

分类\_\_\_\_\_

密级: \_\_\_\_\_

# 西北師範大學

## 硕士学位论文

### 基于 STM32 的 RFID 读卡器设计与实现

袁乐民

导师姓名职称: \_\_\_\_\_ 马永杰 教授 \_\_\_\_\_

专业名称: \_\_\_\_\_ 电路与系统 \_\_\_\_\_ 研究方向: \_\_\_\_\_ 电路理论及应用 \_\_\_\_\_

论文答辩日期: \_\_\_\_\_ 2015 年 5 月 \_\_\_\_\_ 学位授予日期: \_\_\_\_\_

答辩委员会主席:

评 阅 人:

二〇一五年五月

硕士学位论文
M. D. Thesis

基于 STM32 的 RFID 读卡器设计与实现

**Design and Implementation of RFID Card  
Reader Based on STM32**

袁乐民

**Yuan Lemin**

二〇一五年五月

## 独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包括其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得西北师范大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

签名：\_\_\_\_\_

日期：\_\_\_\_\_

## 关于论文使用授权的说明

本人完全了解西北师范大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

(保密的论文在解密后应遵守此规定)

签名：\_\_\_\_\_ 导师签名：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

## 摘 要

RFID (Radio Frequency Identification) 即射频识别技术, 是一种无线通信技术, 是物联网关键技术之一, 具有体积小、速度快、抗干扰能力强、安全性高等诸多优点。目前 RFID 技术的应用领域非常广阔, 已涉及人们日常生活及工业生产等各个方面。

本系统采用 STM32 单片机、MF RC522 集成射频读写芯片, 设计实现了一种 13.56MHz 的 RFID 读卡器, 并使用 LabVIEW 软件编写上位机界面, 通过 RS232 串口实现了上位机与读卡器的通信。

本文主要工作如下: 1. 介绍了国内外 RFID 技术发展的现状以及本课题研究的意义; 2. 对 RFID 技术的工作原理、技术特点、标准、协议等做了概述; 3. 对设计所用的 STM32F103C8T6 单片机、MF RC522 芯片的主要特性、结构原理做了详细的介绍。4. 重点阐述了基于 STM32 和 MF RC522 的 RFID 读卡器系统的研制方法, 包括 MCU 部分、射频天线部分、读卡部分、以及与上位机通信接口的硬件、软件设计。5. 对该读卡器的功能测试结果进行了分析, 并对未来的工作进行了展望。

**关键词:** RFID; 读卡器; STM32 微控制器; MF RC522; 上位机

## Abstract

Radio Frequency Identification (RFID) is a kind of wireless communication technology and one of the key technologies of Internet of Things(IoT).It has many advantages of small size, fast speed, strong anti-interference ability, and high security etc.. At present,the RFID technology has been widely applied in various fields such as people's daily life and industrial production.

This system uses STM32 microcontroller and MF RC522 integrated RF read-write chip, completing the design of a 13.56MHz RFID card reader, and realizing the communication between the host computer and the card reader through RS232 serial port by writing PC interface using LabVIEW software.

This paper the first introduces the current situation of RFID technology development and the significance of the research; the second summarizes the operational principles, the technical features, standard and protocol of RFID technology ; the third describes in details the main features and structural principles of the STM32F103C8T6 microcontroller and MF RC522 chip used in the design; the fourth emphatically illustrates the development method of card reader system STM32 and MF RC522 based on RFID, including the MCU, RF antenna, card reading, the hardware and software designing of interface communication with the host computer;the fifth analyzes the results of functional test of the reader, and the future work is forecasted.

**Keywords: RFID; card reader; STM32 microcontroller; MFRC522; host computer**

## 目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	II
目 录.....	III
第 1 章 绪 论.....	- 1 -
1.1 RFID 技术概述.....	- 1 -
1.2 RFID 技术在国内外中的应用及发展现状.....	- 1 -
1.2.1 RFID 技术的典型应用.....	- 2 -
1.2.2 国外 RFID 技术的发展现状.....	- 3 -
1.2.3 RFID 技术在国内的发展.....	- 3 -
1.3 选题背景和意义.....	- 5 -
1.4 本文主要内容及结构.....	- 6 -
第 2 章 RFID 系统的理论分析.....	- 7 -
2.1 RFID 系统的组成.....	- 7 -
2.1.1 电子标签 (Tag).....	- 7 -
2.1.2 读卡器 (Reader).....	- 9 -
2.2 RFID 系统的工作原理.....	- 10 -
2.3 RFID 系统的分类.....	- 11 -
2.4 RFID 标准体系.....	- 12 -
2.4.1 ISO 标准.....	- 13 -
2.4.2 EPC Global 标准.....	- 13 -
2.4.3 UID 标准.....	- 15 -
2.4.4 三大标准体系协议比较.....	- 15 -
2.5 RFID 技术的发展趋势.....	- 15 -
2.5.1 技术发展趋势.....	- 15 -
2.5.2 市场发展趋势.....	- 16 -

<b>第 3 章 读卡器的硬件设计</b> .....	- 17 -
3.1 系统总体设计方案 .....	- 17 -
3.2 STM32 微控制器 .....	- 17 -
3.2.1 STM32 微控制器型号分类及命名规则 .....	- 17 -
3.2.2 STM32 资源和功能概述 .....	- 18 -
3.3 MF RC522 芯片 .....	- 24 -
3.3.1 MF RC522 芯片特性 .....	- 24 -
3.3.2 MF RC522 简化框图 .....	- 25 -
3.3.3 MF RC522 主要引脚说明 .....	- 25 -
3.4 系统硬件电路的设计 .....	- 27 -
3.4.1 射频模块 MF RC522 电路 .....	- 27 -
3.4.2 天线的设计 .....	- 28 -
3.4.3 控制电路设计 .....	- 30 -
3.5 S50 卡 .....	- 32 -
<b>第 4 章 读卡器的软件设计</b> .....	- 34 -
4.1 软件总体设计方案 .....	- 34 -
4.2 读卡器 STM32 单片机软件设计 .....	- 34 -
4.2.1 读卡器与 IC 卡的通信协议 .....	- 34 -
4.2.2 读卡器单片机程序设计 .....	- 39 -
4.3 上位机软件设计 .....	- 40 -
4.3.1 读卡器与上位机传输协议 .....	- 40 -
4.3.2 上位机软件设计 .....	- 41 -
<b>第 5 章 读卡器功能测试</b> .....	- 43 -
5.1 系统功能实现测试 .....	- 43 -
5.1.1 系统初始化及复位功能测试 .....	- 43 -
5.1.2 寻卡功能测试 .....	- 43 -
5.1.3 读卡功能测试 .....	- 44 -
5.1.4 写卡功能测试 .....	- 45 -

---

5.2 系统性能测试 .....	- 45 -
5.2.1 读卡距离测试 .....	- 45 -
5.2.2 多张卡的读卡能力测试 .....	- 45 -
5.2.3 电源电压适应能力测试 .....	- 45 -
第6章 总结 .....	- 47 -
参 考 文 献 .....	- 48 -
附录 A: 读卡器实物图 .....	- 50 -
附录 B: 部分程序代码 .....	- 51 -
附录 C: 上位机界面部分程序框图 .....	- 56 -
攻读学位期间的研究成果 .....	I
致    谢 .....	II



## 第 1 章 绪 论

### 1.1 RFID 技术概述

RFID (Radio Frequency Identification) 技术即射频识别技术, 是兴起于 20 世纪 90 年代的一种非接触式的自动识别技术, 是通过射频信号的空间耦合(电磁场或交变磁场)实现无接触信息传递并通过传递的信息达到识别目的的技术。它无需识别系统与特定目标之间建立机械或光学接触, 自动识别对象并获取相关信息数据, 过程操作无须人工干预, 可应用于各种恶劣环境条件, 有利于人们在不同状态下对各类物体进行识别与管理。RFID 技术可识别高速运动物体并可同时识别多个标签, 操作快捷方便<sup>[1]</sup>。

RFID 技术具有如下特点<sup>[2]</sup>:

- 1.快速扫描性。RFID 辨识器可同时辨识读取多个 RFID 标签。
- 2.形状多、体积小。RFID 标签读取时并不受形状与大小的限制, 不必为了通信的精确度而专门使用固定尺寸的纸张一起提高印刷品质。此外, RFID 标签可往更多样形态和更小型化发展, 以满足不同产品的应用。
- 3.抗污损力和长寿命性。条形码使用纸张作为载体, 因此容易受到污染, 但 RFID 对水、油和化学药品等物质具有很强抵抗性。此外, 由于条形码是附于塑料袋或外包装纸箱上, 所以特别容易受到折损; RFID 卷标是将数据存在芯片中, 因此可以免受污损。
- 4.可重复使用性。现今的条形码印刷上去之后就无法更改, RFID 标签则可以重复地新增、修改、删除 RFID 卷标内储存的数据, 方便信息的更新。
- 5.穿透性和无屏障阅读。在被覆盖的情况下, RFID 能够穿透纸张、木材和塑料等非金属或非透明的材质, 并能够进行穿透性通信。而条形码扫描机必须在近距离而且没有物体阻挡的情况下, 才可以辨读条形码。
- 6.大容量数据记忆性。一维条形码存储数据的最大容量是 50Bytes, 二维条形码存储的最大的容量是 2 至 3000 字符, 而 RFID 的最大存储容量可达数 MegaBytes。由于记忆载体在不断的发展, 数据容量也将不断扩大。将来产品携带的信息量也会越来越大, 需要对卷标扩充更大的容量。
- 7.安全性。RFID 承载的信息是电子式的, 所以其数据内容加密保护, 使其内容不易被伪造及变造。

### 1.2 RFID 技术在国内外的应用及发展现状

RFID 技术的发展可以按照十年期划分为如下七个阶段<sup>[3]</sup>:

第一阶段(1941 年-1950 年): 雷达的应用使得 RFID 技术诞生, 并奠定其理论基础。

第二阶段(1951 年-1960 年):RFID 技术的早期探索阶段,主要是实验室实验阶段。

第三阶段(1961 年-1970 年):RFID 技术理论发展阶段,开始尝试应用于一些领域。

第四阶段(1971 年-1980 年): RFID 技术及其应用产品的研发得到大的发展,各类 RFID 技术测试加速发展。研发生产了一些最早的 RFID 应用。

第五阶段(1981 年-1990 年): RFID 技术及产品发展到了商用阶段,各式各样的应用开始面世。

第六阶段(1991 年-2000 年): 开始重视 RFID 技术标准化问题, RFID 产品得到广泛采用, RFID 产品逐渐成为人们生活中的一部分。

第七阶段(2001-): RFID 产品种类更加丰富,无源、有源及半无源三类电子标签均发展迅速,成本也不断降低,应用行业越来越多。RFID 技术理论不断完善和丰富。单芯片电子标签、多点字标签识读、无线可读可写、无源电子标签的远距离的识别正在成为现实。

### 1.2.1 RFID 技术的典型应用

现在,RFID 技术被广泛应用于各种自动化控制领域,如商业自动化、工业自动化、交通运输控制管理等。如高速公路 ETC 系统;火车、汽车等智能交通监控;工厂流水线自动化生产;停车场收费管理系统;动物管理;物品管理;仓储管理;车辆防盗;出入安全检查等。 RFID 典型应用领域包括<sup>[4]</sup>:

(1) 车辆出入管理。如小区、停车场、单位、垃圾场等场所车辆出入管理等。

(2) 物流仓储自动管理。大型的物流仓储公司,如 DHL 中外运敦豪、FedEx 联邦快递都采用该技术管理包裹,沃尔玛超市采用射频标签来管理商品。

(3) 交通道路自动收费管理。高速公路不停车收费系统(ETC)是 RFID 技术最成功的应用之一。将 RFID 技术用于高速公路自动收费,能够在携带射频卡的车辆不停车低速通过 ETC 专用收费通道时自动完成收费,进而有效缓解交通堵塞问题。

(4) 门禁管理。目前很多单位使用 RFID 卡管理员工考勤,也可用于进入某些工作场所的身份自动识别系统。

(5) 产品加工过程自动控制。大型工厂的自动化流水作业线上,用 RFID 技术实现自动控制,可提高生产效率,节约成本。例如,德国宝马汽车生产公司在装配流水线上应用 RFID 技术实现了用户定制的生产方式。

(6) 旅客航空旅行包裹的自动识别、分拣、转运管理。国外部分机场采用此项技术。意大利邮政局应用 I-CODE1RFID 识别系统用于邮包分拣,显著提高了分拣速度和效率。

(7) RFID 金融卡。无纸化交易是未来必然的发展方向,目前已经出现了 RFID 金融卡,比如校园一卡通、城市消费一卡通等。

(8) 防伪技术。由于 RFID 技术具有成本低、伪造难的特点，故可应用于防伪领域。

(9) 图书馆图书管理。RFID 技术可用于图书馆数以万计的图书目录清单管理，而且可以迅速准确的为读者提供服务。

### 1.2.2 国外 RFID 技术的发展现状

RFID 技术在国外发展较早较快，目前 RFID 产品的种类很多，如 TI（德州仪器）、Motorola（摩托罗拉）、Philips（飞利浦）、Microchip（微芯）等世界著名品牌都生产有 RFID 产品，且它们的产品各具特点，自成系列。

从全世界范围来看，美国政府积极推导 RFID 应用，在其推动下美国在 RFID 技术标准的建立、相关软硬件技术的研发与应用领域均走在世界最前列。欧洲制定的 RFID 标准紧随美国主导的 EPCglobal 标准。在封闭系统的应用上，欧洲与美国基本位于同一水平阶段。尽管日本已经提出 UID 标准，但主要是以本国厂商为支持，距离成为国际标准还有很长的距离。在韩国，RFID 的重要性得到了政府高度重视，但迄今为止韩国的 RFID 标准仍模糊不清。美国在产业方面，TI、Intel 等集成电路生产厂商都已投入巨额资金在 RFID 领域用于芯片开发。Symbol 已研发出同时既可以阅读条形码又可以识别 RFID 卡的扫描器。Microsoft、IBM 和 HP 等公司也在尽快开发相应的系统及软件以支持 RFID 的应用。目前美国的道路交通、车辆控制管理、身份识别、仓储管理及物资跟踪、生产线自动化控制等领域已经逐步开始应用 RFID 技术；在物流管理方面，已有十多家企业承诺支持 RFID 应用，例如：制造商吉列、零售商沃尔玛、宝洁、强生；美国国防部规定，2005 年 1 月 1 日以后，全部军需物资都要使用 RFID 标签；美国食品药品监督管理局（FDA）建议药品制造商从 2006 年起应用 RFID 技术跟踪经常造假的药物；美国社会福利局（SSA）于 2005 年初正式开始使用 RFID 技术追踪 SSA 的各种手册和表格。在欧洲，ST Microelectronics、Philips 等企业在积极研发低价 RFID 芯片；Nokia 正在研制并推广基于 RFID 技术的移动电话购物系统。在应用方面，欧洲在诸如道路交通、身份识别、物资跟踪等封闭系统、生产线自动化控制等领域与美国基本处在同一阶段。日本较早涉入 RFID 研究领域，政府也非常重视 RFID 技术的发展。邮政与电信通讯部（MPHPT）在 2004 年 3 月发布了《关于在传感网络时代运用先进的 RFID 技术的最终研究草案报告》，报告称 MPHPT 将继续支持测试在 UHF 频段的被动及主动的电子标签技术，并在此基础上进一步讨论管制的问题。从日本 RFID 领域的动态可以看出，与行业应用相结合 RFID 技术产品和解决方案开始集中出现<sup>[13]</sup>。

### 1.2.3 RFID 技术在国内的发展

(1) RFID 技术在“金卡”工程中开始应用

上世纪 90 年代，中国政府制定了“金卡”工程实施计划和全国范围内金融卡网络系统的 10 年规划，同期开展了射频识别相关技术的研究和应用试点。2004 年 RFID 行业启动了应用试点操作，首先服务于“三农”，推进农业（农产品）产业化，保障食品安全；其次，面向工业生产过程与安全生产管理，促进生产力发展，构建和谐社会；此外，在供应链管理与现代物流、重要物品的防伪和安全管理、数字旅游产业与现代服务业等方面，RFID 试点操作也逐步展开。涉及到畜牧业饲养与加工、煤矿安全、工业生产、药品与烟酒可追溯监管、物流监管、交通管理、军事应用等。

目前，RFID 技术已应用于行业 IC 卡工程中，如我国第二代居民身份证、城市公交“一卡通”、商品防伪及各种电子证照、特种设备强制检验、动植物电子标签、信息安全管理以及物流管理等领域，已广泛用于不停车收费、路桥管理、铁路机车识别管理以及电子证照身份识别等方面。

当前我国 RFID 市场有三大特点：一是国内应用范围逐渐从占据约 60% 市场份额的身份识别与电子票证，向资产管理、食品药品安全监管、图书馆、仓储物流等物品识别领域拓展；二是操作频率逐步从低/高频的门禁、二代身份证应用，逐步向超高频、微波的高速公路不停车收费、交通车辆管理等应用拓展；三是从闭环应用向如国际海事管理等开环应用拓展。2009 年，我国 RFID 应用市场规模达到了 85.3 亿元，仅次于美国和英国，位居全球第三，截止 2010 年，市场规模已达到 120 亿元。

我国 RFID 产业链已经初步形成，在芯片设计与制造、电子标签封装、各类读写器的研制以及应用软件开发和整体解决方案提供等方面取得实际进展；低、高频 RFID 比较成熟，超高频 RFID 正在走向成熟，而微波 RFID 则有待成熟，国内企业已经在 RFID 市场上占据主导地位。随着标准化、测试检测、开放实验室、示范基地、产业联盟等相关领域操作的深入，RFID 基础服务体系已经初步形成。预计到 2015 年，我国 RFID 产业将进入大规模、全方位推广的成熟期。

## （2）智能卡在城市建设中的应用——城市一卡通

自“金卡”工程实施以来，随着全社会对 IC 卡的应用需求进一步加大，以 RFID 和移动支付为代表的新技术浪潮兴起，《建设事业集成电路（IC）卡应用技术》（CJ/T 166-2006）等行业和专项标准以及法规得到完善，智能卡在社保、交通、医疗、金融、旅游、农业等行业应用成果丰硕，推动了社会信息化进程。

城市一卡通历经 10 余年的发展，从单一的公交应用发展到目前跨行业的多元应用，以及跨区域的互联互通，应用领域涉及城市综合交通、供水、供气、供热等公用事业缴费和风景园林、商业购物、旅游、药店支付等共计 50 多个领域，IC 卡应用已渗透到市民生活的方方面面。涉及综合交通、风景园林、数字社区、公用事业缴费、小额支付等领域，极大地提高了城市信息化水平。

截止 2010 年年底，全国建立城市一卡通系统的城市有 380 多个，约占全国城市总数的 57%，全国累计发卡超过两亿张，行业使用的终端数量达到 60 万个，移动 POS 数量达到 30 万个，日交易量达到 1 亿笔。

随着手机普及率的提高和通信技术的发展，手机已经成为市民日常生活中不可或缺的一部分。城市一卡通与手机应用的结合，已成为未来发展的一种趋势，如刷手机乘坐公共交通工具、购物等，都将给百姓生活带来更大的便捷。目前，城市一卡通开展手机支付应用尚处于起步阶段，为规范城市一卡通手机支付过程中的相关技术、产品、服务及应用模式，住房和城乡建设部 IC 卡应用服务中心综合有关行业专家、应用单位及通信运营机构的意见和建议，编制了《城市一卡通手机支付应用白皮书》《国家金卡工程全国 IC 卡应用（2008-2013 年）发展规划》<sup>[1]</sup>。国内 RFID 技术主要应用领域见图 1.1。

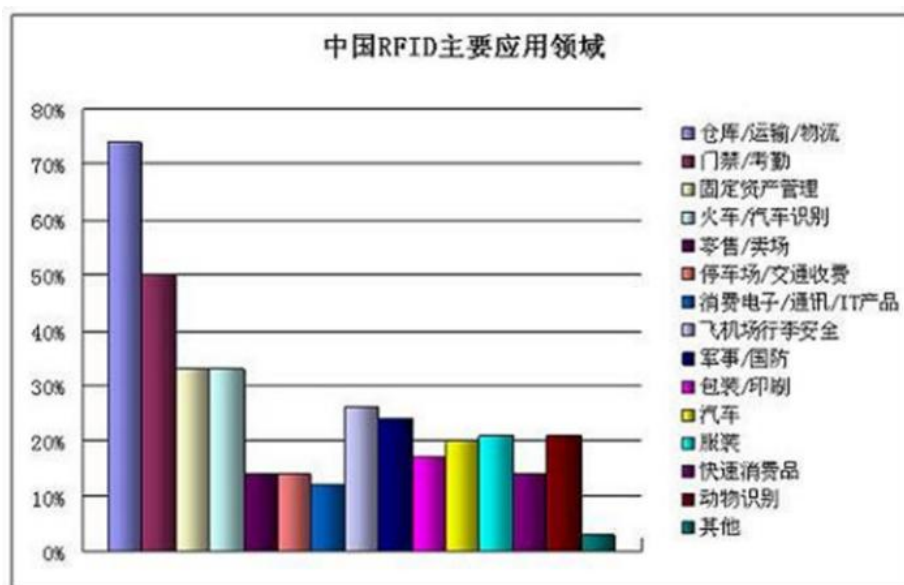


图 1.1 中国 RFID 主要应用领域

### 1.3 选题背景和意义

当前，国家“十二五”规划已明确提出，要发展宽带融合安全的下一代国家基础设施，推进物联网的应用。另外在“十二五”期间，财政部设立的物联网发展专项基金，将累计发放 50 亿元扶持产业，多项政策的扶持也将助推物联网应用快速发展。国家也先后发布了《国务院关于推进物联网有序健康发展的指导意见》等数项积极推动物联网产业发展的政策文件。数据显示，2009 年至 2012 年，国内物联网产业得到高速发展，年均复合增长率达到 29.7%，2012 年达到 3650 亿元的市场规模，发展速度已远超中国 GDP 增长水平。

作为物联网关键技术之一的 RFID 技术，理应得到高度重视。现如今，基于 RFID

技术正在如火如荼的发展。本文选择了 RFID 技术为研究方向, 根据个人的发展方向、兴趣爱好以及知识掌握情况, 选择了工作频率为 13.56MHz 的 RFID 读写控制系统为研究目标, 并确定研究题目为《基于 STM32 的 RFID 读卡器设计与实现》。

## 1.4 本文主要内容及结构

本文讲述了采用 STM32 单片机、MF RC522 集成读卡器芯片设计实现 RFID 读卡器的方法, 包括硬件电路、软件驱动、上位机界面等的设计。

第一章, 概述 RFID 技术的应用及国内外发展现状; 介绍本文选题的背景及意义;

第二章, 介绍 RFID 系统基本原理、组成、分类, 以及其传输协议、标准体系;

第三章, 读卡器硬件电路的设计。首先介绍读卡器的总体设计方案, 设计所采用的微控制器 STM32f103c8t6 单片机、MF RC522 射频专用芯片的主要特性、结构原理等。然后详细阐述读卡器的硬件设计思路, 包括电源电路的设计、控制器电路的设计、天线电路的设计等;

第四章, 读卡器系统软件的设计, 包括系统驱动程序、上位机人机交互界面的设计;

第五章, 介绍了读卡器测试结果及其分析;

第六章, 对本文所做工作的总结并对今后的学习工作进行展望。

## 第 2 章 RFID 系统的理论分析

### 2.1 RFID 系统的组成

RFID 系统应用不同,组成也会有所差异,但基本都由数据交换管理系统(Processor)、阅读器(Reader)和电子标签(Tag)、三大部分组成,如图 2.1 所示。

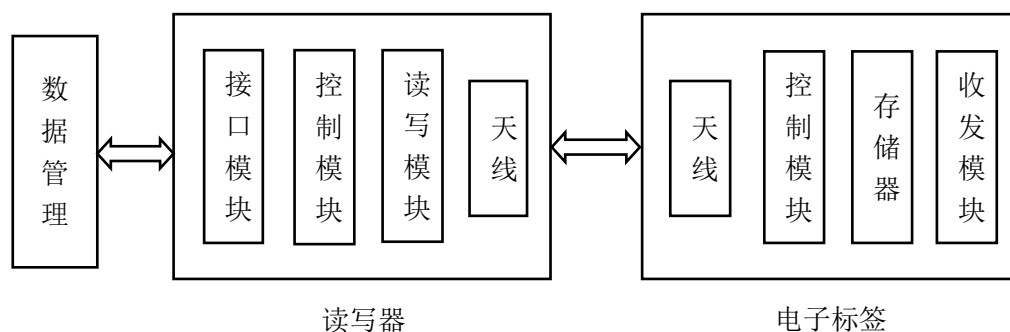


图 2.1 RFID 系统基本原理结构图

电子标签(Tag,或称射频卡、应答器等),由芯片和耦合元件组成,主要包括 CPU、串行 E<sup>2</sup>PROM、带加密逻辑及射频收发天线等相关电路。电子标签具备自动智能读写与通信加密功能,其通过射频无线电波和阅读器进行数据信息发送和接收,阅读器发出的射频信号耦合到电子标签上为其提供工作的能量。读卡器,亦称为阅读器、读写器、查询器等。读卡器主要包含控制模块、天线电路、无线收发及接口电路几个模块。读卡器工作时首先将主机命令发送给电子标签,再加密将要给电子标签发送的数据,然后解密电子标签发送回的数据并且送到主机。数据交换与管理系统主要完成数据信息的存储及管理、对卡进行读写控制等<sup>[5]</sup>。

#### 2.1.1 电子标签(Tag)

电子标签由天线(Antenna)组成,附在物体上以被识别。每个电子标签都具有唯一的电子编码。标签内的程序设定为可以读取和编写。电子标签的信息也可以是有关人员的数据信息,可以根据需求对数据进行分类管理,并可以按照实际情况制作新卡,电子标签中经过改写的信息可以进行加密保护。电子标签的芯片体积非常小,可以印制在纸张、塑料、纺织品、木材、玻璃、陶瓷等材料上,厚度一般不超过 0.35cm<sup>[6]</sup>。

电子标签的突出优点如下:

- (1) 存储量大,可存入物品的更多相关信息;
- (2) 读写器能实时接收编码后的数据信息;
- (3) 数据信息可以写入到电子标签中;

- (4) 除永久性数据外，标签中的内容可进行多次修改、编译；
- (5) 可保证识别对象信息的完整和安全；
- (6) 寿命长，在使用年限范围之内不用维修。

电子标签根据发送信号的方式，分为主动式（Active）和被动式（Passive）两种<sup>[7]</sup>。主动式标签即有源标签，通常内置供电电池，它能够主动向读卡器发送射频信号；被动式标签即无源标签，其自身不带电源，发射电磁波及处理器、电路运行所需的能量均来自读卡器产生的电磁波。无源标签在接收到读卡器发出的电磁波后，将一部分电磁能量转换为自己的工作能量。表 1.1 是主动和被动两种标签的特性比较。

表 1.1 主动式标签与被动式标签对比

	主动标签（Active）	被动标签（Passive）
能量来源	自身电池供电，可持续供电	通过电磁感应获取
工作距离	可达 100m	可达 3~5m，通常 20~40cm
信号强度要求	低	高
平均价格	高	低
工作寿命	2~4 年	长

#### （1）标签芯片

标签内的芯片主要控制标签的数据传输、操作频率、信号调制、加密解密、数据的读写机制等。芯片得到能量后，会加密存储区的数据，并通过信号调制的方式经过天线传输给读卡器，或者将读卡器发送的信号解调并解密写入芯片内。标签内的芯片根据不同的应用会被配置成不同的形式。

#### （2）天线

电子标签内天线的作用是感应读卡器发射出来的射频能量，完成数据的更新，同时天线还通过射频信号将标签内的数据信息回传给读卡器。标签天线的设计和电力是影响读卡器识别距离的主要因素之一。

电子标签的天线电路是根据载波频率使用 LC 谐振电路或者电双极天线所制成的。当电子标签的天线电路 LC 谐振电路的谐振频率小于 100MHz 时，读卡器和标签采用电子感应的方式进行通信。当电子标签的天线电路 LC 谐振电路的谐振频率大于 100MHz 时，读卡器和标签之间通过电磁传播的方式进行通信，此时由于所需要的 LC 值太小，所以实际的电容、电感无法组成电子标签的天线电路。随着载波频率的增大，其波长会越来越短。这时候可以采用一些简单的导体来组成天线，其信号波长为所需信号的一半或者更小，这样设计的天线则可满足系统需求，这样的天线被称为电双极天线。此时标签中的电流就是由电双极天线耦合电磁场产生的，电流再对充电电容充电产生电压以供给标签内的芯片工作能量<sup>[8]</sup>。



RFID 标签有很多类型，取决于其工作频率、形状、应用场合和工作距离等因素。一个 RFID 标签通常可以包含一个或者多个天线。天线电路的制作工艺有印刷工艺、蚀刻工艺、线圈工艺等。

①印刷工艺是利用丝网印刷法将导电油墨印制成天线的工艺，这种工艺的优点是成本低廉，有望生产出最廉价的电子标签。缺点是此类天线在频率特性和导电稳定性方面尚存在问题；

②蚀刻工艺是将附着在铜箔或铝箔上的胶片蚀刻形成天线。可形成器件卷，用高速贴片机组装，价格较低，适合量产，是目前主流工艺；

③线圈工艺要求天线线圈要相互绝缘，因此生产效率低，成本较高，不利于量产，但通信距离相对较长。

### (3) 未来电子标签的发展趋势

①无源电子标签是未来 RFID 系统应用的主流趋势。如若有源系统的成本能够降低，其应用也会日趋广泛；

②性能更加优越。识别距离更远、读写性能更加完善、高速移动物品识别、同时识别多个标签、标签一致性更好、适应环境能力提高、体积更小等；

③标签功能多元化，如带有蜂鸣器或传感器的标签等；

④专用标签的研发与应用，如高温/高湿/磕碰等环境下使用的标签<sup>[9]</sup>。

## 2.1.2 读卡器 (Reader)

读卡器又称为查询器、阅读器或读出装置，其主要任务就是向电子标签发射和读取信号，并接受标签的应答，对标签的标识信息进行解码，将信息以及标签上其他所有相关信息传送到主机以供处理。

读卡器在 RFID 系统中具有非常重要的作用。读卡器的工作频率决定了 RFID 系统的工作频段；读卡器工作的功率直接影响射频识别的距离和阅读效果。

### (1) 读卡器的作用

读卡器位于 RFID 应用系统和电子标签中间，实现对电子标签中的数据的读和写功能，主要有以下功能：

①读卡器可以实现其与电子标签之间的双向通信；

②读卡器能够实现与计算机之间的通信，如通过 RS232 接口，向计算机提供其识别到的电子标签中的信息；

③读卡器能够在有效的阅读区域内同时识读多个标签，具有防碰撞功能；

④读卡器能够校验读写过程中的错误信息；

⑤读卡器可以识别有源电子标签中电池的相关信息，如电量等。

### (2) 读卡器的组成

读卡器主要由软件部分和硬件部分两个部分组成。

软件部分负责响应接收到的指令并对标签做出相应的动作指令；与应用系统进行通信；执行防碰撞算法等。

硬件部分一般由控制系统和高频接口两个基本的功能模块组成。控制系统又称为读写模块，其主要任务是：

- ① 执行应用系统软件的动作指令；
- ② 控制与 RFID 标签之间的通信过程；
- ③ 信号的编码与解码；
- ④ 对读卡器和电子标签之间传输的信息进行加密和解密；
- ⑤ 验证读卡器和标签之间的身份。

高频接口（接收器、发送器）又称为射频模块，其主任务是：

- ① 产生高频信号发射能量，激活电子标签并为其提供能量；
- ② 调制发射信号，将数据传输给射频电子标签；
- ③ 接受并解调接收到的电子标签的射频信号。

### （3）读卡器的形式

根据应用场合的不同，读卡器有手持式和固定式两种形式。目前读卡器的成本较高，而且多数只能在单一频率点工作。未来读卡器将会大幅降价，并且支持多个频点，即能同时识别不同频率的标签信息。

### （4）读卡器的发展趋势

根据当前技术水平和将来的应用需求，读卡器可能会向以下几个方向发展：

- ① 读卡器模块化，甚至可以继承多个不同协议在一个读卡器模块上，目前已经出现了多协议读卡器；
- ② 采用相位控制技术的智能多天线接口；
- ③ 多种数据通信接口，满足不同的应用需求，接口之间可以转换。当前多数读卡器具有 RS232/485、USB 等单一接口方式，有些产品可提供用户可选的接口方式，将来这些都将成为一种标准配置；
- ④ 读卡器小型化、便携化、嵌入化；
- ⑤ 应用更多新技术，例如扩频技术、智能信道分配技术、码分多址技术等。

## 2.2 RFID 系统的工作原理

RFID 系统的基本工作原理较为简单，描述如下：

无源标签或被动标签：电子标签进入读卡器阅读范围，即进入磁场后，接收读卡器发出的射频信号，将感应到的电流转换为所需要的能量，然后发送出存储在标签内芯片

中的数据信息。

有源标签或主动标签：由电子标签主动发送一定频率的射频信号，读卡器读取接受到的数据信息并解码后，送至数据信息管理系统进行有关数据处理。

从读卡器与电子标签之间的通讯及能量感应方式 RFID 系统可分为两类：感应耦合、后向散射耦合。一般低频系统多采用第一种方式，而较高频系统多采用第二种方式。

电子标签与读卡器之间通过耦合元件来实现射频信号的空间（无接触）耦合、根据时序关系，完成能量传递与数据交换。读卡器和电子标签之间信号的耦合有两种类型：

（1）电感耦合。根据电磁感应定律，通过空间高频交变磁场耦合，相当于变压器模型。电感耦合方式一般适用于工作在中、低频的近距离 RFID 系统。典型的工作频率有：125kHz、225kHz 和 13.56MHz。作用距离一般小于 1m，典型作用距离为 10—20cm；

（2）电磁反向散射耦合：根据电磁波的空间传播规律，电磁波发射出去后，若碰到目标后会被反射，反射的同时将携带回目标信息，类似于雷达原理。电磁反向散射耦合方式一般适用于工作于高频、微波的远距离 RFID 系统。典型的工作频率有：433MHz、915MHz、2.45GHz 和 5.8GHz。作用距离一般大于 1m，典型作用距离为 3—10m。

## 2.3 RFID 系统的分类

根据不同的分类标准，RFID 系统的分类可以有很多。一般可以根据如下方式分成几类<sup>[10]</sup>。

1. 根据电子标签的供电形势分为有源系统、无源系统和半有源系统。

有源系统和无源系统本文前面章节已作介绍。半有源系统是指标签带有电池，但是电池只起到激活系统的作用。

2. 根据标签数据的调制方式分成了主动式、半主动式和被动式。

主动式标签使用自身的能量主动发送数据给读卡器。被动式标签必须利用读卡器的载波来调制自己的信号。半主动式标签只有被读卡器的能量场激活时，才利用反向散射调制方式传送自身的数据，其并不同过自身能量主动发送数据。

3. 根据系统的工作频率可以分为：低频、高频、超高频和微波系统。

低频 RFID 系统的工作频率一般为 100-500KHz，常见的典型工作频率为 125KHz、134.2KHz；高频 RFID 系统的工作频率一般为 10-15MHz，典型的工作频率是 13.56MHz（本设计所选用的工作频率）；超高频 RFID 系统一般工作在 850-960MHz，常见的典型工作频率是 869.5MHz、915MHz；微波 RFID 系统的典型工作频率为 2.45GHz 的微波段。表 2.2 为 RFID 系统不同频率的参数对比。

表 2.2 RFID 系统不同频率的参数对比

参数	低频 (125-134KHz)	高频 (13.56MHz)	超高频 (868-915MHz)	微波 (2.4-5.8GHz)
市场份额/%	74	17	6	3
读取距离/m	1.2	0.7-1.2	4	15
速度/(m/s)	较慢	0.5-4	快	非常快
温度环境	没有影响	没有影响	严重影响	严重影响
发射器与读写器方向要求	无	无	部分必要	总是必要
全球接受频率	是	是	部分的(EU/USA)	部分的
已有 ISO 标准	11784/8 和 14233	18000-3.1/15693、 18000-3.2	18000-6/EPC	18000-4
主要应用	门禁、锁车架、 加油站、洗衣店	智能卡、电子 ID 票务、针对大型活动、 货物物流、机场验票、 邮局、药店	货盘记录、卡车登记、 拖车跟踪	公路收费、集装箱跟踪

从表 2.2 可以看出，系统的性能高低与工作频率有着直接关系。从传输速度和读取速度上看，低频系统和高频系统有较大区别，低频系统数据传输速度和读取速度相对慢一些，而高频系统的数据传输速度和读取速度相对要快的多；从传播性能（穿透力）上看，系统工作频率越高，穿透力越差，低频端的穿透性要高于高频段的穿透性；从识别距离上来看，系统工作频率越低读取距离越近，频率越高读取距离越远，常用的低频段的读取距离一般都小于 1m，而高频段特别是微波段的识别距离可达 15m，甚至 30m，微波系统的典型应用就是高速公路不停车收费系统（ETC）；但从市场份额来看，低频段的比重较大，原因是低频段系统相对高频段工作的技术、性能等各方面要求低一些、简单一些，成本低价格便宜，易推广，而高频段系统的技术难度高、成本高；从防碰撞方面来看，高频段工作的系统相对于低频段系统要好许多，安全性也要好一些<sup>[11]</sup>。

## 2.4 RFID 标准体系

随着技术的成熟和应用的日趋扩大，为了使得各个厂商的产品相互兼容，更好的推动 RFID 技术产业的发展，国际标准化组织制定了一系列的标准用来规范 RFID 市场应用开发。目前 RFID 技术存在三个标准体系：国际标准化组织 ISO 标准体系、以美国为首的 EPC Global 标准体系和 UID(Ubiquitous ID)标准体系。

### 2.4.1 ISO 标准

ISO/IEC 早在 20 世纪 90 年代成立专门的研究委员会,负责 RFID 标准化研究工作。主要的一些 RFID 标签的标准及特征如表 2.3 所示。

表 2.3 ISO/IEC 标准化

标准	频段	特征
ISO/IEC 18000-2	135KHz 以下	第 2 部分规定了 135KHz 以下频段的 A、B 两种类型。由于是以无源标签为前提,因此通信距离为几十毫米以下。
ISO/IEC 18000-3	13.56MHz	第 3 部分规定了 13.56MHz 频段,以无源标签为前提,信用卡大小的电子标签通信距离为几十厘米左右。该标准讨论了两种模式;模式 1 以 IC 卡的标准 ISO/IEC15639 为基础;模式 2 通信速率为 424kbit/s,在高速识别等要求快速处理场合十分有效。
ISO/IEC 18000-4	2.45GHz	第 4 部分规定了 2.45GHz 频段,讨论了两种模式:模式 1 采用了 FHSS 方式,由于是以无源标签为前提,其通信距离为 10cm-1m 左右;模式 2 同样采用 FHSS 方式,但由于是以内装电池为前提,其通信距离可达 10m 左右。
ISO/IEC 18000-6	860-960MHz	该频段在 ITU (国际电信联盟)规定的第三区(亚洲/大洋洲地区)没有被指定为 ISM (Industrial Scientific Medical) 波段,但将 952-954MHz 开放用于较大功率 RFID 电子标签。
ISO/IEC 15693	13.56MHz	是非接触型 IC 卡近距离(10-70cm)国际标准。与 ISO/IEC14443 标准的非接触型 IC 卡相比存储容量较小,但通信距离较大。
ISO/IEC 14443	13.56MHz	是非接触型 IC 卡的微距离(几毫米-几十厘米)国际标准。与 ISO/IEC15693 标准的非接触型 IC 卡相比较存储内容较大,通信速率也较快。共有 A、B 两个类型:类型 A 用于公用电话 IC 卡等用途;类型 B 用于公民基本信息卡和其它卡。另外 FeliCa 不符合本标准,但通常将其成为类型 C。

从 ISO 射频识别技术标准内容可以看到,RFID 技术的应用标准是基于 RFID 编码标准、读写器协议、空中接口协议等基础标准,面向不同的应用之处,确定了工作频段、数据格式、工作条件、标签形状大小尺寸、标签安装位置等方面的具体规范,除此之外还包含数据内容的完整性、人工操作识别方面等其他一些要求。标准的制订,既保证了 RFID 技术的互操作性与互通性,又兼顾了其应用领域的特点,能够很好地达到各个应用领域的要求。

### 2.4.2 EPC Global 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 月合作成立的一个非盈利性组织,其前身是非盈利性组织 Auto-ID 中心(1999 年

10 月 1 日成立于美国麻省理工学院), 它的成立目标旨在创建“物联网”(Internet of Things)。为了实现目标, 该 Auto-ID 中心与其合作成员企业联合制订出了类似于 Internet 标准的、统一的开放技术标准, 在现有的 Internet 基础上, 达到商品信息共享与交换的目的。

与 ISO RFID 标准相比, EPC Global 标准体系可以看成是一个应用标准, 主要面向物流供应链领域。EPC Global 的旨在解决供应链的追踪性和透明性, 追踪性和透明性是指在物流供应链各环节中所有合作参与者都能够掌握单件物品的相关信息, 如有效期、生产商、目的地等信息。EPC Global 制订了 EPC 编码标准, 它可以标识所有物品并唯一标识; EPC Global 还制订了读写器协议、空中接口协议, 这些协议与 ISO 标准体系协议类似。但 EPC Global 空中接口协议局限在 UHF860-930MHz 频率范围。现在已有 EPC 标签标准有 Class0、Class1 和新一代标签标准——UHFClass1Generation2, 并且第二代 (Gen 2) RFID 标准已经纳入 ISO/IEC18000-6C 标准 (ISO/IEC18000-6 的修订版本)。

表 2.4 EPC 系统编码方案

编码方案	编码类型	版本号	域名管理	对象分类	序列号
<b>EPC-64</b>	Type I	2	21	17	24
	Type II	2	15	13	32
	TypeIII	2	26	13	23
<b>EPC-96</b>	Type I	8	28	24	36
	Type I	8	32	56	160
<b>EPC-256</b>	Type II	8	64	56	128
	TypeIII	8	128	56	64

EPC 码是一组数字, 其组成为一个版本号加域名管理者、对象分类、序列号三段数据。版本号是用来标识 EPC 的版本号, 它使 EPC 码段长短不一; 域名管理表示与此 EPC 标签有关的生产厂商的资料, 例如“百事可乐公司”; 对象分类记录产品的精确信息, 例如: “百事可乐公司生产的 500ml 瓶装可乐”; 序列号码段使 EPC 码与货品一一对应, 并且唯一标识货品, 它精确的表示我们所指的究竟是哪一罐 500ml 瓶装可乐。表 2.4 中举例说明了 EPC 编码方案, 它能够极为方便地为某一产品标记其唯一的标识码, 从而唯一区分产品。在 EPC 标签信息规范 1.1 中采用 64-96 位的电子产品编码; 在 EPC 标签 2.0 规范中采用 96-256 位的电子产品编码<sup>[12]</sup>。

### 2.4.3 UID 标准

泛在识别中心（Ubiquitous ID Center, UID）成立于 2002 年 12 月，是由日本政府的经济产业省牵头，主要由日本企业组成，目前参与的企业有信息企业、电子厂商和印刷公司等 300 多家。该识别中心实际上就是日本 RFID 标签的标准化组织。该组织具体负责研发和推广物联网核心技术，其实现物联网的方法为在物品上安放微型芯片并且使他们通过组建的网络互相通信。UID 的思想核心是对显示中所有的物理对象赋予一个唯一的泛在识别号(Ucode)。它具有 128bit 的大容量存储空间,编码空间高至  $340 \times 1036$ , 可以将 128 位存储空间进一步扩展为 256 或 512 位。Ucode 的最大优势可以将现已有编码体系的原编码完全包容,可以兼容 JAN、UPC、ISBN、IPv6 地址等多种编码。Ucode 标签形式多样,如条形码、智能卡、RFID 标签、有源芯片等。UID 将标签分成了不同的种类,并制订了多个不同的认证标准<sup>[13]</sup>。

### 2.4.4 三大标准体系协议比较

目前,三大标准体系正在完善它们之间的空中接口协议。这三大标准在技术方面的差距其实并不大,但它们相互之间并不兼容,其实,主要差别在数据格式、通讯方式和防碰撞协议这三个方面。这些标准都按照 RFID 系统的工作频率划分为几个部分。在划分的这些频率段中,13.56MHz 的产品最为成熟;860-960MHz 的 UHF 频段的产品最受重视,发展最快,原因是其工作距离远且最有可能成为全球通用的频段。最早制订的关于 RFID 的国际标准是 ISO/IEC18000 标准,该标准按频段分成了 7 个部分。目前 RFID 产品中支持 ISO/IEC18000 标准的最多。EPC Global 也最重视 UHF 频段的 RFID 产品。目前,EPC Global 标准得到了大力发展和推广,许多大企业都是 EPC 标准的支持者,例如沃尔玛等。日本的泛在中心拒绝采用美国的 EPC 编码标准,一直致力于开发和推广本国标准的 RFID 产品。日本并不像美国那样大力发展 UHF 频段 RFID 产品,而更加青睐 2.4GHz 微波频段的 RFID 技术。全球标准的不统一,RFID 产品的兼容必然会较差,阻碍应用。

## 2.5 RFID 技术的发展趋势

### 2.5.1 技术发展趋势

从技术发展看,RFID 技术主要发展方向是:提高读写距离,增大电子标签的存贮容量,进一步缩短处理时间等。目前在我国,RFID 在低频及高频芯片上的应用已经相对成熟,国家正在超高频应用开发上加大投入力度,并正积极解决标准、隐私保护和降低成本等 RFID 应用推广所遇到的问题。在未来的几年中,RFID 技术将继续保持高速发展的势头。读写器、公共服务体系、电子标签、系统集成软件、标准化有了很大的发

展。随着技术的进步,RFID 产品的种类将越多,由此衍生的增值服务也将越来越广泛。RFID 芯片的发展趋势是功耗更低,作用距离更远,读写速度更快,可靠性更高,成本更低。芯片技术将紧密结合应用系统整体解决方案。RFID 标签封装技术将和造纸、印刷、包装等技术相结合,使标签天线的印制成本大幅降低,以及低成本封装技术使 RFID 标签的大规模生产成为可能。RFID 读写器发展趋势将向多功能、多制式、多接口、模块化、便携式、小型化、嵌入式方向发展。同时,多个读写器之间相互协调工作与组网应用将是未来发展的方向之一。未来 RFID 技术将与条形码技术、生物自动识别等智能识别技术相结合,并且融入互联网通信、传感网络等信息技术,使得网络无处不在。未来,RFID 信息的海量传输、处理和安全成了 RFID 的系统的开发、集成和应用面临的新挑战。RFID 系统集成软件将向智能化、嵌入式、可重组方向发展,利用构建 RFID 技术公共服务体系,将更为深入和广泛的组织、管理和利用 RFID 信息资源。

### 2.5.2 市场发展趋势

近年来,RFID 技术已经开始应用于图书馆、交通、身份识别、物流、零售、医疗、服装业、食品、防伪、资产管理、制造业、动物识别、军事等众多领域,已大大影响着人们的日常生活,对于国家经济水平的增长、社会信息化水平的发展以及加强公共安全等方面发挥了重大的作用。我国已经将 RFID 技术应用于居民第二代身份证识别、航空、铁路、特种设备与危险品管理、公共交通以及生产过程管理等多个领域。

我国 RFID 市场化的发展:无线射频识别技术作为本世纪最有发展前途的信息技术之一,已得到全球业界的高度重视。目前在我国,随着“金卡”工程建设和 IC 卡应用的蓬勃发展,RFID 技术已经得到实际应用,已先后在多个领域启动了 RFID 应用试点,如在城市公交“一卡通”、高速公路 ETC 收费系统、商品防伪与各类电子证件、特种设备强制检验、动植物跟踪识别、信息安全管理、食品/药品安全实时跟踪管理以及物流管理等领域,成效显著。今后,将在除了试点城市以外的有条件城市扩大推广有关应用试点成果,力求普惠大众,服务于城市信息化建设。



## 第 3 章 读卡器的硬件设计

### 3.1 系统总体设计方案

本系统采用 STM32F103C8T6 单片机、MF RC522 集成射频读写芯片，实现了工作频率为 13.56MHz 的 RFID 读卡器，其读写距离为 0-10cm；并使用 LabVIEW 软件编写人机友好交互界面，通过 RS232 串口实现了上位机与读卡器的通信。电子标签采用现成线圈和集成芯片制成。系统结构模型如图 3.1 所示。



图 3.1 系统结构

### 3.2 STM32 微控制器

STM32 是意法半导体 (STMicroelectronics) 集团设计的一款针对 16 位 MCU 市场的 32 位单片机。STM32 基于 ARM Cortex-M3 内核，Cortex-M3 处理器是 ARM 最新一代的嵌入式处理器，它为了满足 MCU 的需要，降低了系统的功耗、缩减了管脚数目、降低了成本，同时提供卓越的计算性能和先进的中断系统响应。

#### 3.2.1 STM32 微控制器型号分类及命名规则

STM32 微控制器按性能分成了不同的系列：

- (1) STM32F101“基本型”系列
- (2) STM32F103“增强型”系列
- (3) STM32F105、STM32F107“互连型”系列

基本型系列的时钟频率为 36MHz；增强型的系列时钟频率达到 72MHz，是同类产品中性能最高的。

STM32 型号的组成为 7 个部分，其命名规则如表 3.1。本设计所使用的 STM32F103C8T6 引脚图如图 3.2 所示。

STM32F103xx 增强型系列基于 32 位的高性能 ARM Cortex-M3 RISC 内核，工作频率高至 72MHz，内置高达 128K 字节的 FLASH 和 20K 字节的 SRAM 的高速存储器，具有充足的增强 I/O 端口和联接到两条 APB 总线的外设。全系列的器件都具有 1 个 PWM

定时器、2 个 12 位的 ADC 和 3 个通用 16 位定时器，既包含标准接口，还具有先进的通信接口：多达 2 个 I<sup>2</sup>C 和 SPI、3 个 USART、一个 USB 和一个 CAN。

表 3.1 STM32 的命名规则

第一部分	第二部分	第三部分 (系列)	第四部分 (引脚数)	第五部分 (Flash 容量)	第六部分 (封装)	第七部分 (工作温度范围)
STM32: ARMCortex- M3 内核的 32 位微控制器	F: 代表芯片 子系列	101: 基本型 103: 增强型 105/107: 互 连型	T: 36 脚 C: 48 脚 R: 64 脚 V: 100 脚 Z: 144 脚	6: 32K 8: 64K B: 128K C: 256K D: 384K E: 512K	H: BGA T: LOFP U: VFQFPN	6: -40—85℃ 7: -40—105℃

STM32F103xx 增强型系列工作温度范围为-40℃至+105℃，供电电压 2.0V 至 3.6V，为保证低功耗要求，配置有一系列的省电模式。

完整的 STM32F103xx 增强型系列产品有五种不同封装形式，引脚个数从 36 脚至 100 脚；封装形式的不同，使得器件外设配置也有差异。该系列器件所有外设的基本介绍如表 3.2。这些丰富的外设配置，使得 STM32F103xx 增强型微控制器能够应用于更多场合：

- 电机控制
- 医疗设备和手持仪器
- PC 外设和 GPS 平台
- 工业领域的应用，如可编程控制器、变频器、打印机和扫描仪
- 楼宇智能自动化系统，如视频对讲，自动报警和空调系统

### 3.2.2 STM32 资源和功能概述

#### (1) 核心和内存

STM32F103xx 增强型系列内置 ARM Cortex-M3 核心，因此它与所有的 ARM 工具和软件兼容。ARM 的 Cortex-M3 是 32 位的 RISC 处理器，提供额外的代码效率，在通常 8 和 16 位系统的存储空间上得到了 ARM 核心的高性能。

STM32F103xx 增强型系列内置高达 128K 字节的 FLASH，用于存放程序和数据。其内置 SRAM 容量高达 20K 字节，CPU 能以 0 等待周期访问（读/写）。

表 3.2 STM32F103xx 增强型器件功能和配置

外设		STM32F103Tx		STM32F103Cx			STM32F103Rx			STM32F103Vx	
闪存(K 字节)		32	64	32	64	128	32	64	128	64	128
RAM(K 字节)		10	20	10	20	20	10	20		20	
定时 器	通用	2	3	2	3	3	2	3		3	
	高级	1		1			1			1	
通信	SPI	1	2	1	2	2	1	2		2	
	I <sup>2</sup> C	1	2	1	2	2	1	2		2	
	USART	2	3	2	3	3	2	3		3	
	USB	1	1	1	1	1	1	1		1	
	CAN	1	1	1	1	1	1	1		1	
通用 I/O 端口		26		32			51			80	
12 位同步 ADC		2 10 通道		2 10 通道			2 16 通道				
CPU 频率		72MHz									
工作电压		2.0 至 3.6V									
工作温度		-40—85℃/-40—105℃									
封装		VFQFPN36		LPFP48			LQFP64			LQFP100 BGA100	

## (2) 中断控制器

### 嵌套的向量式中断控制器 (NVIC)

STM32F103xx 增强型内置嵌套的向量式中断控制器，能够处理多达 43 个可屏蔽中断通道（不包括 16 个 Cortex-M3 的中断线）和 16 个优先级。中断管理功能控制灵活。

### 外部中断/事件控制器 (EXTI)

外部中断/事件控制器包含 19 个边沿信号检测器来产生中断/事件请求。可以单独地配置每个中断线的触发事件（上升沿或下降沿或双边沿），也可以单独地屏蔽每个中断线；有一个挂起寄存器维持所有中断请求的状态。EXTI 可以检测到脉冲宽度小于内部 APB2 的时钟周期。多达 80 个通用 I/O 口连接到 16 个外部中断线。

## (3) 启动和电源方案

时钟和启动：启动时系统时钟的进行选择，复位时 CPU 选择内部 8MHz 的 RC 振

荡器为默认的时钟，随后可以选择外部的、具失效监控的 4~16MHz 时钟；当外部时钟失效时，它将被隔离，同时会产生相应的中断。同样，在需要时可以采取对 PLL 时钟完全的中断管理（如当一个外接的振荡器失效时）。

自举模式：即从用户闪存自举、从系统存储器自举、从 SRAM 自举三种，在启动时，自举管脚被用于选择三种自举模式中的一种；自举加载器存放于系统存储器中，可以通过 USART 对闪存重新编程。

供电方案：

$V_{DD}=2.0-3.6V$ ： $V_{DD}$  管脚提供 I/O 管脚和内部调压器的供电；

$V_{SSA}$ ,  $V_{DDA}=2.0-3.6V$ ：为 ADC、复位模块、RC 振荡器和 PLL 的模拟部分提供供电。使用 ADC 时， $V_{DD}$  不得小于 2.4V；

$V_{BAT}=1.8$  至 3.6V：当（通过电源开关）关闭 VDD 时，为后备寄存器、RTC 和外部 32kHz 振荡器供电。

供电监控器：器件内部集成了一直处于工作状态的上电复位(POR)/掉电复位(PDR)电路，当供电超过 2V 时可保证系统正常工作；当 VDD 低于设定的阈值（VPOR/PDR）时，自动将器件置于复位状态，而无需外部复位电路；

器件中还内置了一个可编程电压监测器（PVD），它用来监视 VDD 供电并与阈值 VPVD 比较，当 VDD 高于或低于电压阈值 VPVD 时 PVD 将产生中断，系统根据中断处理程序发出警告信号或直接将微控制器置于安全模式。整个过程需要提前通过程序开启 PVD。

电压调压器：调压器有三个操作模式：主模式（MR）、低功耗模式（LPR）和关断模式。主模式（MR）用于正常的运行操作；低功耗模式（LPR）用于 CPU 的停机模式；关断模式用于 CPU 的待机模式。

低功耗模式：STM32F103xx 增强型支持三种低功耗模式，即睡眠模式、停机模式、待机模式。

#### ① 睡眠模式

只有 CPU 停止工作，其他所有外设正常工作，在外设发生中断/事件的时候，CPU 被唤醒。

#### ② 停机模式

停机模式下，内部所有 1.8V 的供电停止，关闭 PLL、HSI 和 HSE 的 RC 振荡器，此时调压器可被置于低功耗或普通模式。在保持不丢失寄存器和 SRAM 内容的情况下，停机模式是最低消耗电能的模式。

微控制器可以采用任何一个被配置成 EXTI 的信号从停机模式唤醒，EXTI 信号包括 16 个外部 I/O 口之一、PVD 的输出、RTC 闹钟或 USB 的唤醒信号。

### ③ 待机模式

待机模式下，关闭内部的电压调压器，切断所有内部 1.8V 部分的供电；PLL、HSI 和 HSE 的 RC 振荡器也被置入关闭状态；待机模式进入后，存储在寄存器和 SRAM 的内容将被丢失，但仍然保留后备寄存器存放的内容，待机电路依然正常工作。因此待机模式可以达到最低的电能消耗。

退出待机模式的条件有数种：IWDG 复位、NRST 上的外部复位信号、WKUP 管脚的一个上升沿信号或 RTC 闹钟时间到。

### (4) 直接内存存取 (DMA)

配有 7 路通用 DMA，可灵活管理存储器到设备、设备到存储器和存储器到存储器的数据传输；通过 DMA 控制器管理环形缓冲区，可避免数据传输到达缓冲区末端时控制器所产生的中断。

7 路通道全部都有各自专门的硬件 DMA 请求逻辑，同时每个通道也可以通过软件触发；可以通过软件单独设置传输的源地址和目标地址、传输的长度。

DMA 可以用于主要的外设：SPI、I<sup>2</sup>C、USART、通用和高级定时器 TIMx 和 ADC。

### (5) 实时时钟 (RTC) 和后备寄存器

RTC 和后备寄存器使用同一个开关提供电源，当  $V_{DD}$  有效时，开关选择  $V_{DD}$  供电，若  $V_{DD}$  无效则通过  $V_{BAT}$  管脚提供电源。后备寄存器即 10 个 16 位的寄存器，其作用是当  $V_{DD}$  电源消失时，可以用于保存数据。

RTC 内部包含了一组连续运行的计数器，因此可通过软件控制提供时钟及日历功能，并且具有阶段性中断和闹钟中断功能。RTC 的驱动时钟形式比较多样，可以使用 32.768kHz 的外部晶体振荡器，也可以是内部低功耗 RC 振荡器或经 128 分频的高速外部时钟。其中内部低功耗 RC 振荡器的典型振荡频率为 32kHz。RTC 通过输出一个 512Hz 的信号的进行校准，以补偿天然晶体的偏差。RTC 配置了一个 32 位的可编程计数器，通过比较寄存器能够产生闹钟信号。还有一个用于时基时钟的 20 位预分频器，它将在默认状态下、时钟为 32.768kHz 时会产生一个 1 秒长的时间基准。

### (6) 看门狗

独立的看门狗：独立的看门狗包含一个 8 位的预分频器和一个 12 位的减法计数器，其时钟由一个独立 32kHz 内部 RC 振荡器提供，由于此 RC 振荡器由主时钟独立提供时钟频率，所以它既可以在停机模式下使用，也可以在待机模式下使用。它可以被当成一个自由定时器管理超时应用程序，也可被当成看门狗在发生问题时复位整个系统。

窗口看门狗：窗口看门狗内包含有一个可以设置成自由运行的 7 位减法计数器。软件运行过程中若发生问题，它可以被当做看门狗用于复位整个系统。它的时钟直接由主时钟提供，具有早期预警中断功能；在调试模式下，计数器可以被冻结。

### (7) 定时器

系统时基定时器：此定时器于操作系统所专用，也可以作为一个标准的递减计数器来使用。它具有 24 位的递减计数器、可编程时钟源、重加载功能、可屏蔽的计数器为 0 中断等特性。

通用定时器(TIMx)：STM32F103xx 增强型系列产品中内置了 3 个同步标准定时器。每个定时器均包含一个 16 位预分频器、一个 16 位的自动加载的递加/递减计数器和 4 个独立的通道，4 个独立通道中的每个通道都可用于输入捕获、输出比较、PWM 和单脉冲模式输出，在最大的封装配置下最多可提供 12 个输入捕获、输出比较和 PWM 通道。它们还能通过定时器的链接功能与高级控制定时器共同工作，提供同步或事件链接功能。任一标准定时器都能用于产生 PWM 输出。每个定时器都有独立的 DMA 请求机制。

高级控制定时器 (TIM1)：可以当作一个完整的通用定时器使用，也可以看作是一个分配到 6 个通道的三相 PWM 发生器。具有四个独立的通道，这些通道可以用于：输入捕获、输出比较、产生 PWM (边缘或中心对齐模式)、单脉冲输出、反相 PWM 输出，具有程序可控的死区插入功能。

当 TIM1 当作 16 位标准定时器使用时，它功能与 TIMx 定时器相同。当 TIM1 当作 16 位 PWM 发生器使用时，它将具备全调制能力 (0~100%)。在调试模式下，计数器可以被冻结。

高级控制定时器的内部结构都与标准的 TIM 定时器相同，很多功能也相同，所以它可以通过定时器的链接功能与标准的 TIM 定时器协同操作，提供同步或事件链接功能。

#### (8) 总线及接口

I<sup>2</sup>C 总线：配置有多达 2 个 I<sup>2</sup>C 总线接口，支持标准模式和快速模式，能够工作于多主模式和从模式。它们支持的寻址方式有主模式下的 7/10 位寻址和双从地址寻址 (只有 7 位)。它们支持 SM 总线 2.0 版/PM 总线，可以使用 DMA 操作。并且内置了硬件 CRC 发生器/校验器。

通用同步/ 异步接受发送器 (USART)：接口具有硬件的 CTS 和 RTS 信号管理、支持 IrDA 的 SIR ENDEC、与 ISO 7816 兼容并具有 LIN 主/从功能。其中只有一个 USART 接口的通信速率可以高达 4.5 兆位/秒，其他的通信速率为 2.25 兆位/秒。USART 接口也可使用 DMA 操作。

串行外设接口 (SPI)：多达 2 个 SPI 接口，在主或从模式下，全双工通信和半双工通信速率均可达 18 兆位/秒。3 位的预分频器可配置成每帧 8 位或 16 位，可产生 8 种主模式频率，。硬件的 CRC 产生/校验支持基本的 SD 卡和 MMC 模式。2 个 SPI 接口都可以使用 DMA 操作。

控制器区域网络 (CAN): CAN 接口兼容 2.0A 和 2.0B (主动) 规范, 位速率达 1 兆位/秒。它可以接收和发送 11 位标识符的标准帧, 也接收和发送 29 位标识符的扩展帧。具有 2 个接收 FIFOs, 3 级 14 个可调节的滤波器。内部 SRAM 缓冲最多可处理 32 个报文对象。

通用串行总线 (USB): STM32F103xx 增强型系列产品内嵌一个 USB 设备, 遵循 USB 全速标准; USB 接口实现全速 (12 兆位/秒) 的设备功能; 具有可软件配置的端点和待机/恢复功能。专用的 48MHz 时钟由内部主 PLL 直接产生。

通用输入输出接口 (GPIO): 每个 GPIO 管脚都可通过软件配置成输入 (带或不带上拉或下拉)、输出 (推拉或开路) 或其它外设功能; 所有的 GPIO 管脚都能承受大电流通过。多数 GPIO 管脚都与模拟或数字的外设功能管脚共用。

如果需要, 可通过特定的操作锁定 I/O 管脚的外设功能, 从而避免了意外的写入 I/O 寄存器。在 APB2 上的 I/O 脚翻转速度可达 18MHz。

#### (9) 其它配置

ADC(模/数转换器): STM32F103xx 增强型产品内置 2 个 12 位的模/数转换器(ADC), 每个 ADC 的外部通道多达 16 个, 可以执行单次或扫描模式转换; 在扫描模式下, 转换在一组选定的模拟输入上自动进行。ADC 可以使用 DMA 操作。

由标准定时器 (TIMx) 和高级控制定时器 (TIM1) 产生的事件, 可以分别内部级联到 ADC 的开始触发、外部触发和 DMA 触发, 允许应用程序同步 AD 转换和时钟的操作。

温度传感器: 内置的温度传感器可以产生一个电压, 此电压随温度线性变化, 转换范围在  $2V < VDDA < 3.6V$  之间。温度传感器在内部被连接到 ADC12\_IN16 的输入通道上, 用于将传感器的输出转换到数字数值。

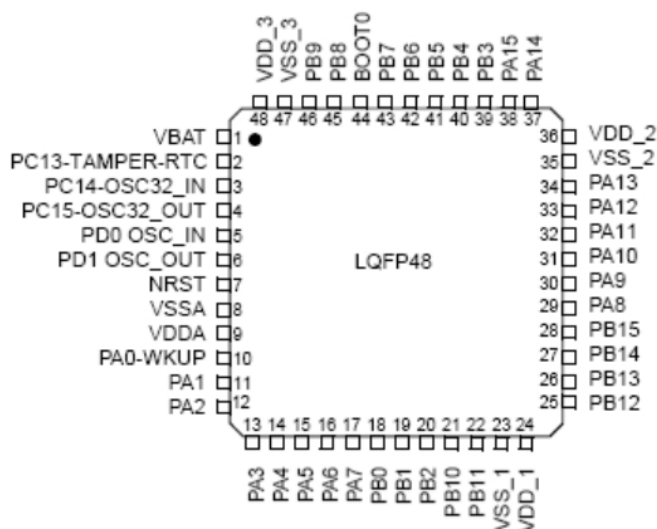


图 3.2 STM32F103C8T6 引脚图

串行线 JTAG 调试口 (SWJ-DP): 内嵌 ARM 的 SWJ-DP 接口和 JTAG 接口, JTAG 的 TMS 和 TCK 信号分别与 SWDIO 和 SWCLK 共用管脚, TMS 脚上的一个特殊的信号序列用于在 JTAG-DP 和 SWJ-DP 间切换。

### 3.3 MF RC522 芯片

MF RC522 是一种应用于 13.56MHz 非接触式通信中高集成度读写卡芯片。其特点是体积小、低成本、低电压, 是 NXP 公司针对“三表”应用推出的, 是便携式手持设备和智能仪表研发的首选。

MF RC522 完全集成了通信频率为 13.56MHz 的所有被动非接触式通信方式和协议。它采用先进的调制和解调概念, 支持 ISO 14443A 通信协议的多层应用。由于其内部的发送器模块可直接驱动读写器天线与 ISO 14443A/MIFARE 卡及应答机的通信, 所以无需其它电路来驱动。为了处理 ISO 14443A 兼容的应答器信号, 其接收器模块植入一个有效可靠的解码和解调电路。数字部分用于处理 ISO 14443A 帧和错误检测(奇偶&CRC)。此外, 它还支持快速 Crypto1 加密算法, 用于验证 MIFARE 系列产品。MF RC522 支持 MIFARE 更高速的非接触式通信, 双向数据传输速率高达 424kbit/s。

MF RC522 与 MF RC500 和 MF RC530 均为 13.56MHz 通信高集成度读写卡系列芯片, 故它们之间有诸多共同点, 而作为新产品的 MF RC522 同时也具有很多特点和差异。它采用串行通信的方式与主机间的通信, 串行通信连线较少, 且可根据不同的用户需求, 选取 SPI、I<sup>2</sup>C 或串行 UART (类似 RS232) 模式之一, 有利于减少连线, 缩小 PCB 板体积, 降低成本。

#### 3.3.1 MF RC522 芯片特性

MF RC522 具有如下特性:

- ◆ 高度集成的模拟电路, 解调和译码响应;
- ◆ 缓冲的输出驱动器与天线的连接使用最少的外部元件;
- ◆ 支持 ISO14443A/MIFARE;
- ◆ 读写器模式中 与 ISO14443A/MIFARE 的通信距离高达 50mm, 取决于天线的长度和调谐;
- ◆ 读写器模式下支持 MIFARE Classic 加密;
- ◆ 支持 ISO14443 212kbit/s 和 424kbit/s 的更高传输速率的通信;
- ◆ 支持的主机接口:
  - 10Mbit/s 的 SPI 接口
  - I<sup>2</sup>C 接口, 快速模式的速率为 400kbit/s, 高速模式的速率为 3400kbit/s
  - 串行 UART, 传输速率高达 1228.8kbit/s, 帧取决于 RS232 接口, 电压电平



取决于提供的管脚电压

- ◆ 64 字节的发送和接收 FIFO 缓冲区；
- ◆ 灵活的中断模式；
- ◆ 低功耗的硬复位功能；
- ◆ 软件掉电模式；
- ◆ 可编程定时器；
- ◆ 内部振荡器，连接 27.12MHz 的晶体；
- ◆ 3.3V 的电源电压；
- ◆ CRC 协处理器；
- ◆ 自由编程的 I/O 管脚；
- ◆ 内部自测试；

### 3.3.2 MF RC522 简化框图

图 3.3 为简化的 MF RC522 结构框图。其中，模拟接口用来调制和解调模拟信号。非接触式 UART 的作用是处理与主机通信时的协议要求。FIFO 缓冲区快速而方便的实现了主机和非接触式 UART 之间的数据传输。不同主机接口功能可满足不同用户的要求。

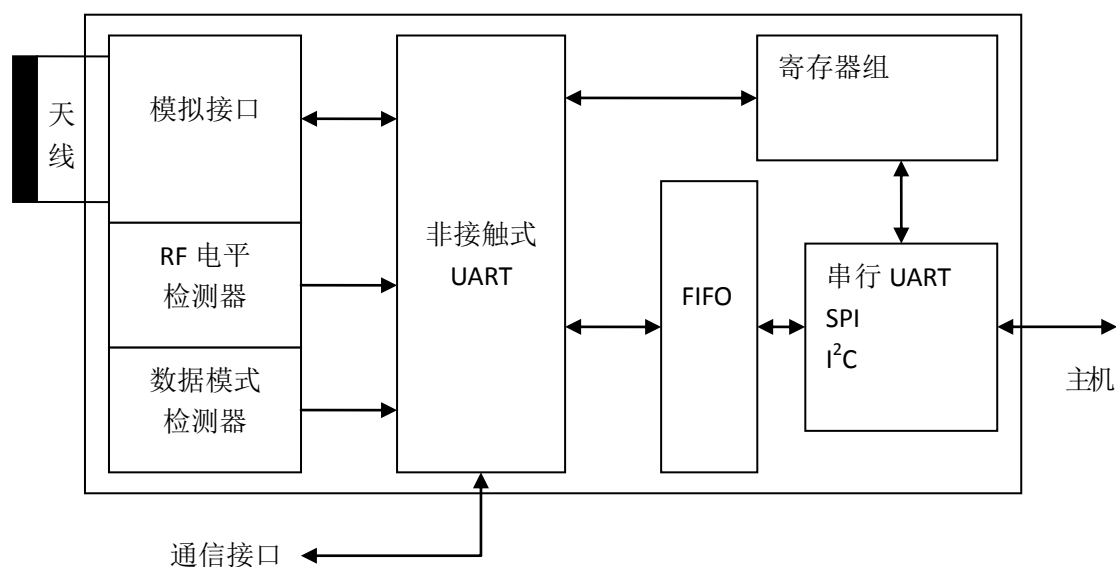


图 3.3 简化的 MF RC522 结构框图

### 3.3.3 MF RC522 主要引脚说明

MF RC522 采用 HVQFN32 的封装形式，其引脚图如图 3.4 所示。表 3.3 为其主要引脚说明。

表 3.3 MF RC522 管脚描述

注：管脚类型：I-输入；O-输出；PWR-电源

符号	HVQFN32	类型	描述
OSCIN	21	I	<b>晶振输入：</b> 振荡器的反相放大器的输入。它也是外部产生的时钟的输入（fosc=27.12MHz）
IRQ	23	O	<b>中断请求：</b> 输出，用来指示一个中断事件
SIGIN	7	I	信号输入
SIGOUT	8	O	信号输出
TX1	11	O	<b>发送器 1：</b> 传递调制的 13.56MHz 的能量载波信号
TX2	13	O	<b>发送器 2：</b> 传递调制的 13.56MHz 的能量载波信号
TVDD	12	PWR	<b>发送器电源：</b> 给 TX1 和 TX 的输出级供电。
TVSS	10, 14	PWR	<b>发送器地：</b> TX1 和 TX2 的输出级的地
DVSS	4	PWR	<b>数字地</b>  <b>不同接口地数据管脚（测试端口、I<sup>2</sup>C、SPI、UART）</b>
D1	25	I/O	
D2	26	I/O	
D3	27	I/O	
D4	28	I/O	
D5	29	I/O	
D6	30	I/O	
D7	31	I/O	
SDA	24	I	<b>串行数据线</b>
EA	32	I	<b>外部地址：</b> 该管脚用来编码 I <sup>2</sup> C 地址
I <sup>2</sup> C	1	I	<b>I<sup>2</sup>C 功能</b>
DVDD	3	PWR	<b>数字电源</b>
AVDD	3	PWR	<b>模拟电源</b>
AUX1	19	O	<b>辅助输出：</b> 这两个管脚用于测试
AUX2	20	O	
AVSS	18	PWR	<b>模拟地</b>
RX	17	I	<b>接收器输入：</b> 接受的 RF 信号管脚
VMID	16	PWR	<b>内部参考电压：</b> 该管脚提供内部参考电压。
NRSTPD	6	I	<b>不复位和掉电：</b> 管脚为低电平时，切断内部电流吸收，关闭振荡器，断开输入管脚与外部电路的连接，管脚的上升沿来启动内部复位阶段
OSCOUT	22	O	<b>晶振输出：</b> 振荡器的反相放大器的输出
TESTPIN	22		<b>不连接：</b> 三态管脚
PVDD	2	PWR	<b>管脚电源</b>
PVSS	5	PWR	<b>管脚电源地</b>

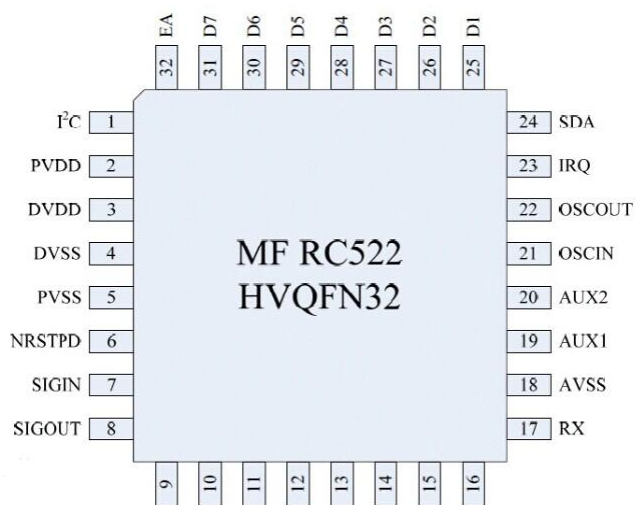


图 3.4 MF RC522 引脚图

### 3.4 系统硬件电路的设计

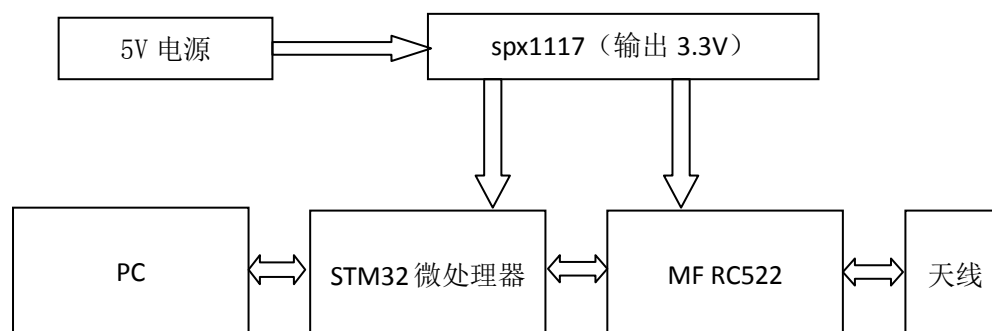


图 3.5 电路整体逻辑图

根据系统的电路整体逻辑图(图 3.5),设计出系统硬件电路的原理图及 PCB 版图,最终送到 PCB 生产商加工成形,通过手工焊接电路的元器件,完成硬件电路的制作。下面将对主要的电路模块设计做出详细介绍。

#### 3.4.1 射频模块 MF RC522 电路

射频模块 MF RC522 是整个读卡器的核心,它是射频卡与单片机通信的桥梁。读卡器的所有功能都将通过 MF RC522 来完成,如射频信号的产生、调制、解调等。MF RC522 与 MIFARE1 卡通过射频场来完成连接与数据交换。IC 卡和 MF RC522 之间的数据传输和能量传递的过程其实是两个线圈之间的耦合,从读卡器发射给卡的数据信息在调制前采用的是米勒编码,而从卡到读卡器的数据信息采用的是曼彻斯特编码<sup>[10]</sup>。射频模块电路原理图设计如图 3.6 所示。

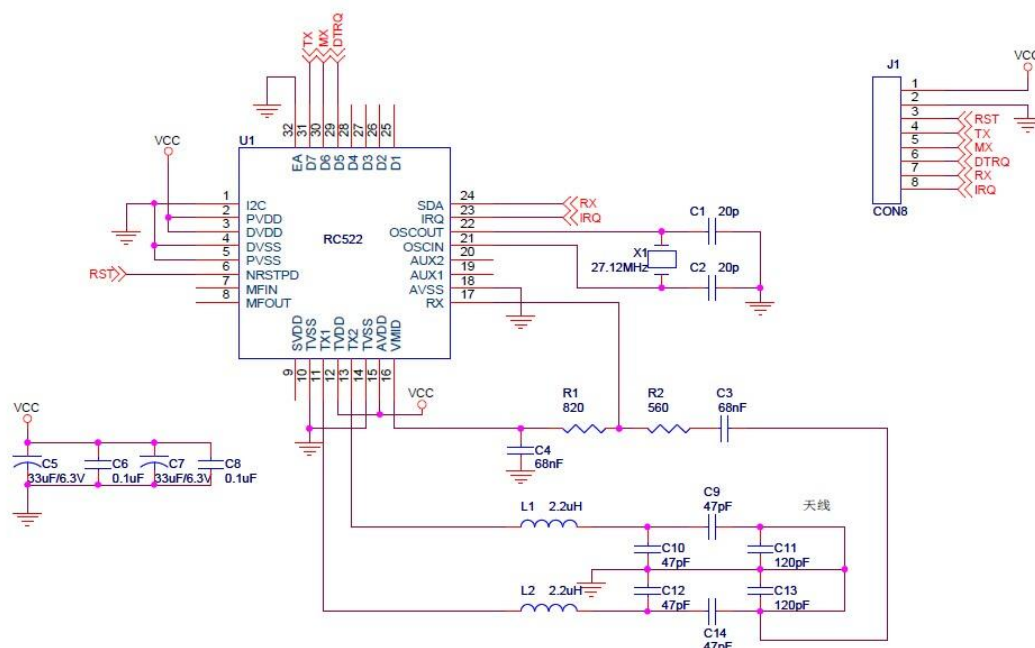


图 3.6 射频模块电路原理图

电路中 MF RC522 所使用电源为 3.3V。MF RC522 通过硬件（EA 引脚接地）设置成串口模式（UART 模式），通过 SDA 与 IRQ 和微处理器进行通信。27.12MHz 晶体振荡器提供时钟频率。通过 TX1 与 TX2 连接天线电路。

### 3.4.2 天线的设计

射频读卡器中天线路用于向无源标签供给能量，同时在读卡器和标签之间传递信息<sup>[13]</sup>。

#### （1）读写距离

对于单个 500mm×500mm 的天线，若功率为 500mW，则它识别卡的距离最远为 500mm。如果读卡器利用双天线，则它识别卡的距离能够增大到大约 1m。通常影响识别卡的距离的主要因素是天线外形尺寸和输出功率。所以在设计读卡器电路的时候，尽量增大读卡器的天线尺寸和输出功率以增大的识别卡的距离。另外，在一般情况下，写卡的有效距离小于读卡的有效距离。

#### （2）电子标签的方向性

无源电子标签的工作时所需要的能力是通过和读卡器天线磁场耦合来获得的，故电子标签识别时的方向会直接影响到耦合系数，进而影响到标签能量的获取和通信的可靠性。图 3.7 为标签耦合示意图。当标签与读卡器天线处于最佳耦合状态时，即达到最优的方向，电子标签与磁力线成直角。所以，当电子标签面对天线时读写效果最好。如果

将标签放置到天线两侧，此时的方向性最差，标签的位置和磁力线平行，读写效果最差。但在此区域中，若标签与天线角度合适，也可读取标签信息。

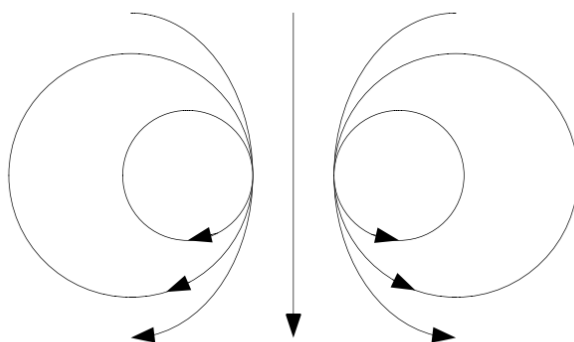


图 3.7 标签耦合示意图

图 3.8 为天线盲区示意图。实验证明，若标签按图中的方向放置，一般情况下，单个天线的读卡盲区就是图中黑线之外的区域。另外，有实验证明若将电子标签的位置旋转到与最佳位置的角度成 40 度的区域时，读写卡操作也可以正常进行。

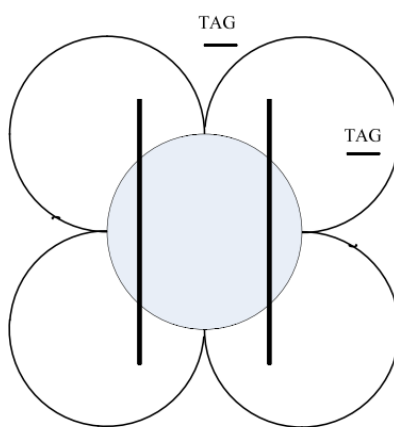


图 3.8 天线盲区示意图

### (3) 天线品质因数

天线的品质因数  $Q$  影响着天线的性能。通常若天线的尺寸一定，则  $Q$  值越高，输出功率就越大。但是  $Q$  值过高又会影响到读写器的带宽。图 3.9 为  $Q$  值和 3dB 带宽的关系示意图，并且标出了两个副载波频率点，图中指出当天线负载（即读写器输出阻抗）为 50 时， $Q$  值应不超过 30。

电感耦合式 RFID 读写器天线用来产生磁通量，而磁通量的作用是为电子标签提供电源，并且作为在读写器与电子标签之间传递信息的载体。因此，设计读写器天线时需

要注意遵循三个基本要求：

- ① 为了使产生的磁通量达到最大，应使流过天线线圈的电流最大。
- ② 为了最有效的利用产生磁通量的可用能量，应采取功率匹配。
- ③ 为了使数据调制的载波信号无失真的传送，应使天线具有足够的带宽。

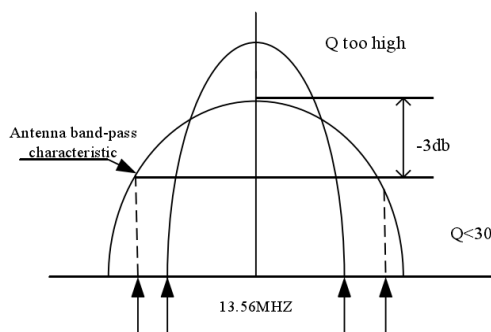


图 3.9 天线的 Q 值

谐振频率和品质因数  $Q$  是电感耦合式 RFID 读写器天线电路的两个特征值，品质因数  $Q$  非常重要，它直接影响着天线的读写距离。 $Q$  值可以通过电感线圈的电抗与电阻的比值计算出来。 $Q$  值越高，读写器天线电压越高，非接触式 IC 获得的能量越高。而读写器天线的传输带宽又与  $Q$  值成反比。 $Q$  值越高，带宽越小，从而 IC 卡接收到的信号调制边带明显地减弱。此外，由于无源非接触式的 MIFARE 卡工作的能量是通过天线感应来的，而由于卡形状的限制，卡中封装的天线尺寸很有限，故接收到的能量也较小，从而使得读写器的识别距离较短，一般小于 100mm。

### 3.4.3 控制电路设计

该读卡器系统采用 STM32F103C8T6 微处理器作为控制核心，实现读卡器与上位机的通讯及与射频收发模块的通讯。

#### （1）电源电路

系统电源电路如图 3.10 所示。电源采用外置+5V 直流电源供电，通过低压差稳压器 spx1117 输出稳定+3.3V 直流电压，为 STM32 微处理器提供电源电压。并采用 1A/10V 保险管 F1 进行过流保护。发光二极管 D1 为系统电源指示灯。电容 C5、C7 用以抵消输入端较长接线的电感效应，以防止自激振荡，还可抑制电源的高频脉冲干扰。输出端电容 C6、C8 用以改善负载的瞬态响应，消除电路的高频噪声，同时也具有消振作用。

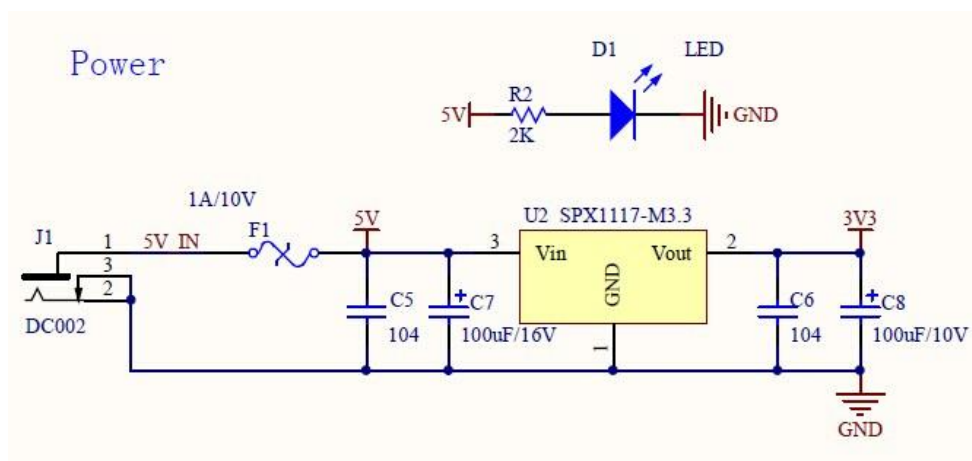


图 3.10 电源电路

## (2) 复位电路

复位电路如图 3.11 所示。其中 RESET 端连接到单片机的 7 管脚复位端口，当按键 K1 按下时，RESET 产生低电平，使得单片机复位。

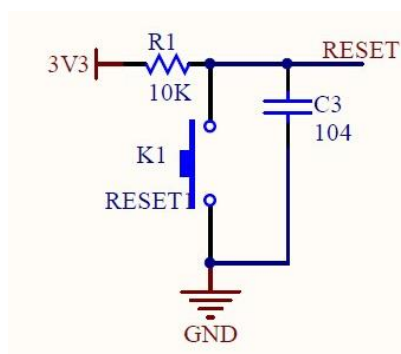


图 3.11 单片机复位电路

## (3) STM32F103C8T6 微处理器电路

系统所使用的控制核心为 STM32F103C8T6 微处理器，其工作电源为直流+3.3V。在其电源端串接电感 L1、并接电容 C13、C14，用以滤除高频噪声，消除自激振荡。STM32 单片机采用 8MHz 频率的时钟。通过 PA2、PA3 端口连接到与上位机通信接口电路，完成与上位机的通信。PA9、PA10 端口连接到 RC522，实现单片机与 RC522 的通信。图 3.12 为 STM32 单片机电路原理图。

## (4) 上位机通信接口电路

单片机与上位机通信接口采用 SP202ECT 芯片。SP202ECT 是一种高性能串行通信接口芯片，它符合 RS232 接口标准和 V.28 串行通信协议。其引脚完全兼容行业其它流行的串行通信接口芯片引脚。电路如图 3.13 所示。发光二极管 D2、D3 是发送与接收数据的信号指示灯。

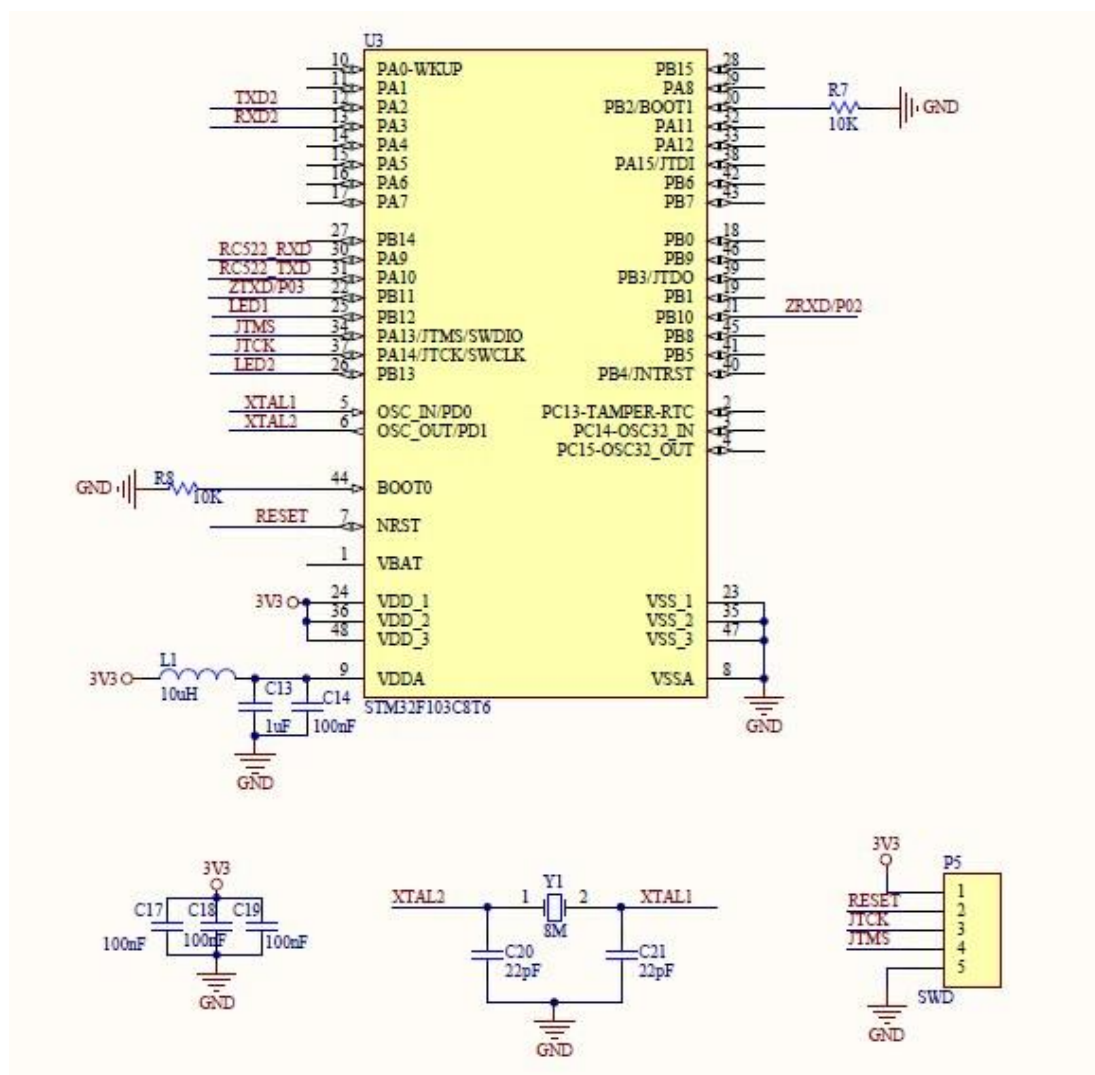


图 3.12 STM32 单片机电路原理图

### 3.5 S50 卡

本读卡器所使用的 RFID 卡为 S50 卡。S50 卡是采用 NXP MF1 IC S50 制作的非接触智能卡，通常简称 S50 卡或 Mifare 1K，符合 ISO 14443A 标准，4 或 7 字节 UID。1K 数据存储区，数据有密钥保护。可提供白卡、印刷卡、纸质不干胶标签、钥匙链、TOKEN，且有多种大小规格及薄卡和厚卡。主要应用：门禁、考勤、会议签到、身份识别、物流、工业自动化、各种会员卡、如售饭、地铁、公交代币卡、俱乐部等电子消费、电子门票、动物识别、目标跟踪、洗衣管理、各种一卡通等<sup>[33]</sup>。

主要性能参数：

- 通讯速率：106Kbps
- 读写距离：0~100mm



- 读写时间：1~5ms
- 工作温度：-20℃~+55℃
- 擦写寿命：>100,000 次
- 数据保存：>10 年
- 外形尺寸：ISO 标准卡 85.6×54×0.82
- 封装材料：PVC、PET、PETG、0.13mm 铜线
- 封装工艺：超声波自动植线/自动碰焊
- 执行标准：ISO 14443A
- 可供尺寸：85.6×54, 83×20, 70×40, 50×50, 45×45, 45×28, 44×20, 38×38, 35×30

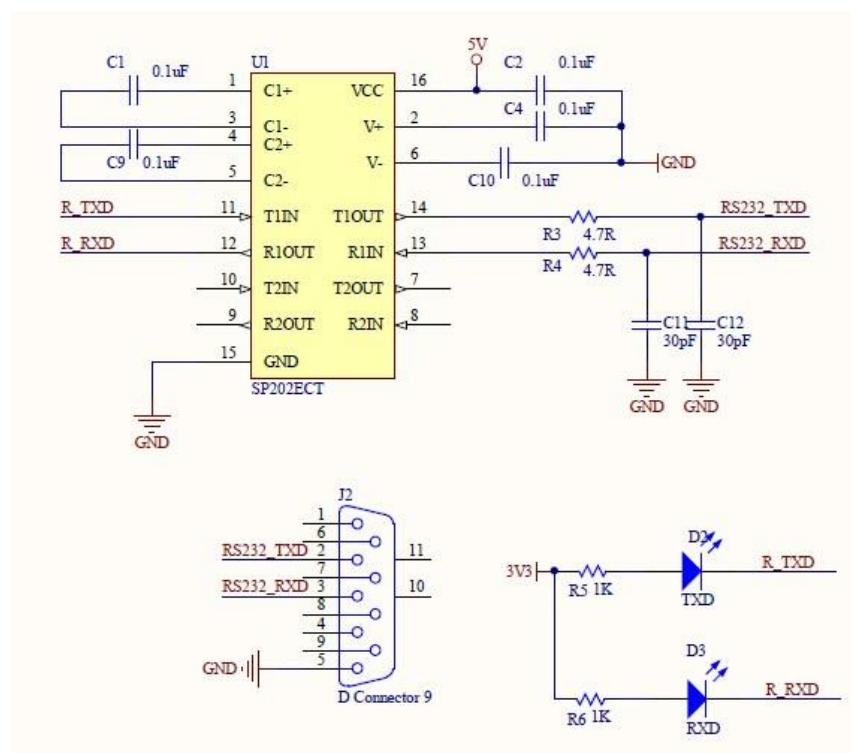


图 3.13 上位机通信接口电路原理图

## 第 4 章 读卡器的软件设计

### 4.1 软件总体设计方案

读卡器必须在软件的控制下进行工作，本章节主要讲述了读卡器系统软件的设计原理，包括读卡器控制主程序、读卡、寻卡、写卡以及与上位机通讯的子程序，并且给出上位机软件的编写方案。

读卡器系统的软件运行整体流程图如图 4.1 所示。系统启动后，先初始化 STM32 单片机外设及 MF RC522 模块，初始化完成后，系统开始等待接收上位机指令；当系统接收到一个有效的指令后，首先将开始判断是否为寻卡指令，若是，则 STM32 将驱动 RC522 寻找标签；若否则判断是否为读卡指令，若是读卡指令，则 STM32 驱动 RC522 读标签指定扇区、指定块的数据，否则判断是否为写卡指令，若是则 STM32 驱动 RC522 写标签指定扇区、指定块的数据。如果以上均为否，则系统重新返回等待接收指令。若已执行完寻卡、读卡或写卡指令，系统将会将数据打包发送到上位机，然后在进入等待指令状态。

单片机使用 Keil 软件开发，Keil 通过一个集成开发环境（ $\mu$ Vision）将 C 编译器、连接器、库管理、宏汇编和一个功能强大的仿真调试器等部分组合在一起，功能强大。与汇编相比，C 语言具有简洁紧凑、灵活方便、运算符丰富、数据类型丰富、表达方式灵活实用等诸多特点，易学易用，因此单片机开发语言采用 C 语言。上位机界面采用 NI 公司的 LabVIEW 软件开发。LabVIEW 是一种程序开发环境，由美国国家仪器（NI）公司研制开发，类似于 C 和 BASIC 开发环境，但是 LabVIEW 与其他计算机语言的显著区别是：其他计算机语言都是采用基于文本的语言产生代码，而 LabVIEW 使用的是图形化编辑语言 G 编写程序，产生的程序是框图的形式。LabVIEW 软件是 NI 设计平台的核心，也是开发测量或控制系统的理想选择。

### 4.2 读卡器 STM32 单片机软件设计

#### 4.2.1 读卡器与 IC 卡的通信协议

读卡器与 IC 卡的通信过程，就是读卡器与 IC 卡之间进行数据交换和处理 IC 卡内 E<sup>2</sup>PROM 中的数据的过程。在数据交换时，为了保证卡和读卡器之间数据能够同步并且能正确识别、接收，需要建立系统的通信协议。

国际上关于近距离识别 IC 卡的标准是 ISO 14443。ISO 14443 标准中的非接触 IC 卡类型有 Type A 和 Type B。Mifare1 卡及其对应的高频读写控制芯片 MF RC522 都符合 ISO 14443A（简称为 ISO 14443A）通信标准。下面从物理特性、射频接口、初始化与防冲

突、传输协议 4 个方面介绍 ISO 14443A 标准。

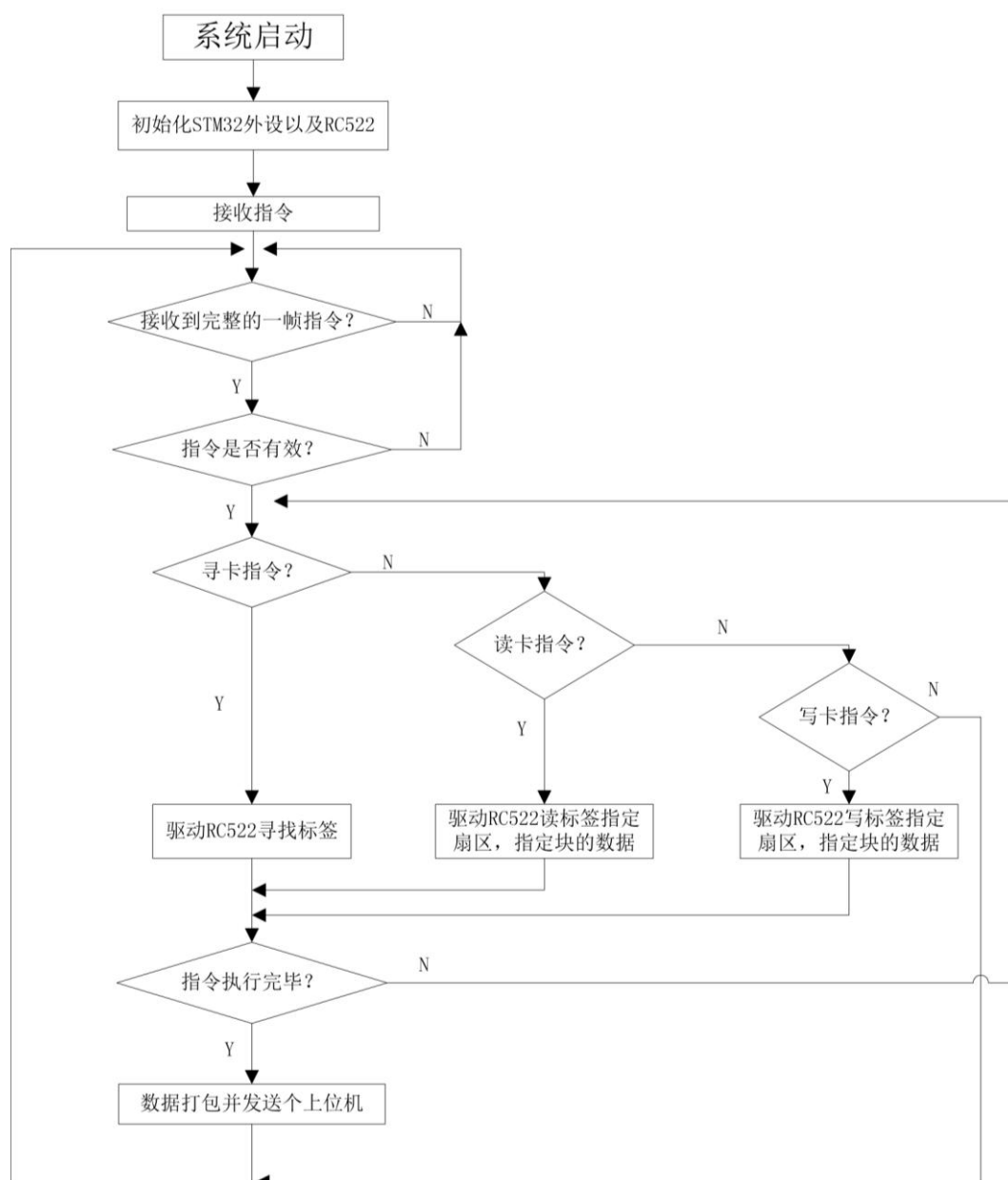


图 4.1 系统软件流程图

### (1) 物理特性

物理特性规定了 IC 卡的尺寸、形状等一些机械性能。尺寸为  $85.72\text{mm} \times 54.03\text{mm} \times 0.76\text{mm} \pm \text{容差}$ ，符合国际标准 ISO 7810 的规定。此外还有对使用 X 射线、紫外线和电磁射线的辐射试验以及扭曲和弯曲试验的附加说明<sup>[17]</sup>。

### (2) 射频接口

Type A 型 IC 卡通信接口规定数据从读写器往 IC 卡传输的调制方法采用改进型

Milier 编码的 100% 振幅键控调至。为了保证连续通过电磁感应的方式对 IC 卡供电，回扫间隙大概短至 2-3us。使用频率为  $f_H=847\text{kHz}$  ( $13.56\text{MHz}/16$ ) 副载波的负载调制方法实现从 IC 卡到读写器数据传输。在两种传输方向上，波特率为  $f_{Bd}=106\text{kb/s}$  ( $13.56\text{MHz}/128$ )。在两种传输方向上传输特点如表 4.1 所示。

表 4.1 Type A 卡数据传输表

Type A	PCD 至 PICC	PICC 至 PID
调制	ASK100%	用振幅键控调制的 847kHz 负载调制的副载波
位编码	改进型 Miller 编码	Manchester 编码
同步	位级同步（帧起始、帧结束标记）	1 位“帧同步”（帧起始、帧结束标记）
波特率	106kbps	106kbps

### （3）初始化与防冲突

当一个 Type A 型卡到达了阅读器的作用范围内，并且有足够的供应电能，IC 卡就首先执行相关的预置程序，然后进入闲置状态。此时的 IC 卡不能响应阅读器对其它 IC 卡传输的数据。当处于闲置状态的 IC 卡收到有效的请求 A (REQA) 命令时，它会给阅读器回送应答字组 ATQA。IC 卡应答之后，进入 READY 状态。此时阅读器已发现，在其识别范围内至少存在一个 IC 卡。它将发送 SELECT 命令启动“二进制检索树”防碰撞算法，选择出其中一张 IC 卡，对其开始操作。图 4.2 为整个流程。

NVB 是 SELECT 命令的一个参数，其主要作用是描述检索准则的实际长度，一个简单的序列号长度是 4 个字节。阅读器如果要采用防冲突算法查找一个序列号，则阅读器需要在发送 SELECT 命令时发送完整的序列号 (NVB=40H)。具有查找序列号的 IC 卡采用 SELECT 命令选择应答 SAK 来确认这条命令，并处于 ACTIVE 状态，即选择状态。

但是有些序列号的长度并不是 4 字节长。标准也允许 7 字节长甚至 10 字节长的序列号。阅读器如果选择序列号长为 7 字节或 10 字节的 IC 卡，则 IC 卡在应答 SAK 时设定“串联位” ( $b_3=1$ ) 发出信号，并且表示 IC 卡已处于准备好的状态。为了得到序列号的第二部分，阅读器将再一次启动防冲突算法。对于 10 字节的序列号，系统将多次启动防冲突算法。通过在 SCLECT 命令中区分为 3 个串联级，来表明每次启动防冲突算法是为了查找序列号的哪一部分，以使 IC 卡发出对应的信号。这样在查找时，应按照顺序首先从串联级 1 启动。

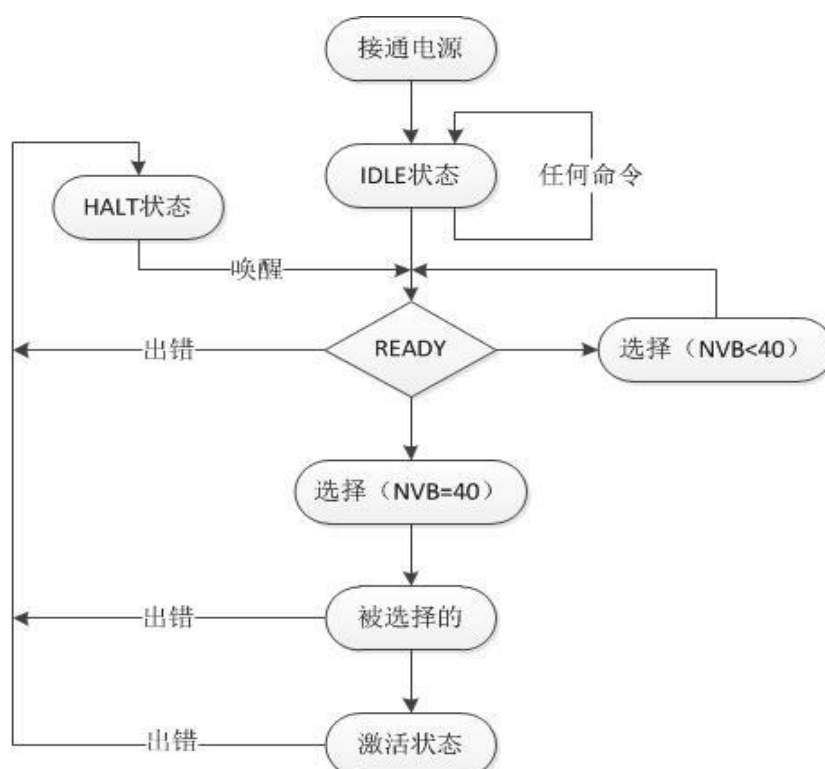


图 4.2 符合 ISO 14443 的 A 型卡的状态图

#### (4) 传输协议

##### ① 激活协议

防冲突算法中，通过发送 SAK 信号（选择响应）来确认 Type A 卡是否被选择。SAK 中含有如下信息：此卡是否具有权限的协议（Mifare），或者此卡是否符合国际标准 ISO 14443-4 协议。

如果符合 ISO 14443-4 协议，则阅读器发送选择请求命令（RATS）来请求 IC 卡的选择响应信息（ATS）。其中，RATS 包含通信中的两个重要参数 FSDI 和 CID。FSDI 规定了卡向阅读器发送数据块允许的最大字节数。CID 为卡识别符，若将一个卡指配给一个 CID，则可通过 CID 在选择状态中让阅读器与多个 Type A 卡同时交换信息。

由 IC 卡作为对 RATS 命令的应答而发送的 ATS（选择响应）相当于保持连接 IC 卡的 ATR（清除响应），并描述了 IC 卡操作系统的重要协议参数。ATS 中包含了表 4.2 中的参数。

##### ② 协议

按照 OSI 分层模型可将 ISO 14443 卡的数据传输分为 7 层，由于第 3-6 层在复杂的局域网通信中才会用到，故 IC 卡不用这几层。下面将主要介绍第 1、2、7 层。

第 1 层为物理层，用来规定数据编码和传输介质，ISO 14443 协议具有 type A 和 type B 两种方法。第 2 层是引导层，主要作用是执行 IC 卡和阅读器之间数据传输控制。其

主要任务有：自动为数据块（CID）正确编址、控制超大数据块（链接）的顺序传输、处理传输错误及监视时间特性等。第 7 层是应用层，主要包括对 IC 卡的命令及对应命令的响应等应用数据。

表 4.2 ATS 中包含的参数表

参数	描述
FSCI	帧长度卡整数：允许阅读器向卡发送的数据块的最大长度
DS	数据速率发送：卡向阅读器发送数据时，支持的 IC 卡数据速率（如 106,204,408,816kbps）
DR	数据速率发送：阅读器向卡发送数据时，支持的 IC 卡数据速率（如 106,204,408,816kbps）
FWI	帧等待：阅读器发送数据后，等待 IC 卡响应的最大时间
SFGI	启动帧保护整数：定义了 ATS 之后执行第一条应用命令而需要的“帧等待时间”
历史字节	历史字节包含着由 IC 卡上操作系统自由定义的附加信息，如版本号

一个 IC 卡被激活后，它将开始等待接受阅读器发送给它的第一个指令。之后将不断重复按照此原理进行数据交换。由于 IC 卡自身并无引导其与阅读器之间的通信的能力，它总是在等待阅读器向它发送的指令，执行完后给阅读器返回相应信号，所以整个过程不能中断。

图 4.3 为 ISO 14443 标准的帧结构。根据功能，分成了三种类型：

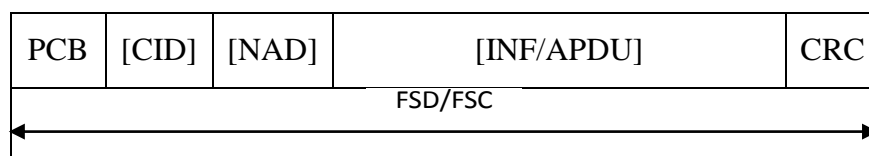


图 4.3 ISO 14443 标准的帧结构

信息块（I 块）：应用层的数据传输（APDU），恢复块（R 块）：传输错误的处理，监控块（S 块）：协议的上层控制。

一般来讲，不同的数据块通过不同的协议控制字（PCB）编码来区分，如图 4.4 所示。

可以选择的 CID 用于对处于阅读器动作区域内的某个 IC 卡进行编址。这样，可以使多个 IC 卡同时被激活，并各自利用自己的 CID 按规定工作。为了保证 ISO 14443-5 和 ISO 14443-3 两个国际标准的相兼容，引入了 NAD 字节（节点地址）。在 ISO 14443 标准中，并没有规定 NAD 字节的应用。在选择信息块（I 块）的时候，其信息域（INF）被当作应用层（APDU）的数据存储器，协议内容被直接传输，不做任何分析和评价<sup>[18][19]</sup>。

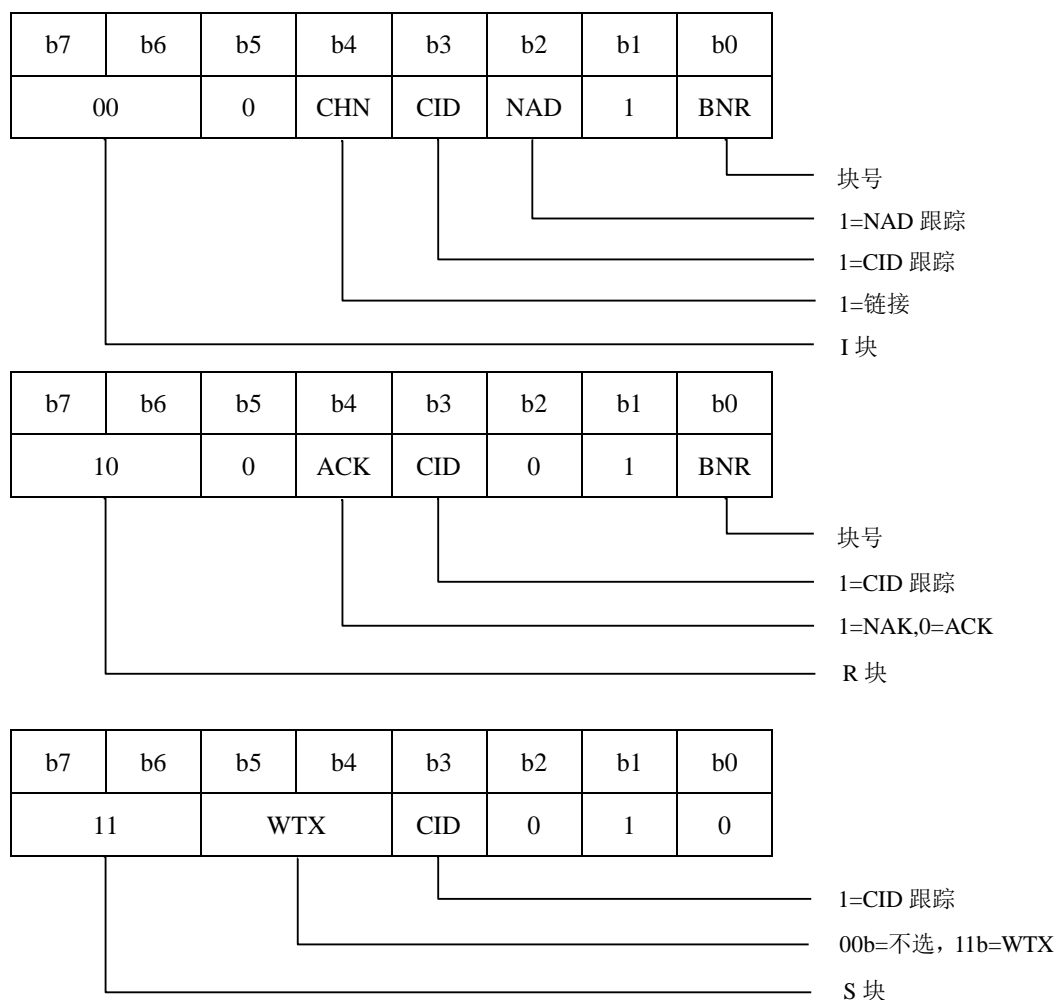


图 4.4 PCB 字节在帧中的编码

#### 4.2.2 读卡器单片机程序设计

单片机使用 Keil 软件进行开发、C 语言编写程序<sup>[20-25]</sup>，采用模块化编程思想。主要有主程序模块、与上位机通信模块、与 RC522 通信模块。主程序的主要功能是 STM32 的初始化<sup>[26-28]</sup>、RC522 的初始化、STM32 串口初始化及波特率设置、关/开天线等操作，并调用其它程序模块中已生成的函数，等待上位机命令。与 RC522 通信程序中，主要有寻卡、防碰撞、选定卡、验证卡密码、读卡、写卡等功能。本文在附录给出了部分程序代码。

## 4.3 上位机软件设计

### 4.3.1 读卡器与上位机传输协议

RFID 读卡器与上位机之间传输的指令格式如表 4.3 所示。

表 4.3 RFID 读卡器与上位机的传输指令格式

帧头	数据长度 1Byte	指令类型	数据区	异或和
FF FE				

以下将分别介绍寻卡、读卡、写卡传输指令格式。

#### (1) 寻卡

##### ① 主机发送指令格式：

帧头	数据长度 1Byte	指令类型	数据区	异或和
FF FE	00	01 (寻卡)	无	Xor

##### ② 回执

帧头	数据长度 1Byte	指令类型	数据区	异或和
FF FE	04	01 (寻卡)	01 02 03 04	Xor

例如，上位机发送寻卡指令：

发送：FF FE 00 01 Xor

接收：FF FE 04 01 01 02 03 04 Xor

Len 标签 ID

#### (2) 读卡

##### ① 主机发送指令格式：

帧头	数据长度 1Byte	指令类型	数据区	异或和
FF FE	02	02 (读卡)	扇区+块编号	Xor

Xor：指帧头 FF 开始到数据区最后一字节的异或值。

##### ② 从机回复：

帧头	数据长度 1Byte	指令类型	数据区	异或和
FF FE	12 (如果读卡失败，则长度为 0)	02 (读卡)	扇区+块编号+块数据 (16 Byte)	Xor

例如，读标签第一扇区，第一块的数据：

主机发送：FF FE 02 02 01 02 Xor



从机回复：

FF FE 12 02 01 02    00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F Xor

Len 扇区+块 +            块数据

(3) 写卡

① 主机发送指令格式：

帧头	数据长度 1Byte	指令类型	数据区	异或和
FF FE	12	03 (写卡)	扇区+块编号+需要写入的数据	Xor

Xor: 指帧头 FF 开始到数据区最后一字节的异或值。

② 从机回复：

帧头	数据长度 1Byte	指令类型	数据区	异或和
FF FE	12	03 (写卡)	扇区+块编号+读到的块数据 (16 Byte)	Xor

例如，向标签第一扇区第一块的写 0x00~0xF 共 16 字节数据：

主机发送：

FF FE 12 03 01 02    00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F Xor

Len 写指令扇区+块            块数据

从机回复：

① 写卡成功：

FF FE 12 03 01 02    00 01 02 03 04 05 06 07 08 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F Xor

Len 写指令扇区+块            块数据

② 写卡失败：

FF FE 00    03    Xor

Len    写指令

#### 4.3.2 上位机软件设计

读卡器上位机界面由 LabVIEW 软件<sup>[29-32]</sup>编写。LabVIEW 是一种程序开发环境，由美国国家仪器（NI）公司研制开发，类似于 C 和 BASIC 开发环境，但是 LabVIEW 与其他计算机语言的显著区别是：LabVIEW 使用图形化语言编写程序，相对于其他采用基于文本的语言产生代码计算机语言较为简单易学。

上位机软件编写流程如图 4.5 所示。系统上电运行后先初始化设备、打开串口，然后等待操作指令。操作指令分为寻卡指令、读卡指令及写卡指令三种，当执行完各自的指令后，系统均将返回相应的数据，系统将自动处理数据后返回继续等待指令；若未返回数据，则操作不成功，系统返回等待操作指令。LabVIEW 部分程序框图见附录 C。

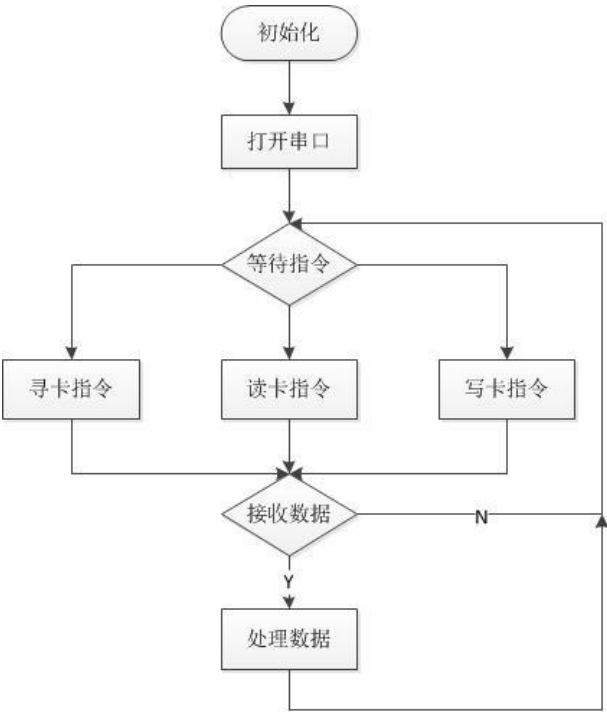


图 4.5 上位机软件流程图

## 第 5 章 读卡器功能测试

### 5.1 系统功能实现测试

#### 5.1.1 系统初始化及复位功能测试

通过 RS232 串口转 USB 线将读卡器与上位机 PC 连接，并通过稳压电源将系统接入+5V 直流电源，上电后，系统工作指示灯 D5（红色）点亮，初始化指示灯 D4（蓝色）点亮 1 秒后熄灭，说明系统初始化成功。上位机 PC 安装好串口转 USB 驱动程序及上位机软件后，将会自动识别硬件并安装驱动程序。并且通过设备管理器可以查看当前串口号，如图 5.1 所示。

按下单片机复位按钮 Reset 后，上述过程将重复一遍，复位功能正常。

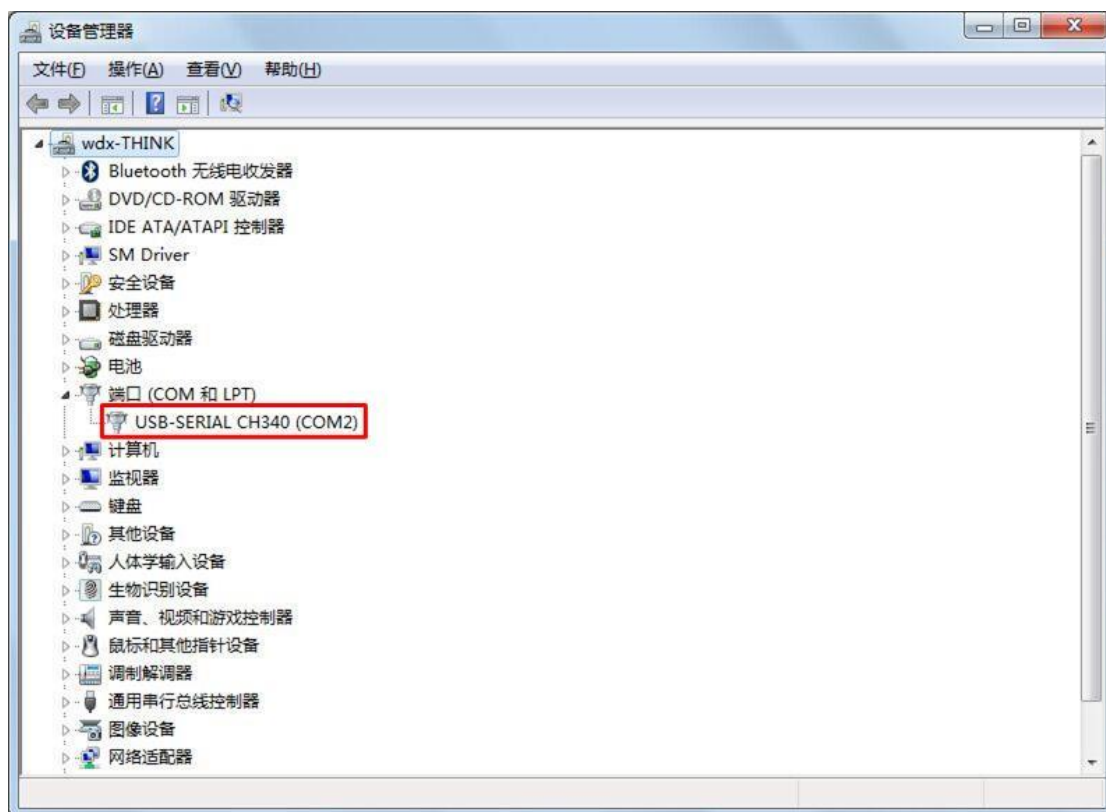


图 5.1 串口号的查看

#### 5.1.2 寻卡功能测试

连接好读卡器与上位机后，系统上电，打开上位机软件，串口号选择 COM2（参照图 5.1），其它参数默认，点击打开串口，此时串口已被打开。点击寻卡按钮，将待寻的 RFID 卡放到读卡器天线区，读卡器 TXD、RXD 指示灯 D2、D3 闪烁，同时上位机界指



### 5.1.3 读卡功能测试



### 5.1.4 写卡功能测试

连接好读卡器与上位机后，系统上电，打开上位机软件，串口号选择 COM2（参照图 5.1），其它参数默认，点击打开串口，将写扇区号和写块编号分别选择为 1，将写入数据设置为如图 5.4 所示数据。点击写卡按钮，将待写的 RFID 卡放到读卡器天线区，读卡器 TXD、RXD 指示灯 D2、D3 闪烁，同时上位机界面指示灯显示写卡成功，并且在写卡回数栏显示当前卡第 1 扇区中编号为 1 的块中存放的 16 字节数据，即为刚才所写入的数据。如图 5.4 所示。



图 5.4 读卡器上位机软件界面（写卡）

## 5.2 系统性能测试

### 5.2.1 读卡距离测试

通过多次测试测量，本读卡器最远识别距离为距离天线正上方 41mm，即在 0-41mm 距离范围内，读卡器能正常完成寻卡、读卡、写卡功能。

### 5.2.2 多张卡的读卡能力测试

同时将多张卡放到 RFID 读卡器，执行寻卡、读卡、写卡等操作指令时，系统均返回错误代码，但读卡器并未出现死机现象。而当去掉多余的卡，只剩一张卡时，读卡器正常工作。所以读卡器同时识别多张卡的功能尚待完善。

### 5.2.3 电源电压适应能力测试

在实际的电网中，电源电压会出现不稳定现象。为保证 RFID 读卡器在不稳定的电源电压下稳定工作，对其电源的适应能力做了测试。具体方法为采用调压器调节供电电压，调节范围是 AC220V 的  $\pm 10\%$ （国家电网电压波动标准是  $\pm 10\%$ ）。即

测试低压值为 198V，测试高压值为 242V。

试验结果：电源电压在 10%的波动范围内，RFID 读卡器工作正常。未出现烧坏、工作不正常等现象。测试合格。

## 第6章 总结

射频识别技术已是当前非常热门的非接触识别技术，亦是物联网关键技术之一。其原理是利用电磁耦合方式实现对标签的非接触自动识别。随着射频识别技术的不断成熟以及市场的不断扩展，已经有越来越多的国内外厂商推出面向各种应用的射频识别系统。

本课题采用 STM32 单片机、MF RC522 集成射频读写芯片，开发了一种 13.56MHz 的 RFID 读卡器，并使用 LabVIEW 软件编写上位机界面，通过 RS232 串口实现了上位机与读卡器的通信。读卡器能够读写距离在 0-41mm 范围内的符合 ISO 14443 TypeA 标准的非接触式 IC 卡，作者完成了其所有的硬件和软件设计。

在课题研究中主要完成了如下几方面的工作：

1.查阅了大量资料，对 RFID 系统的理论知识进行了研究。在文章中对 RFID 技术的概念、发展、应用及其工作原理、标准体系做了阐述。

2.查阅了大量资料，对系统所用到的关键芯片进行了研究。如 STM32 单片机、MF RC522 射频芯片的硬件结构、功能性能及开发方法进行了研究。

3.使用 Altium Designer 软件设计出了读卡器及其天线电路的 PCB 版图，并送到 PCB 加工厂商生产成形。通过元器件的焊接完成的读卡器的硬件电路的设计。

4.使用 Keil 软件 C 语言完成了读卡器的单片机软件设计，包括读卡器寻卡、读卡、写卡及其与上位机通信的程序设计。

5.使用 LabVIEW 软件设计出了读卡器上位机界面，并实现了读卡器与上位机的通信。

6.完成了系统的软硬件调试，最终测试结果显示，读卡器系统实现了各项预期功能。

以上各项工作均在文章中进行了详细阐述。

总之，本设计虽已实现了 RFID 读卡器的各项基本功能，但由于时间与能力有限，该读卡器尚有待更进一步的改进，如读卡速度、稳定性、可靠性等方面。本人将继续努力学习，进一步完善读卡器的各项功能指标。并继续研究高频以及超高频 RFID 技术。

RFID 技术已应用于生活的方方面面，随着科技的进步，社会的发展，RFID 技术的应用将会更加广阔。

## 参 考 文 献

- [1] 王毅. 物联网与城市建设[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [2] 百度百科. 射频识别技术[EB/OL]. <http://baike.baidu.com/subview/531097/13865303.htm>. 2015-03-15.
- [3] 曹鹏飞. 超高频 RFID 读卡器设计及其通信[D]. 天津: 河北工业大学, 2007.
- [4] 孙永飞. 基于 ARM 的 RFID 读卡器设计[D]. 南京: 南京理工大学, 2007.
- [5] 蒋皓石, 张成, 林嘉宇. 无线射频技术及其应用和发展趋势[J]. 电子技术应用. 2005, (5): 1-4.
- [6] 甘琴瑜. RFID 在智能交通物联网中的研究与应用[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2012.
- [7] 刘双虎. 单片机控制的射频读卡器的设计[D]. 成都: 电子科技大学, 2007.
- [8] 游战清, 刘克胜, 吴翔等. 无线射频识别 (RFID) 与条码技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [9] RFID. A key to automating everything. Want, Roy Scientific American. Vol. 290, no.1, PP.46-55. Jan. 2004
- [10] 李和平. 基于 MFRC500 的 RFID 读写器研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2008.
- [11] 马伏花. 基于 RFID 的车辆自动识别系统信息采集基站的研究与设计[D]. 湖南大学, 2007.
- [12] Kosugi Satoshi. Trend of smart card (IC card) in security fields in Japan. NEC Research and Development, 2002, (3): 31-42
- [13] 龚亮. 基于 MFRC500 的医用 RFID 读写器的设计与实现[D]. 长沙: 湖南大学, 2010.
- [14] 尹应增. 微波射频技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2002.
- [15] TI Co. HF Antenna Cookbook[S]. Technical Application Report. Jan 2004.
- [16] 严光文等. 非接触式 TYPE A 智能卡天线的设计[J]. 湘潭大学自然科学学报, 2001, (9): 34-36.
- [17] 郎为民. 射频识别<RFID>技术原理与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [18] 游战清, 李苏剑. 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
- [19] 游战清, 刘克胜, 张义强国等. 无线射频识别技术 (RFID) 规划与实施[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005
- [20] 郭天祥. 51 单片机 C 语言教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [21] 王颖. C 语言编程在单片机中的应用[J]. 科学中国人. 2015, (03): 23-24.
- [22] 郭晓光. 编程技巧在 C 语言学习中的应用[J]. 电脑编程技巧与维护. 2014, (10): 128-129.
- [23] 谭炳菊. 借助 C 语言实现嵌入式系统编程探讨[J]. 吉林省教育学院学报. 2010, (05): 151-152.
- [24] 谭炳菊, 富钰. 单片机 C 语言编程方法探讨[J]. 辽宁高职学报. 2010, (04): 43-44.
- [25] 侯昌昌, 朱玉龙. 汇编语言与 C 语言在编程中的交叉应用[J]. 安徽工业大学学报(自然科学版). 2003, (02): 148-151.



- [26] 张舞杰, 南亦民. 基于 STM32F103VB 的应用编程技术的实现[J]. 计算机应用. 2009, (10): 2820-2822
- [27] 南亦民. 基于 STM32 标准外设库 STM32F103xxx 外围器件编程[J]. 长沙航空职业技术学院学报, 2010, (4): 41-45.
- [28] Keil 公司. Keil 支持 STM32 互联系列[J]. 电子技术应用. 2009, (09): 164-165.
- [29] 吕向锋, 高洪林, 马亮等. 基于 LabVIEW 串口通信的研究[J]. 国外电子测量技术. 2009, (12): 27-30.
- [30] 陈诚, 李言武, 葛立峰. 基于 LabVIEW 的单片机串口通信设计[J]. 现代计算机(专业版). 2009, (01): 198-200.
- [31] 陈金平, 王生泽, 吴文英. 基于 LabVIEW 的串口通信数据校验和的实现方法[J]. 自动化仪表. 2008, (03): 32-34.
- [32] 闫静茹. 基于 LabVIEW 的 ISO/IEC14443 通信监测软件设计[D]. 北京: 北京交通大学, 2013.
- [33] 百度百科. S50 卡[EB/OL]. <http://baike.baidu.com/view/1984067.htm>. 2015-03-15.

附录 A：读卡器实物图



## 附录 B：部分程序代码

## 1.主程序:

```

#include "stm32f10x.h"
#include "stm32f10x_conf.h"
#include "stm32f10x_iwdg.h"
#include "misc.h"
#include "RCC.h"
#include "delay.h"
#include "USART.h"
#include "LED.h"
#include "mfrc522.h"

/*****自定义区*****/
unsigned char DefaultKey[6] = {0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF};
void STM32_Init(void);           //设备初始化和功能选择
void RC522_Init(void);          //RC522 初始化
/*****数据帧*****/
u8 DataLen = 0;                 //帧长
u8 CommandType = 0;            //命令类型
u8 Sector = 0;                 //扇区
u8 Block = 0;                 //块
u8 CardID[4] = {0};            //标签 ID 号暂存
u8 CardRWData[16]={0};        //标签读写 16 字节数据
u8 CheckXor =0 ;              //校验和--异或
/*****
u8 ReceivedAFrameData = 0 ;    //成功接收到一帧数据的标志
/*****
extern void PutChar(unsigned char ch);
extern short GetChar(unsigned char *ch,unsigned int WaitTime);
/*****
/*****
int main(void)

```

```

{
    /*******
    STM32_Init();    //设备初始化
    RC522_Init();
    while(1)
    {
        ReceivedAFrameData = ProcessCommand( ReceivedAFrameData);
    }
}

void STM32_Init(void)
{
    RCC_Configuration();
    Delaysms(100);        //等待时钟稳定
    USARTInit();          //串口初始化
    timer3_initial();
    NVIC_Configuration(); //中断向量初始化
    LED_config();         //指示 LED 灯初始化
    Delaysms(150);
}

void RC522_Init(void)
{
    //----RC522 初始化 -----
    PcdReset();
    USARTInit();    //重新修改 STM32 串口的波特率
    PcdAntennaOff();
    Delaysms(10);
    PcdAntennaOn();
    M500PcdConfigISOType( 'A' );
    Delaysms(100);    //LED 指示
    Led_Turn_on_1();
    Delaysms(100);
    Led_Turn_off_1();
}

```

}

## 2.RC522 部分通信程序

//功 能：寻卡

//参数说明: req\_code[IN]:寻卡方式

// 0x52 = 寻感应区内所有符合 14443A 标准的卡

// 0x26 = 寻未进入休眠状态的卡

// pTagType[OUT]: 卡片类型代码

//返 回：成功返回 MI\_OK

////////////////////////////////////

char PcdRequest(unsigned char req\_code,unsigned char \*pTagType)

{

char status;

unsigned int unLen;

unsigned char ucComMF522Buf[MAXRLEN];

ClearBitMask(Status2Reg,0x08);

WriteRawRC(BitFramingReg,0x07);

SetBitMask(TxControlReg,0x03);

ucComMF522Buf[0] = req\_code;

status

=

PcdComMF522(PCD\_TRANSCEIVE,ucComMF522Buf,1,ucComMF522Buf,&amp;unLen);

if ((status == MI\_OK) &amp;&amp; (unLen == 0x10))

{

\*pTagType = ucComMF522Buf[0];

\*(pTagType+1) = ucComMF522Buf[1];

}

else

{ status = MI\_ERR; }

return status;

}

////////////////////////////////////

//功 能：读取 M1 卡一块数据

//参数说明: addr[IN]: 块地址

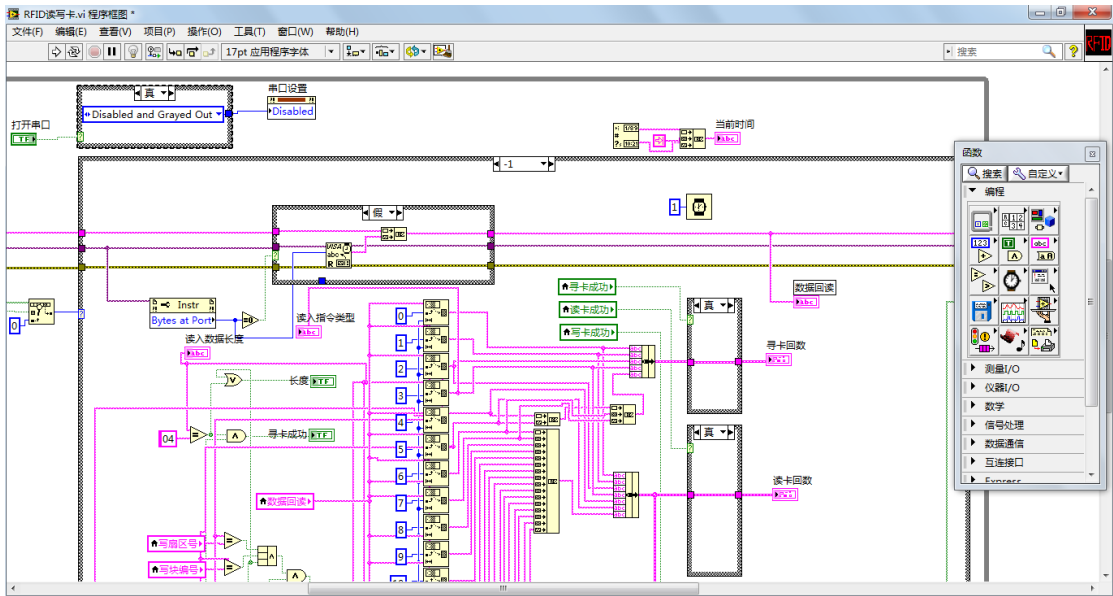
```
//          pData[OUT]: 读出的数据, 16 字节
//返    回: 成功返回 MI_OK
////////////////////////////////////
char PcdRead(unsigned char addr,unsigned char *pData)
{
    char status;
    unsigned int  unLen;
    unsigned char i,ucComMF522Buf[MAXRLEN];
    ucComMF522Buf[0] = PICC_READ;
    ucComMF522Buf[1] = addr;
    CalulateCRC(ucComMF522Buf,2,&ucComMF522Buf[2]);
    status
    PcdComMF522(PCD_TRANSCEIVE,ucComMF522Buf,4,ucComMF522Buf,&unLen);
    if ((status == MI_OK) && (unLen == 0x90))
    //    {    memcpy(pData, ucComMF522Buf, 16);    }
    {
        for (i=0; i<16; i++)
        {    *(pData+i) = ucComMF522Buf[i];    }
    }
    else
    {    status = MI_ERR;    }
    return status;
}
////////////////////////////////////
//功    能: 写数据到 M1 卡一块
//参数说明: addr[IN]: 块地址
//          pData[IN]: 写入的数据, 16 字节
//返    回: 成功返回 MI_OK
////////////////////////////////////
char PcdWrite(unsigned char addr,unsigned char *pData)
{
    char status;
```

```

    unsigned int  unLen;
    unsigned char i,ucComMF522Buf[MAXRLEN];
    ucComMF522Buf[0] = PICC_WRITE;
    ucComMF522Buf[1] = addr;
    CalulateCRC(ucComMF522Buf,2,&ucComMF522Buf[2]);
    status
    =
PcdComMF522(PCD_TRANSCEIVE,ucComMF522Buf,4,ucComMF522Buf,&unLen);
    if ((status != MI_OK) || (unLen != 4) || ((ucComMF522Buf[0] & 0x0F) != 0x0A))
    {
        status = MI_ERR;
    }
    if (status == MI_OK)
    {
        //memcpy(ucComMF522Buf, pData, 16);
        for (i=0; i<16; i++)
        {
            ucComMF522Buf[i] = *(pData+i);
        }
        CalulateCRC(ucComMF522Buf,16,&ucComMF522Buf[16]);
        status
        =
PcdComMF522(PCD_TRANSCEIVE,ucComMF522Buf,18,ucComMF522Buf,&unLen);
        if ((status != MI_OK) || (unLen != 4) || ((ucComMF522Buf[0] & 0x0F) != 0x0A))
        {
            status = MI_ERR;
        }
    }
    return status;
}

```

附录 C：上位机界面部分程序框图





## 攻读学位期间的研究成果

- [1] 袁乐民. 基于 RC522 的 RFID 读卡器电路设计实现[J]. 数字技术与应用. 2014, (12): 168-169.
- [2] 袁乐民, 陈军. 基于 QuartusII 的数字电路实验教学整合的实践探索[J]. 自动化与仪器仪表. 2014, (8): 150-151.

## 致 谢

首先向物理与工程学院的马永杰老师表示最衷心的感谢, 本论文从最初的选题到系统的设计、开发以及在论文的撰写过程中都得到了马老师的悉心指导与指正, 导师的教导和关怀使得我能够顺利完成本论文; 同时也衷心感谢在我毕业论文写作过程中给予我大力帮助的同学、同事。

其次感谢学院所有老师的对我的热心关怀和辛勤培育, 最后感谢答辩组的老师在百忙中抽空指导我的作品。