

基于嵌入式技术的大容量射频识别系统设计与实现

刘占杰*, 赵宇, 刘开华, 马永涛, 张艳

(天津大学 电子信息工程学院, 天津 300072)

(*通信作者电子邮箱 liuzhanjie@tju.edu.cn)

摘要:针对航空读卡器存在便携性差、速度慢和标签存储容量小等问题,提出了一种基于 STM32 的大容量射频识别(RFID)系统设计方法。以高性能的 STM32 嵌入式微处理器为核心,采用新型的 CR95HF 射频芯片,设计了一款工作在高频(HF)频段并支持 ISO 15693、ISO 18092 等多种协议的新型手持式 RFID 读卡器,详细阐述了系统的电源、天线设计和软件的速率、误码优化。同时,设计了一款与之匹配的被动式大容量电子标签,其存储容量高达 32 KB,与读卡器构成大容量 RFID 系统。实验结果表明,与传统读卡器相比,该读卡器的读写速度提升 2.2 倍,误码率降低 91.7%,标签容量提升 255 倍,为航空物流领域的快速、准确和大数据需求提供了更好的选择。

关键词:嵌入式技术;射频识别系统;手持读卡器;高频;大容量标签

中图分类号: TP391.8; TP391.45 **文献标志码:** A

Design and implementation of large capacity radio frequency identification system based on embedded technology

LIU Zhanjie*, ZHAO Yu, LIU Kaihua, MA Yongtao, ZHANG Yan

(School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Aiming at the problems of current aviation card readers, include poor portability, slow speed and tags' little capacity, a design method of large capacity Radio Frequency Identification (RFID) system based on STM32 was proposed. Using STM32 microprocessor as a core and adopting CR95HF radio chip, a new handled RFID card reader which worked in High Frequency (HF) and supported ISO 15693, ISO 18092 protocols was designed. The design of power, antenna and optimization of software speed, error rate was discussed in detail. A new large compiled capacity passive tag was also designed whose capacity is up to 32 KB to form a large capacity RFID system with card reader. The experimental results show that, compared with the traditional card reader, the reading and writing speed of the card reader increases by 2.2 times, error rate reduces by 91.7% and tag capacity increases 255 times. It provides a better choice for fast, accurate and high data requirements of aviation logistics.

Key words: embedded technology; Radio Frequency Identification (RFID) system; handled reader; High Frequency (HF); large capacity tag

0 引言

射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)是一种利用射频信号实现数据无线交流的自动跟踪与识别技术^[1]。与传统识别技术相比,RFID 利用射频信号识别对象,具有非接触、速度快、穿透力强等优点^[2],能应用于智能医疗、资产管理、零售等场合^[3]。其标签根据能量提供形式可以分为 3 种:半主动式、被动式和主动式^[4]。

物联网以互联网、RFID 和传感信息设备为核心,构建“物物相连”网络,实现对物体的实时识别、定位与跟踪处理^[5]。航空物流结合 RFID 可使货运可视化、信息化,国际上许多机场民航物流系统正在导入 RFID 系统优化处理,实现智能化与网络化^[6-7]。但现有的航空 RFID 读卡器普遍存在主频低、手持性差、处理速度慢等缺点,而在航空物联网的快速发

展中,标签存储容量不足成为日益严峻的挑战^[8]。针对这些不足,本文基于高主频的 STM32 嵌入式微处理器,选用新型 CR95HF 射频芯片,开发设计了一款新型的工作在高频频段的手持式 RFID 读卡器,并支持上位机系统和触摸屏双重操控;同时设计了一款大容量电子标签,其存储容量达 32 KB。该新型大容量 RFID 系统有效解决了上述问题,可以满足航空物流的大数据需求。

1 系统结构与原理

嵌入式 RFID 系统由读卡器、上位机系统和大容量电子标签构成。系统整体结构如图 1 所示。上位机系统采用 Visual Studio 开发,与读卡器利用高速串口通信。读卡器为移动设备,要求处理速度快,能够实时操控标签,因此选用性能极强、功耗极低的基于先进 ARM Cortex-M3 内核的 STM32 嵌

收稿日期:2014-03-04;修回日期:2014-04-04。 基金项目:天津市科技支撑计划重点项目(10ZCKFCX03600)。

作者简介:刘占杰(1989-),男,河北沙河人,硕士研究生,主要研究方向:嵌入式系统、射频识别; 赵宇(1956-),男,天津人,副教授,博士,主要研究方向:无线通信新技术、计算机网络; 刘开华(1956-),男,河北峰峰人,教授,博士,主要研究方向:射频识别、数字电视系统; 马永涛(1979-),男,山东临朐人,讲师,博士,主要研究方向:射频识别定位、认知无线电; 张艳(1988-),女,天津人,硕士研究生,主要研究方向:嵌入式系统、射频识别。

入式微处理器为核心。射频芯片选用 ST 生产的新型多协议非接触芯片 CR95HF, 能与设计的新型大容量标签稳定通信。上位机系统或触摸屏控制端读取标签数据时发送读命令给 STM32, 其驱动 CR95HF 向标签发送读指令。标签收到后将所选数据传输给读卡器并显示。写入标签数据时, 微处理器收到写命令后驱动 CR95HF 来完成标签写入操作。

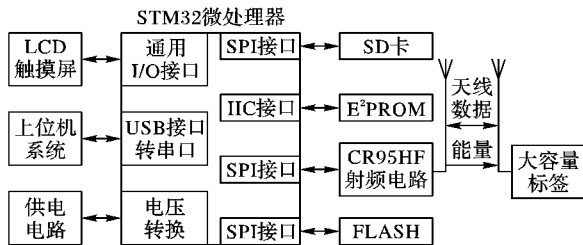


图1 RFID系统整体结构

2 读卡系统硬件设计

2.1 读卡器供电电路与时间估算方法

本设计选用 ST 公司的 STM32F103ZET6 微处理器为主控芯片, 其主频高达 72 MHz, 基于先进的高性能、低功耗的 ARM Cortex-M3 内核, 功能强大, 处理速度快, 拥有串口 UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter)、SPI (Serial Peripheral Interface) 和 I/O (Input/Output) 等接口^[9], 能够满足系统需要。设计了 USB 和锂电池两种供电方式来满足读卡器手持需求, 并通过开关选择。当手持读卡器与标签通信时选择锂电池供电并用触摸屏进行读写控制, 当用上位机系统读写标签数据时选择标准 USB 5 V 供电。读卡器电源需要 5 V 和 3.3 V 两种。3.7 V 锂电池供电时通过升压芯片 MAX1703 转化为 5 V 电压给液晶显示器 (Liquid Crystal Display, LCD) 供电, 之后通过 LT1117 稳压芯片转换为 3.3 V 给 STM32、CR95HF 等供电。用 USB 供电时只需通过 LT1117 即可满足需求。

该移动终端采用锂电池供电时, 设电池电量 $Q = 3000 \text{ mAh}$, 电压转换效率 $\eta = 85\%$, STM32 等系统电流 $I_1 = 50 \text{ mA}$, 其电压 $U_1 = 3.3 \text{ V}$; LCD 最大电流 $I_2 = 60 \text{ mA}$, 电压 $U_2 = 5 \text{ V}$, 锂电池电压 $U_3 = 3.7 \text{ V}$ 。由功率 $P = U_3 \times I$, 得最大电流:

$$I_{\text{MAX}} = \frac{P}{U_3} = \frac{(I_1 U_1 / \eta + I_2 U_2) / \eta}{U_3} \quad (1)$$

由总电量 Q 得到可用时间至少为:

$$T_{\text{MIN}} = Q / I_{\text{MAX}} = 19.1 \text{ h} \quad (2)$$

即全负荷运行状态下该移动终端也可持续工作 19 h 以上, 能满足应用需要。

2.2 射频电路及天线研究与设计

读卡器选用 CR95HF 射频芯片, 其是 ST 生产的工作于高频 (High Frequency, HF) 13.56 MHz 频段的新式射频芯片, 具有串口和 SPI 接口, 支持 ISO (International Organization for Standardization) 14443、ISO 15693 和 ISO 18092 等多种协议, 可应用于 RFID 和近场通信 (Near Field Communication, NFC)^[10]。CR95HF 与主控芯片通过 SPI 高速通信, 在 SPI 中作为从设备。SSI_0 置 1, SSI_1 置 0 来选择 SPI 模式。主控芯片提供时钟信号并和 CR95HF 通过数据输入 (Master Out Slave In, MOSI)、数据输出 (Master In Slave Out, MISO) 引脚完成信息交流。TX1、RX1、RX2、TX2 来连接匹配网络和天

线。射频电路如图 2 所示。

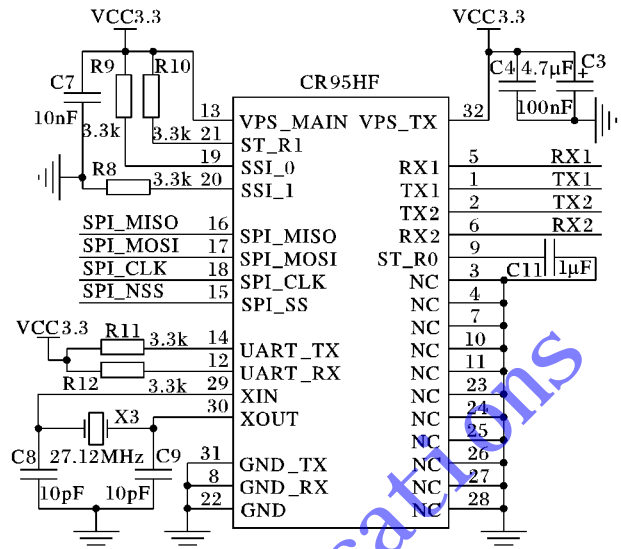


图2 射频电路

天线电感会与匹配网络的等效电容构成 13.56 MHz 谐振电路^[11], 因此可以根据等效电容来得到该电感值进行天线设计。匹配网络如图 3 所示。

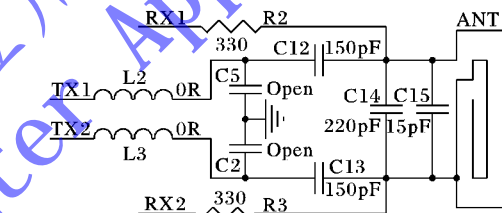


图3 匹配网络

匹配网络中, 电感 L_2 、 L_3 和不焊的电容 C_5 、 C_2 用于电磁兼容性 (Electro Magnetic Compatibility, EMC) 滤波来抑制高次谐波并减小振荡频率偏差。R2 与 R3 限制发射信号电流, 起保护作用。CR95HF 等效于 22 pF 的电容, EMC 滤波后进入匹配电路。整个匹配网络等效于 327.842 pF 的电容, 天线与其组成电容电感谐振电路, 因而满足^[12]:

$$f = 1 / (2\pi \sqrt{L_{\text{ANT}} C_{\text{TUN}}}) \quad (3)$$

其中: $C_{\text{TUN}} = 327.842 \text{ pF}$, $f = 13.56 \text{ MHz}$, 由式 (3) 得到天线理想电感 $L_{\text{ANT}} = 420.2 \text{ nH}$ 。采用贴片长方形天线, 其设计参数为最外边长 $47 \text{ mm} \times 34 \text{ mm}$, 2 匝, 宽度 1 mm , 间隔 0.25 mm 。将贴片各段电感与互感相加得到实际的天线电感量:

$$L_{\text{ANT}}' = \sum_{i=1}^n L_i + \sum M \quad (4)$$

其中: L_i 为每段贴片电感, $n = 8$ 为贴片线段数量, M 为各贴片互感。得到实际的天线电感量 $L_{\text{ANT}}' = 423.07 \text{ nH}$, 与理想电感量 L_{ANT} 误差为 0.683% , 可知误差极小, 能够满足需要。

2.3 人机交互与数据存储电路

本文选用分辨率为 240×320 像素的 LCD 彩色液晶屏, 能实现体验良好的交互显示。屏幕控制器 IL9320 通过 16 条 I/O 口与微处理器并行通信以提高速率。触摸功能通过屏幕压力感应实现, 其控制芯片利用对触摸位置的 2 次模数变换得到横纵坐标。系统的控制、显示信息及读取的标签数据均需要存储, 故读卡器设计了 E²PROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)、FLASH 和 SD 卡。E²PROM

采用 24C128, FLASH 选用 W25Q64, 均为备用; SD 卡通过 SPI 通信, 容量 8 GB, 用于存储控制信息、屏幕上显示的汉字与图片及大量从标签读取的数据。

3 系统软件设计

3.1 上位机系统设计

上位机系统采用 Visual Studio 开发控制界面, 并用 SQL Sever 进行数据库设计和 STM32 通过串口通信。串口为 USB 转化而来, 因而支持即插即用、随身携带和移动读卡器。Windows 串口驱动开发中通过函数 `UsbToSerial()` 实现 USB 接口的串口通信。

3.2 读卡器软件驱动与优化

读卡器软件主要包括底层驱动设计、数据处理和交互界面。微处理器和上位机通过串口通信, 其驱动开发在 Keil 环境下用 C 语言通过串口中断形式对命令处理来实现。为提高处理速度, 本文采用高速波特率 460 800 b/s 来满足实时处理, 比其他常见的 9 600 b/s 读卡器速率提高 47 倍, 并通过 `unsigned char` 类型进行 8 位数据的传递。配置寄存器长度来实现 8 数据位传输, 比传统 7 数据位速率提升 1/8, 并通过奇偶校验有效降低了误码率, 提高了精确度。主要配置程序如下:

```
USART_Structure. BaudRate = 460 800;           //高速波特率
USART_Structure. Length = Length_9b;
//配置为 9 位即 8 数据位加校验位
USART_Structure. StopBit = StopBit_1;          //1 位停止位
USART_Structure. Parity = Even;                //偶校验
USART_Structure. Mode = Rx/Tx;                 //允许发送和接收
USART_Init(usart, &USART_Structure);          //初始化
USART_Cmd(usart, ENABLE);                      //使能串口
```

STM32 串口接收数据时, 一般采用加串口结束标志位 (如“0D0A”)来判断数据通信结束, 但该方法每次必须多传结束标志位, 存在数据冗余量大、耗时长等缺点, 且当数据本身含有标志位 (如“0D0A”)时会出现误判和出错, 导致误码率高。本文采用延时中断方式对串口通信结束进行判断, 即串口超过一定时间没有收到数据则判断为传输结束并处理, 延时时间为 32 μ s, 有效降低了传输时间和误码率。主要程序如下:

```
void HwTimerInit(void)                          //时间配置
{
    SysTickConfig(72 000 000/1 000 000); //时间单位 1/106 s = 1  $\mu$ s
    NVIC_SetPriority(SysTickIRQn, 1);      //中断优先级
}
void UsartIsr(void)                             //延时中断函数
{
    if(USART_GetITStatus(USART1, USART_IT_RXNE) != RESET)
    { //传输 1 B 的时间: 1/460 800  $\times$  8 s  $\approx$  17.4  $\mu$ s
        ReloadTimer(&usart_timer, 32);
        //设置延时中断为 1.8 B 时间 32  $\mu$ s
        StartTimer(&usart_timer);          //开启中断时钟
        UsartReceiveBuf[index++] =
            (uint8_t) USART_ReceiveData(USART1); //接收数据
    }
}
```

微处理器将得到的串口数据通过 SPI 发送给 CR95HF 即可实现射频操作。为支持 ISO 14443、ISO 15693、ISO 18092 等多种协议, 需根据不同协议发送相应命令并调用延时函数来进行标签读写。

3.3 读卡器交互界面与数据处理

通过 `LoadPic(Info)` 函数将 SD 卡中存储的图片显示在触摸屏上, 并通过 `ShowStr(unsigned char*)` 将字符串显示在屏幕上, 从而开发友好的交互界面。对按下屏幕的触点采集其坐标 $X0$ 和 $Y0$, 根据大小判断其所处屏幕功能位置来实现标签读写功能。

读卡器具有寻卡、防冲突和读写卡等功能。上位机系统或触摸屏传来命令后, 微处理器选择相应协议进行寻卡。当附近有多张卡时读卡器通过时隙 Aloha 算法, 以离散时间片发送查找命令, 根据依次返回时间来确认标签数目并由标签芯片唯一标识符 (Unique Identifier, UID) 来识别, 从而进行防冲突, 之后进行读写操作, 处理流程如图 4 所示。数据以字节传输, 在屏幕上显示时需通过函数 `HexToStr(unsigned char)` 将其转换为字符。寻到的标签卡 UID 数据需在软件里全局通用才能使读卡器和写卡界面共同操控, 本文通过 “extern” 声明实现了该数据 `RevBuffer[]` 的全局共享。

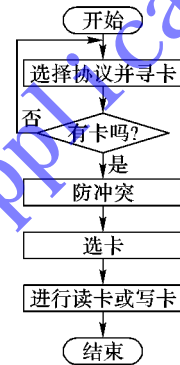


图4 读卡器处理流程

4 大容量被动式电子标签的设计

M24LR64 是 ST 生产的工作于 HF 频段的 64 Kb 新型无线存储芯片, 拥有支持 ISO 15693 协议的射频通信接口与 I²C (Inter-Integrated Circuit) 有线接口^[13-14]。RF 模式下由天线间电磁耦合产生所需电能。传统的标签存储容量约为 128 B。设计时该芯片使用 4 个, 即标签存储容量为 32 KB, 是传统标签容量的 256 倍。标签通过 ISO 15693 协议与读卡器通信, 图 5 为其电路示意图。对 4 个芯片片选引脚通过赋值 00~11 的不同来区分芯片。时钟信号引脚 SCL、数据信号引脚 SDA 为 I²C 接口。天线的收发引脚为 AC0、AC1, 并联以使 4 个芯片共用 1 根天线, 降低了能耗与成本。该芯片等效于 28.5 pF 的电容, 故并联等效于 114 pF。由于其与天线构成谐振电路, 故天线电感为 1 208.41 nH。选用方环形天线, 设计参数为最外边长 4 cm, 5 匝, 宽度 1 mm, 间隔 0.92 mm。

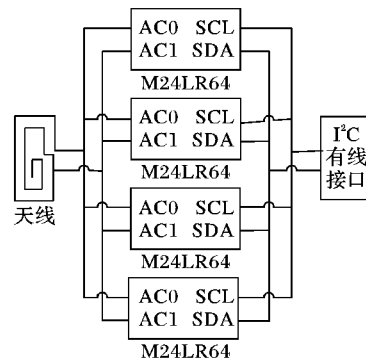


图5 标签电路示意图

5 系统测试实验

RFID 读卡器实物如图 6 所示,其既可以通过 LCD 触摸屏显示和控制读写信息,也可以通过上位机系统控制;图 7 所示为标签实物,存储容量达 32 KB;图 8 为上位机系统通过读卡器对标签进行读写的测试结果,显示的是寻到的标签中 4 个 M24LR64 的 UID 号,即唯一标识符;如图 9 所示,可以选择标签芯片的地址读写数据,每地址存储 32 b 数据,即系统可以正常工作。

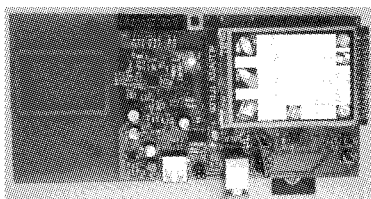


图 6 读卡器实物

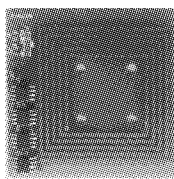


图 7 标签实物

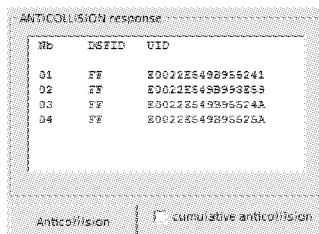


图 8 测试结果

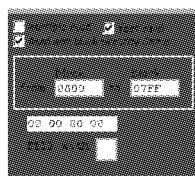


图 9 标签存储地址

系统的实验测试结果与传统系统对比如表 1 所示。从表 1 可以看出,本文系统读写 8 KB 时间减少为 1.2 s,传统系统的为 3.8 s,读写速度提升 2.2 倍;同理失败率降低 71.7%,稳定性提高;误码率低至 0.02%,相比传统系统降低近 91.7%;而标签容量大幅提升 255 倍。读卡器的磁场强度随距离变化的测试结果如图 10 所示,可见在 8 cm 内磁场强度均大于 100 mA/m,在接近 14 cm 时磁场强度才减为 0,系统识别性能较强。经测试,读卡器和标签无遮挡时稳定读写距离至少为 7.2 cm,有纸、玻璃等遮挡时稳定读写距离至少为 5.1 cm,能够满足应用需要。

表 1 实验测试结果对比

系统	读卡器读写 8 KB 时间/s	读写 1000 次 失败数	误码率/%	标签 容量/B
传统系统	3.8	5.3	0.24	128
本文系统	1.2	1.5	0.02	32 768

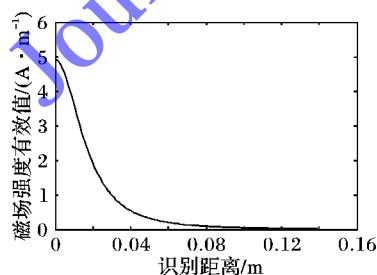


图 10 磁场强度实验

6 结语

本文提出了一种基于嵌入式新型大容量 RFID 系统解决方案,详细介绍了基于 STM32 的读卡器硬件平台构建和软件设计与优化,同时设计了一款与其兼容的新型大容量电子

标签,并实现了该系统。读卡器支持上位机与触摸屏双重操作与多种协议。测试结果表明,该读卡器可以对标签稳定读写,具有准确性高、速度快等特点。本文系统移动性强、数据容量大,非常适合应用于现代航空物流领域。系统为初期产品,下一步工作是对系统升级,使其轻量化、小型化。

参考文献:

- [1] SOODMAND S, BROWN T W C, GLUHAK A. Evaluation of HF band NFC/RFID antennas for smart shelf applications [C]// Proceedings of the 2013 7th European Conference on Antennas and Propagation. Piscataway: IEEE Press, 2013: 1895–1898.
- [2] XUE H. The design and implementation for receiver of 13.56 MHz RF reader [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2012. (薛涵. 13.56 MHz 射频识别读卡器芯片接收子系统的设计与实现[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.)
- [3] LI X, YAN L, PAN W, *et al.* RFID localization based on power scanning of reader [J]. Computer Engineering, 2013, 39(8): 277–280. (李晓银, 闫连山, 潘炜, 等. 基于读写器功率扫描的无线射频识别定位[J]. 计算机工程, 2013, 39(8): 277–280.)
- [4] NIE T, LU Y, ZHANG P, *et al.* Analysis for collaborative mechanism of RFID and WSN in Internet of things [J]. Application Research of Computers, 2011, 28(6): 2006–2010. (聂涛, 陆阳, 张鹏, 等. RFID 与 WSN 在物联网下协同机制的分析[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(6): 2006–2010.)
- [5] WU L, CHEN T, XIANG Y. Novel anti-collision algorithm of RFID sensor system for Internet of things [J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(3): 614–617. (吴黎明, 陈泰伟, 项颖. 新颖的物联网 RFID 传感系统防冲突算法[J]. 计算机应用, 2013, 33(3): 614–617.)
- [6] ZHU X, WU L, ZHANG H. Application and prospect of RFID technology in civil aviation [J]. Journal of Civil Aviation Flight University of China, 2013, 24(2): 5–8. (朱新宇, 吴雷明, 张洪涛. RFID 技术在民航领域的应用与展望[J]. 中国民航飞行学院学报, 2013, 24(2): 5–8.)
- [7] CHANG Y S, SON M G, OH C H. Design and implementation of RFID based air-cargo monitoring system [J]. Advanced Engineering Informatics, 2011, 25(1): 41–52.
- [8] VIJEY T, AHMED A, QURESHI M S. Trellis coding based on RLLPUM codes for RFID reader-to-tag channel [J]. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 2013, 7(4): 708–717.
- [9] STMicroelectronics. STM32F103 datasheet [EB/OL]. [2011-04-19]. <http://www.st.com/web/en/catalog/mmc/FM141>.
- [10] STMicroelectronics. CR95HF datasheet [EB/OL]. [2012-07-31]. <http://www.st.com/web/cn/catalog/mmc/FM76/CL1766/SC1540>.
- [11] LI Y, LIU J, LEE H. Ground switching load modulation with ground isolation for passive HF RFID transponders [J]. IEEE Transactions on Very Large Scale Integration Systems, 2012, 20(8): 1443–1452.
- [12] DANEV B, CAPKUN S, MASTI R J, *et al.* Towards practical identification of HF RFID devices [J]. ACM Transactions on Information and System Security, 2012, 15(2): 7.
- [13] STMicroelectronics. M24LR64-R datasheet [EB/OL]. [2013-07-25]. <http://www.st.com/dualleeprom>.
- [14] LEON-SALAS W, KANNEGANTI S, HALMEN C. Development of a smart RFID-based corrosion sensor [C]// Proceedings of the 2011 IEEE Sensors. Piscataway: IEEE Press, 2011: 534–537.