与工控机串口通信。在与FPGA编解码模块通信时利用单片机自带的外部中断机制，将单片机中断设置为下降沿触发，FPGA设计成上升沿触发，实现一个方波信号传递一位数据的快速稳定的通信方法。单片机采用P1.2、P1.3、P1.4、P1.5、P3.5、P3.2、P3.3这7个端口与FPGA完成通信，其中P3.2和P3.3为单片机的外部中断0和外部中断1引脚。单片机考虑到稳定性和可靠性采用外部24MHz晶振。各个引脚的意义如下：

SW1——SW4：用于切换三组天线的标志

coder\_en: 给FPGA的编码使能信号

code\_out: 给FPGA发需要编码的数据口

FPGA\_rst: FPGA复位信号

decode\_en:FPGA给MCU的解码使能信号

NRZ: FPGA将解码后的数据返回至MCU

clk\_coder: FPGA编码时，MCU向FPGA发数据的同步信号

clk\_decoder: FPGA解码时往MCU传数据的同步信号

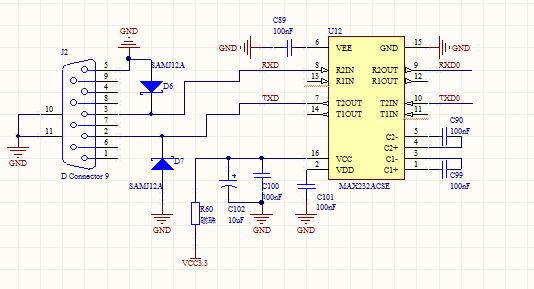
MCU电路图如图所示。



### 4.3.2 MCU外围电路设计

MCU外围电路主要是串口电路。手术器械管理系统的阅读器需要与上位机软件进行数据通信，采用最常用的串口作为通信接口，具有稳定、快速、设计简单等优点。串口电路采用MAX232芯片作为收发器，其专用低压差发送器输出级在供电电压为3.0v至5.5v之间时，利用双电荷泵实现真正的RS-232性能。电荷泵起高压仅需四个0.1uf的外部小尺寸电荷泵电容。MAX232在最差工作条件下，可以确保达到120kbps数据速率，同时输出电平能够保持RS-232输出电平。

MAX232据有二路接收和二路驱动器，提供1µA关断模式，有效降低功耗，在关断模式下接收器保持有效状态，对外部设备进行检测，仅消耗1µA电源电流，为测试仪与上位机之间数据传输提供了稳定的通道。串口电路如下图。



### [MCU与FPGA编解码电路接口设计](#_Toc421178803)

单片机采用P1.2、P1.3、P1.4、P1.5、P3.5、P3.2、P3.3这7个端口与FPGA完成通信，其中P3.2和P3.3为单片机的外部中断0和外部中断1引脚，并设成下降沿触发。

P1.2 coder\_en: 给FPGA的编码使能信号

P1.3 code\_out: 给FPGA发需要编码的数据口

P1.5 FPGA\_rst: FPGA复位信号

P3.5 decode\_en:FPGA给MCU的解码使能信号

P1.4 NRZ: FPGA将解码后的数据返回至MCU

P3.2 clk\_coder: FPGA编码时，MCU向FPGA发数据的同步信号

P3.3 clk\_decoder: FPGA解码时往MCU传数据的同步信号

编码MCU向FPGA传递数据的过程：

单片机向FPGA发送FPGA\_rst复位信号，接着将coder\_en信号置高表示FPGA可以开始进行编码，FPGA产生clk\_coder周期信号，单片机检测到clk\_coder信号的下降沿时向code\_out口传送数据，FPGA在clk\_coder信号的上升沿时接收code\_out口的数据，一个clk\_coder信号传递1bit数据。MCU数据传递结束后将coder\_en置低，数据传递结束。



解码FPGA向MCU传递数据的过程：

当MCU向FPGA数据传完之后，向FPGA发送一个FPGA\_rst复位信号，FPGA开始对射频前端返回的数据进行SFO帧开头检测，当检测到SFO后将decode\_en使能信号置高，告诉MCU准备接收解码后的数据，并同时产生clk\_deocde的周期信号用来传递解调后的数据，在clk\_deocde的上升沿时FPGA给NRZ口置数，在clk\_deocde的下降沿时MCU接收NRZ的数据，一个clk\_coder信号传递1bit数据。直到FPGA检测到EOF帧结束标志，将decode\_en置低，结束数据传输。



### 本章小结