文章编号：1672-2892(2010)04-0451-04

基于 ARM 的射频识别读卡器电路设计

江小平，李中捷，余晓峰

(中南民族大学 电子信息工程学院，湖北 武汉 430074)

摘 要：针对 ISO14443,ISO15693 和 Tag-it 等多种协议，提出了一种新型的基于高级 RISC 微处理器(ARM)的射频识别系列通用射频卡读卡器的电路设计，并使用加密模块实现了在操作过程中对数据流的加密。介绍了系统组成、工作原理和工作流程，给出了加密电路和射频网络的详细硬件设计，对该设计结果进行了测试及分析，结果表明该电路能对有效范围内的多种类型的卡准确无误地读写和加密。

关键词：射频识别；高级 RISC 微处理器；天线设计；多协议

中图分类号：TN911.72 **文献标识码：**A

Circuit design of RFID card reader based on ARM

JIANG Xiao-ping，LI Zhong-jie，YU Xiao-feng

(College of Electronics and Information Engineering，South-Central University for Nationalities，Wuhan Hubei 430074，China)

Abstract：Radio Frequency IDentification(RFID) series Radio Frequency(RF) card has been applied widely because of its stability，reliability and easy operation features. Aiming at multiple protocols，such as ISO14443 protocol，ISO15693 protocol and Tag-it protocol，this study proposed a new type of circuit design based on Advanced RISC Machine(ARM) for the RFID series RF card reader. The data stream encryption was implemented by using peripheral device in the operation. The system composition，working principle and work flow were introduced. Then，the detailed circuit design of the RF network and encryption hardware were presented，and the test and analysis for the design were performed. The results showed that the circuit could accurately read, write and encrypt various types of card within effective range.

Key words：Radio Frequency IDentification；Advanced RISC Machine；antenna design；multi-protocol

射频识别[1](RFID)技术相对于传统的磁卡及集成电路卡(Integrated Circuit Card，IC)技术，具有非接触，阅读速度快，无磨损等优点，在小区商务、门禁管理和公交地铁收费等需要身份识别和电子货币交易的场合中得到了广泛应用，同时对系统稳定性、安全性要求也相当高。目前 RFID 广泛使用的有 ISO14443,ISO15693 和 Tag-it 等多种协议，在实际使用中往往存在多协议并存的局面，影响读卡器的兼容性。本文提出了一种兼容多协议的基于高级精简指令运算集(Reduced Instruction Set Computer，RISC)微处理器(ARM)的 RFID 系列射频卡读卡器的电路设计，并使用加密模块实现了在操作过程中对数据流的加密。

1 系统组成

整个系统包括读写器、通信模块、加密模块、射频系列卡和天线。读写器主要完成对射频系列卡数据的读写，并根据需要将数据通过串口或 USB 传输给上位机。STM32F101[2]是意法半导体公司生产的一款 ARM 微处理器，除了具备一般单片机的功能外，内部还集成了串行外围设备接口(Serial Peripheral Interface，SPI)总线、内部集成电路(Inter-Integrated Circuit，I2C)总线、通用串口、实时时钟、振荡电路，另外该处理器硬件支持 ISO7816-3 标准中定义的异步智能卡协议，具备高性能、低功耗的优势。TRF7960[3-4]是德州仪器公司生产的一款高集成度的读写器芯片，支持 ISO/IEC14443(Type A 和 Type B)协议、ISO15693 协议和 Tag-it 协议，工作频率为 13.56 MHz。

收稿日期：2009-12-25；修回日期：2010-03-30

它内部集成调制、解调和解码电路，可直接驱动近操作距离的天线，其中调制电路可调制控制器发送来的命令和数据，并将其传送给射频系列卡；解调电路用于解调射频系列卡送来的调制信号，处理数据帧和进行错误检测。图 1 为智能读卡器设计框图。智能读卡器的控制芯片采用嵌入 Cortex-M3 内核的 STM32F101C8T6，控制器通过 TRF7960 与射频系列卡进行数据传输，传输方式选用 SPI 总线传输。同时通过串口与上位机进行通信。加密模块使用 PSAM(Purchase Security Application Module)卡来存储密钥和对重要数据加密。滤波和阻抗匹配电路以及具体的参数在实际开发过程中针对不同应用需要进行具体调整。天线也有 2 种设计方法：直接匹配和 50 Ω 匹配，一般手持式的读写器使用直接匹配，本系统选用直接匹配方式。

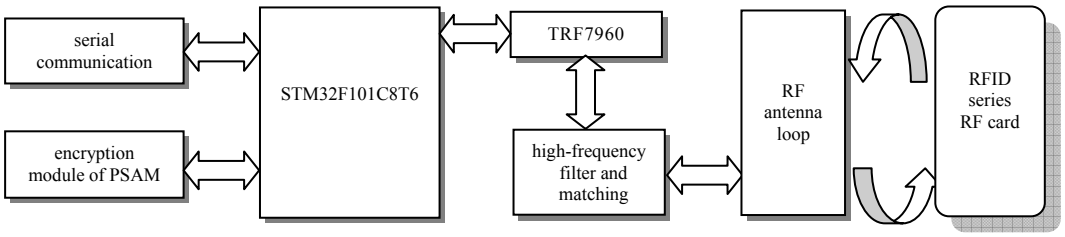

Fig.1 Diagram of RFID card reader system
图 1 RFID 读卡器系统框图

TRF7960 和射频卡的通信过程采取半双工方式，控制器向卡发送的读写等命令，首先要经过 TRF7960 调制，再经高频滤波和阻抗匹配电路，通过天线把电能转换成电磁波，被射频卡接收。发送信号使用频率为 13.56 MHz 的载波，采用密勒编码加强信号的抗干扰性。高频滤波的作用是去除振荡产生的高次谐波，阻抗匹配用以获取最大传输功率。另外，射频系列卡由电磁波得到卡工作需要的能量和指令数据，然后根据指令发出电磁波形式的应答信号，该信号被天线拾取转化成电信号，再被 TRF7960 内部的接收单元解码后传送给控制器。

2 操作流程

当标准 IC 卡进入有效的磁场范围时，读卡器会通过射频天线发送 REQA(Request All)指令，IC 卡自动以 ATQA 指令应答，IC 卡进入准备状态，读卡器开启防冲突机制，阅读器发送 SEL(Select code)指令和有效位的数目(Number of Valid Bits，NVB)指令，此时 IC 卡将回复自己的用户身份证明(User Identification，UID)。如果没有冲突，读卡器将收到完整的 UID(卡片唯一序列号)，如果有冲突，阅读器将根据第 1 个冲突位重新赋 NVB 的值，重新发送 SEL 和 NVB 指令，直到获取完整的 UID，然后阅读器将 NVB 值设为 70 加上 4 字节 UID 发送给 IC 卡，IC 卡将接受的 UID 与自己的 UID 比较，如果相同则回复 SAK(acknowledge)指令，如果不同，则当 SAK 的 b3 为 1 表示 UID 不完整，重新进行防冲突循环，当 b3 为 0 则防冲突完成，IC 卡进入 Active 状态，卡选择和防碰撞完成。

3 TRF7960 驱动电路设计

图 2 为 TRF7960 与 STM32F101 接口电路图。TRF7960 与 ARM 控制器接口采用典型的 SPI 总线模式，在一定程度上节省了处理器资源，简化了线路板。TRF7960 内部有总共不到 30 个寄存器(其中有些寄存器预留)，相对于其他射频芯片大大减小了软件驱动的开发难度。在实际应用中应对这些寄存器一一配置。

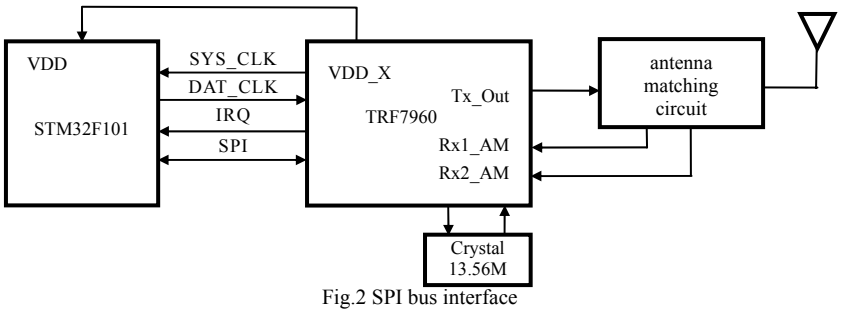

Fig.2 SPI bus interface
图 2 SPI 总线接口

4　PSAM 智能卡加密电路设计

PSAM 智能卡(简称智能卡)接口是在 STM32F101 处理器 USART 模块的智能卡模式下开发的，USART 智能卡模式支持 ISO 7816-3 标准中定义的异步智能卡协议。该协议定义了时间基准单位，称作 ETU(Elementary Time Units)，它与输入至智能卡的时钟频率有关。1 个 ETU 的长度是 1 个位时间。USART 接收器和发送器在内部通过 Rx_SW 信号相连接，将 USART 模块设置为智能卡模式，才能实现从 STM32F101 向智能卡传输数据。ST8024 接口芯片用于与 PSAM 卡相连。ST8024 是 1 个针对异步 3 V,5 V 智能卡的，完善的低成本模拟接口，它位于智能卡和 STM32F101 之间，只需要很少的外部部件来实现电源保护和控制功能。

PSAM_RST(智能卡复位)、PSAM_3/5V(3 V 或 5 V 选择)、PSAM_CMDVCC(管理模块供电)以及 PSAM_OFF 信号(智能卡检测信号)由软件控制 GPIO 的端口实现。为了使数据信号以正确的驱动连接到智能卡 IO 引脚，应当把 USART_TX 端口的 GPIO 位编程为复用开漏输出模式，为把时钟发生器连接到 PSAM_CLK 的引脚，USART_CK 端口的 GPIO 位应配置为复用推挽输出模式。智能卡时钟发生器为与之相连的智能卡提供时钟信号。智能卡使用这个时钟产生在智能卡与 USART 模块之间进行串行通信的波特率时钟。如果智能卡上有 CPU，该时钟将同时提供给 CPU 使用。

5　天线网络设计与调试

基于 TRF7960 的读写器主要由 TRF7960,STM32F101 微处理器、天线以及相应的外围连接电路组成。读写器要通过天线来发射能量，形成电磁场，通过电磁场来对 RFID 系列卡进行识别，天线所形成的电磁场范围就是射频识别系统的可读写区域。

天线电路包括 1 个 EMC 低通滤波器、接收电路、天线匹配电路和天线。

1) EMC 低通滤波电路

读卡器系统在 13.56 MHz 频率下操作。该频率由 1 个石英晶振产生用于驱动 TRF7960 以及作为驱动天线的 13.56 MHz 能量载波的基频。这样不仅会产生 13.56 MHz 的发射功率，而且会发射更高的谐波。国际 EMC 条例定义了在广播频段中发射功率的幅值。要符合这一规范，必须对输出信号进行适当的滤波[5-6]。

2) 接收电路

受调制深度和调制范围的影响，传送到接收电路的高频信号不一定是符合相应协议的最佳信号，这给接收电路的设计带来了难度。TRF7960 集成了最优解决方案，在芯片外部设计了 2 个信号接收端口 RX_AM 和 RX_PM，内部接收部分使用 1 个信号强度指示器(Received Signal Strength Indicator，RSSI)，RSSI 不断检测接收引脚 RX_AM 和 AX_PM 信号强度，用以控制芯片内部接收电路选择最优的信号端口。在天线线圈和收发电路之间，推荐使用一些容值较小的滤波电容，这样可以增大射频系统抗干扰的能力。在接收电路末端放置可调电容，用以调节天线阻抗，使天线达到最佳性能。要提高读卡器性能以及增大读卡距离，可以从天线驱动电压(TV_{DD})、EMC 低通滤波电路(接收电路)和天线匹配电路这 3 个方面作为调试入口并作相关测试[7-8]。

该天线驱动电压最小值为 3.0 V，最大值为 5.5 V，本测试对 TV_{DD} 取值 5.0 V(该参数主要针对于读卡距离)。EMC 低通滤波电路和接收电路参数采用德州仪器公司推荐参数，暂时不作调整。由于通过该电路所测得各种参数已经非常稳定，所以天线调试主要针对天线匹配电路。

由于 TRF7960 的工作频率 f 是 13.56 MHz，属于短波段，因此可以采用矩形天线。对天线线圈电感量的精确计算是不可行的，但电感量 L_1 可以通过式(1)估算得出：

$$L_1[\mathrm{nH}] = 2I_1[\mathrm{cm}]\left\{\ln\left|\frac{I_1}{D_1}\right| - K\right\}N_1^{1.8} \tag{1}$$

式中：I_1 为导体环一圈的长度；D_1 为导线直径；K 为天线形状因素；N_1 为天线圈数。

根据实际制出测试板，I_1 取值 24 cm，D_1 取值 0.152 4 cm，K 取值 1.47，N_1 取值 3，经计算得出天线线圈电感量估算值为 L_1[nH]=1.244 μH。

根据在实验过程中用矢量网络分析仪测得的数据显示，在 300 kHz~2 MHz 频率范围内，天线线圈呈感性，电感量接近于 1.8 μH。据此说明估算数据误差偏大。在匹配网络的计算中，以矢量网络分析仪测得的数据为依

表 1 矢量网络分析仪测试数据

Table1 Test data in network analyzer

No.	test frequency	impedance	real part/Ω	imaginary part/μH
1	300.000 0 kHz	192.580 0 mΩ	3.454 6	1.832 7
2	1.145 205 MHz	427.640 2 mΩ	12.911 2	1.794 3
3	2.020 075 MHz	512.020 3 mΩ	23.037 1	1.815 0
4	9.335 470 MHz	4.620 1 Ω	233.060 1	3.973 3

据，具体数据见表 1，测试数据截图见图 3。

以第 1 组实测数据为依据，因为该测试频率接近射频卡数据传输速率 f_R=105.9 kHz/s(该频率可通过软件预设)，取天线线圈电感量 L_{ANT}=1.8 μH，R_{ANT}=192.58 mΩ。天线的品质因子是纠正天线调谐和所获得性能的一个重要特性。天线的品质因子为 $Q=\frac{\omega L_{ANT}}{R_{ANT}}$，其中 $\omega=2\pi f_R$，f_R 是射频卡数据传输速率，由此计算得天线 Q 值为 6.22。经测试，该匹配网络可使读卡距离达到 10 cm，符合读卡器天线要求。

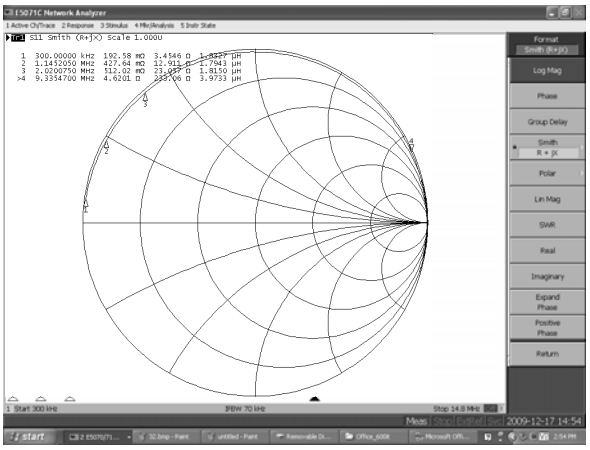

Fig.3 Test screenshot in network analyzer
图 3 矢量网络分析仪测试数据截图

6 结论

本文详细介绍了RFID系列射频卡的读卡器开发和加密模块的设计，此产品广泛用于门禁管理和公交地铁收费等需要身份识别和电子货币交易的场合中。实践证明，本系统运行稳定，操作方便，符合ISO14433协议、ISO15693协议和Tag-it协议等多协议，能对有效范围内的多张卡和多种类型的卡准确无误地读写和加密。

参考文献：

[1] 陆永宁. 非接触 IC 卡原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2006.
[2] 王永虹,徐炜,郝立平. STM32 系列 ARM Cortex-M3 微控制器原理与实践[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2008.
[3] Texas Instruments. Multi-Standard Fully Integrated 13.56-MHz Radio Frequency Identification Analog front End and Data Framing Reader System[Z]. 2009.
[4] Texas Instruments. Implementation of the ISO15693 Protocol in the TITRF 796x[Z]. 2006.
[5] 张玉兴. 射频模拟电路与系统[M]. 成都:电子科技大学出版社, 2008.
[6] 曾孝平,赵小刚,熊东,等. ASK 调制度对无源 RFID 系统能量和数据传输的影响[J]. 信息与电子工程, 2009,7(6):497-500.
[7] 王文闯,王可人. 基于数据缓存机制的 RFID 安全协议[J]. 信息与电子工程, 2008,7(5):371-374.
[8] 宋汉斌,陈晓光,王超. 基于 Smith 圆图的射频功放电路的设计与分析[J]. 信息与电子工程, 2007,6(6):409-413.

作者简介：

江小平(1974-)，男，武汉市人，博士，讲师，研究方向为信息与信号系统、应用系统设计.email:jiangxp@mail.scuec.edu.cn.

李中捷(1974-)，男，武汉市人，博士，研究方向为通信系统、信号与信息处理.

余晓峰(1987-)，男，武汉市人，本科，研究方向为电子线路设计、嵌入式系统.email: yerenf@163.com.