

# 超高频 RFID 读写器系统的设计与实现

夏 宏, 吴济文\*

(华北电力大学 控制与计算机工程学院, 北京 102206)

(\*通信作者电子邮箱 wujiwenak@126.com)

**摘 要:** 采用 ARM9 微处理器为主控制器, 射频处理采用奥地利微电子公司的 AS3992 芯片为核心, 设计开发了超高频 RFID 读写器系统。系统设计了外置功率放大电路、功率探测电路和天线端阻抗匹配调谐电路, 使发射机输出功率达到 +33 dBm, 并有效地提高了接收机信噪比, 实现了对符合 ISO/IEC 18000-6C 900MHz RFID 协议的多标签的稳定高速读写; 同时在 ARM9 硬件平台上移植了嵌入式 Linux 系统, 并设计了读写器 Web 固件控制系统, 以实现多标签盘存和读写器的网络配置等操作, 为读卡器之间数据通信和二次开发提供平台。该系统已搭建运行于某电厂运煤车辆出入 RFID 管理控制系统中, 运行结果表明, 系统最大稳定读取距离达到 10 m, 满足了工程需求。

**关键词:** 无线射频识别; 超高频读写器; 射频阻抗匹配; 功率探测; Web 服务器

**中图分类号:** TP273.5 **文献标志码:** A

## Design and implementation of ultra high frequency RFID reader system

XIA Hong, WU Ji-wen\*

(Science of Control and Computer Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

**Abstract:** This paper introduced the design and implementation of UHF (Ultra High Frequency) RFID (Radio Frequency Identification) reader system, which took ARM9 microprocessor as the controller, and used austria microsystems' UHF RFID reader IC AS3992 for RF processing. With the design of the external power amplifier circuit, the external RF power detection circuit and the reader antenna impedance matching digital tuning circuit, the transmitter output power was up to +33 dBm and the receiver Signal-to-Noise Ratio (SNR) had got improved. The reader system achieved high-speed identification of ISO/IEC 18000-6C 900MHz RFID tags. Besides, it transplanted the embedded Linux operating system based on ARM9 hardware system and developed the embedded Web firmware control system to realize tags operations and reader device network configuration, which also provided a platform for data communication between readers and secondary development. The UHF RFID reader system has been applied effectively in the RFID management system of a certain power plant vehicles, the operation result shows that it has successfully realized the purpose to identify and process the information of vehicles' tag in the distance of 10 m with stable performance, which satisfies the engineering requirements.

**Key words:** Radio Frequency Identification (RFID); Ultra High Frequency (UHF) reader; RF impedance matching; power detection; Web server

## 0 引言

射频识别技术(Radio Frequency Identification, RFID)是一项利用射频信号通过空间耦合(交变磁场或电磁场)原理,实现非接触信息传递,并通过所传递的信息实现目标识别的技术<sup>[1]</sup>。通常 RFID 系统包括 RFID 读写器、RFID 标签和系统软件三大组成部分。RFID 系统按工作频段的不同,可分为低频、高频、超高频(Ultra High Frequency, UHF)和微波系统<sup>[2]</sup>。与低频和高频 RFID 技术相比, UHF 频段 RFID 技术具有识别距离远、高速读取等优势。随着 UHF 标签的价格不断下降,大大降低了 RFID 技术的应用门槛, UHF 频段远距离自动识别技术的应用领域已逐步由车辆应用, 转为现代物流、电子商务、交通管理及军事管理等各个领域, 成为目前 RFID 技术发展的热点。

本文给出了一种支持 ISO/IEC 18000-6C 协议的超高频 RFID 读写器软硬件系统设计。硬件采用三星 ARM9 微处理器(S3C2440A)为主控制器, 射频处理采用奥地利微电子公司超高频读写器芯片 AS3992 为核心。为了提高发射机输出功率

水平和接收信噪比, 使标签稳定识别距离达到 10 m, 设计了外接功率放大电路、射频功率检测电路和天线阻抗匹配数字调谐等电路。软件采用 Linux 2.6 操作系统并开发设计了超高频 RFID 读写器 Web 固件控制系统, 以实现多标签盘存和读写器网络配置等操作。读写器稳定高速读取 ISO/IEC 18000-6C 协议标签的距离达到 10 m。

## 1 系统方案设计

超高频 RFID 读写器系统架构划分为四层: 应用层、操作系统层、硬件控制层和射频前端, 如图 1 所示。

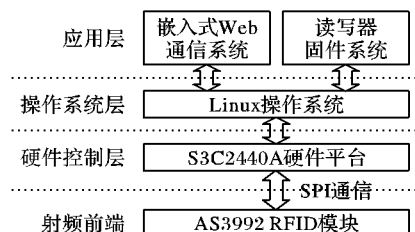


图1 超高频 RFID 读写器系统架构

收稿日期: 2012-02-17; 修回日期: 2012-04-24。

**作者简介:** 夏宏(1965-), 男, 北京人, 副教授, 博士, 主要研究方向: 计算机体系结构、VLSI 设计、并行算法/结构; 吴济文(1987-), 男, 江西上饶人, 硕士研究生, 主要研究方向: 计算机体系结构、嵌入式系统。

应用层由读写器固件系统和嵌入式 Web 通信系统构成,前者负责实现射频芯片 AS3992 的初始化、ISO/IEC 18000-6C 协议和标签盘存防碰撞算法等;后者主要功能是为读写器配置和标签盘存等操作提供浏览器界面,接收并处理用户操作命令请求。

操作系统层是整个系统的核心层,通过搭建运行 Linux 2.6 操作系统并实现 Linux SPI 设备等驱动程序,为应用层操作网络设备和 AS3992 等设备提供设备 I/O 接口。

硬件控制层以 ARM9 微处理器 S3C2440A 为主控单元,构建最小硬件系统。硬件控制层通过 SPI 接口,实现与 RFID 射频模块的数据通信。

射频前端以 AS3992 为核心,主要功能包括接收来自硬件控制层的数据,并对接收的数据进行协议编码、调制载波等;此外对接收的标签反射射频信号进行解调、译码、生成数据帧,以供主制模块读取。在硬件上主要由读写器射频芯片 AS3992 电路、900 MHz Balun 电路、外置功率放大器电路 SKY65111-348LF、20 dB 定向耦合器 RCP890A10 以及天线阻抗匹配电路组成,电路结构如图 2 所示。

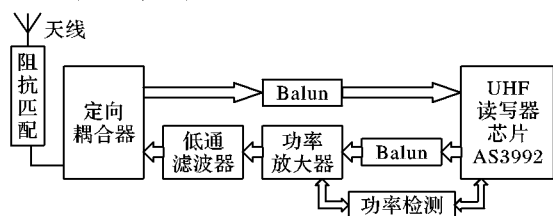


图2 读写器射频模块电路结构

## 2 读写器硬件系统设计

超高频读写器硬件电路主要由 S3C2440A 及其外围接口电路组成的主控电路模块和射频电路模块两大部分组成。

### 2.1 主控模块电路的设计

S3C2440A 是 Samsung 公司基于 ARM920T RISC 指令集推出的高度集成 16/32 位微处理器芯片,其 CPU 主频可稳定运行在 400 MHz<sup>[3]</sup>。S3C2440A 内置集成多种外围设备控制器接口,包括 NAND Flash 控制器、TFT/STN LCD 控制器、DM9000 以太网控制器以及 SPI 控制器等,为 UHF 读写器硬件系统的实现降低难度和门槛。本文设计的读写器控制模块硬件部分由 S3C2440A 控制器、DM9000 以太网接口、SPI、JTAG、UART、SDRAM 和 NAND Flash 等外围设备构成。系统上电后,从 NAND Flash 开始自动引导加载嵌入式 Linux 操作系统的启动,完成硬件设备驱动的初始化;限于篇幅的原因,引导加载程序 Boot Loader 和 Linux 操作系统的移植方法可参考文献[4]。

### 2.2 射频模块电路的设计

#### 2.2.1 射频芯片 AS3992

射频电路模块以读写器射频芯片 AS3992 为核心,以实现远距离识别(~10 m)应用目标。AS3992 是具有射频信号前端处理和 ISO/IEC 18000-6C/B 900 MHz RFID 协议处理的超高频读写器专用芯片,接收灵敏度高达 -86 dB。片内发射机支持底层数据处理功能,包括协议编码、自动生成和添加帧同步码、前同步码和 CRC 校验码,支持 ASK 和 PR-ASK 载波调制;支持低功率高线性输出(~0 dBm)和高功率输出(内部功放 ~20 dBm)两种方式,前者用于驱动外部功率放大电路,实现大功率输出和远距离通信,后者用于短距离射频通信。片内接收机采用零中频方案,由 2 路接收混频电路、增益控制电路、可编程滤波电路、数字基带电路部分(包括判决电路、

比特译码器和数据帧组装)组成;支持调幅和调相解调。经数字基带电路处理后的结果按字节的方式存放在片内 24 Byte FIFO 寄存器中,供主控模块访问。

AS3992 与主机(MCU)通信方式可采用并行或 SPI 串行方式通信。S3C2440A 提供 2 路 8 bit SPI 控制器,因此本设计采用 SPI 串行通信方式,并采用外部中断方式,实现 S3C2440A 与 AS3992 寄存器配置和数据读写。在 SPI 串行通信模式下,AS3992 通信数据速率最高为 2 Mbps。

#### 2.2.2 稳定高速射频识别的关键实现技术

##### 1) 射频功率放大器电路的设计。

为了实现远距离(~10m)标签射频识别,UHF RFID 读写器的发射机通常在 50  $\Omega$  负载下,需输出 28 ~ 33 dBm 输出功率。因此在本设计中,AS3992 发射机选择低功率高线性差分输出方式,用于驱动外接的功率放大器电路。外接功率放大器采用 Skyworksinc SKY65111-348LF,其主要特点是高增益、高效率,输出功率在 915 MHz 高于 33 dBm,芯片内部集成了 3 级模拟电压功放增益控制电路,用于控制功放功率输出水平。表 1 列举了在给出的条件下:VCC = 5 V, VREF = 3.5, VAPC = 2.7 V, PIN = -30 dBm, TMP = 25 $^{\circ}$ C, SKY65111-348LF 功率放大器芯片主要参数指标<sup>[5]</sup>。

表1 SKY65111 的主要参数指标

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位
频率范围	F	902		928	MHz
1dB 输出功率	POdB		29.5		dBm
信号增益	S21		40		dB

在射频线性放大器中,1 dB 压缩点定义为使增益比线性放大器增益下降 1 dB 所对应的输入信号幅度值。若输入输出均用 dB 表示,则根据 1 dB 压缩点的定义可给出式(1)<sup>[6]</sup>:

$$V_{om-1dB} = V_{im-1dB} + (Gain - 1) \quad (1)$$

其中:  $V_{im-1dB}$ 、 $V_{om-1dB}$  分别为 1 dB 压缩点输入、输出信号功率大小, Gain 为放大器的功率线性增益大小。

由式(1)可知,在增益大小为 40 dB,输出 1 dB 压缩点  $V_{om-1dB}$  为 29.5 dBm 情况下,理论输入 1 dB 压缩点  $V_{im-1dB}$  是 -9.5 dBm。因此在本设计中 AS3992 选择低功率高线性输出(~0 dBm)方式驱动外部功率放大器 SKY65111-348LF,可实现系统远距离(~10 m)标签识别对发射机功率输出要求,设计的外接功率放大器电路如图 3 所示。

##### 2) 射频功率检测电路的设计。

在本设计中,发射机功率输出水平要求在 0 ~ 33 dBm 之间动态可调。为了保证实际输出功率和设置功率一致,系统中增加放置了 Maxim MAX2206EBS + 射频功率检测模块,用于测量调整发射机实际输出功率水平。设计采用的 Maxim MAX2206EBS + 功率检测芯片的工作频率范围在 800 MHz ~ 2 GHz,最大测量 RF 输入信号功率大小为 ~20 dBm,芯片测量结果以模拟电压方式输出,且输出电压大小与 RF 输入信号功率强弱成正比。

射频功率检测模块设计原理为:将功率检测模块 RF 输入引脚 RFIN 连接至定向耦合器的耦合端 P3 上,如图 3 所示,测量定向耦合器耦合端 RF 输出功率大小,并将功率检测模块的测量结果输出引脚 OUT 连接至 AS3992 的 ADC 输入引脚上,同时将 AS3992 DAC 输出引脚连接至外接功率放大器 SKY65111-348LF 的模拟电压增益控制引脚 Vapc2 上,用于动态调整放大器的功率增益大小。测量时测量结果经 AD 转换后保存在 AS3992 ADC 只读寄存器中,供主控模块读取。主控

模块 S3C2440A 通过 SPI 接口读取 AS3992 ADC 寄存器值,并根据 ADC 寄存器值的大小,控制调整 AS3992 DAC 输出引脚电压大小(0~3.2 V),以实现控制调整功率放大器的增益控制引脚 Vapc2 的输入电压大小和增益大小,进而调整控制发射机输

出功率大小,直至达到预期设置的输出功率大小。

图3为读写器射频芯片 AS3992 的输出匹配电路、外部功率放大器电路、射频功率检测模块及定向耦合器电路设计原理图。

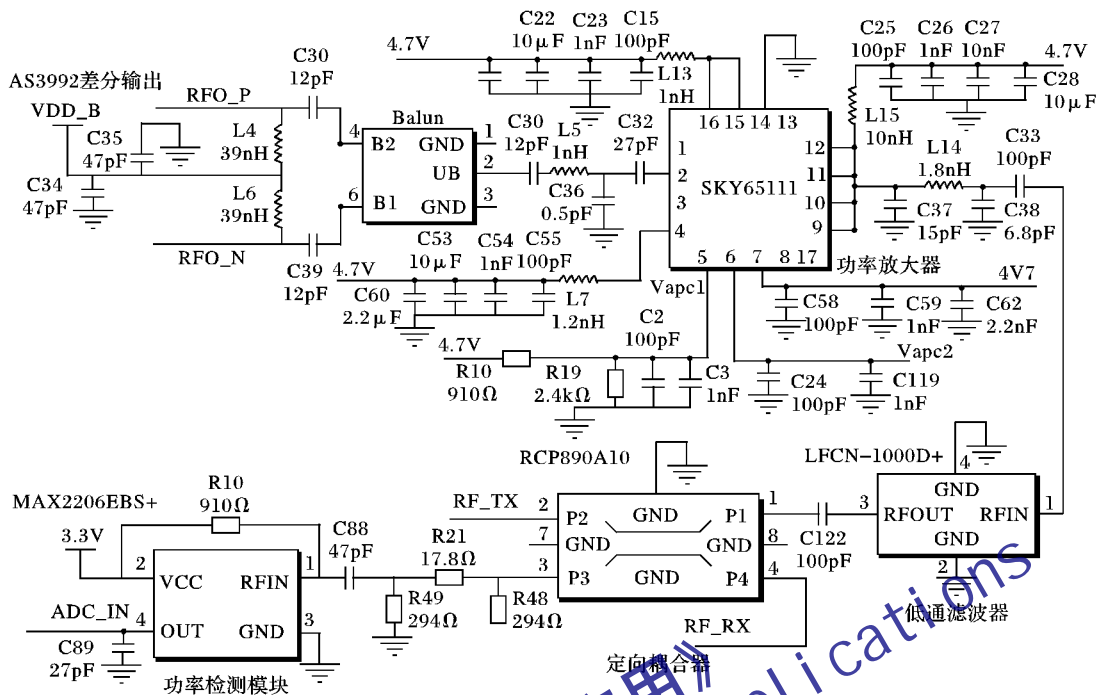


图3 外接功率放大器、射频功率检测、定向耦合器电路设计原理图

### 3) 天线阻抗匹配数字调谐电路的设计。

UHF 射频电路中各个射频模块一般都是与特性阻抗为  $Z_0$  (一般是  $50\ \Omega$ ) 的微带传输线相连,因此在各射频模块与传输线之间就要进行阻抗匹配。进行阻抗匹配的必要性在于:一方面可向负载输出最大的功率输出,在天线、低噪声放大器或混频器等接收机前端可以改善噪声系数等<sup>[8]</sup>;另一方面, UHF RFID 读写器使用外接天线与无源标签进行通信,但天线的夹具形状和尺寸的易变性,使天线的负载阻抗和驻波比容易随外部环境的变化发生变化,造成读写器传输功率的损耗和接收灵敏度下降<sup>[9]</sup>。此外,根据自由空间 UHF 射频最

大传输距离( $R$ ) Friis 计算公式<sup>[8-9]</sup>如式(2)所示:

$$R = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \tau}{P_{th}}} \quad (2)$$

其中: $P_t$ 为读写器的发射功率; $G_t$ 为读写器的外接天线的增益大小; $G_r$ 、 $\tau$ 、 $P_{th}$ 分别为无源标签的天线增益、传输系数、启动标签芯片工作的门限功率。由式(2)可知,提高读写器天线端发射功率  $P_t$ ,可有效地增加 RFID 系统的最大传输距离。因此,为了使读写器发射机向天线负载端输出最大功率、改善接收机链路信噪比,系统设计了微带传输线( $Z_0 = 50\ \Omega$ )和读写器天线之间的阻抗匹配数字调谐电路,如图4所示。

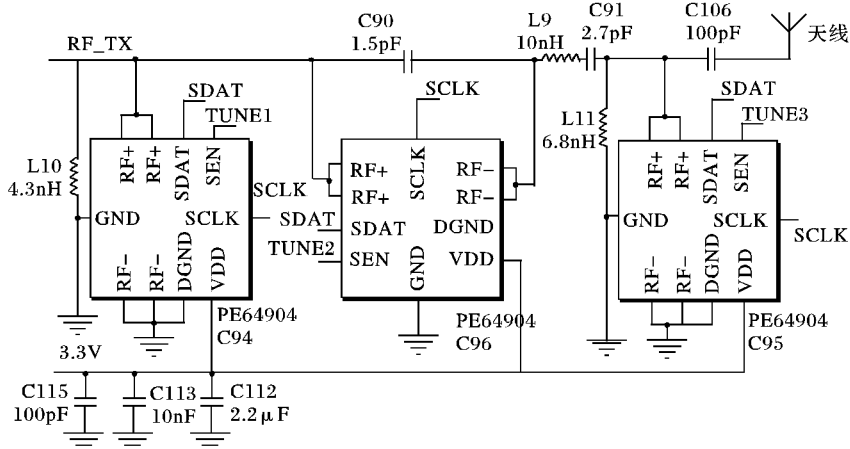


图4 天线阻抗匹配数字调谐电路

在本设计中,采用电感、电容和数字可调电容(Digitally Tunable Capacitor, DTC) PE64904 构成读写器天线阻抗匹配调谐电路。电感选用 Coilcraft 公司的高 Q 值系列,贴片电容则选用 Murata 公司的 GRM 系列和 GJM 系列,分别用于信号隔直旁路和电容。PE64904 是集成 3 线 SPI 数字接口的 5 bit 数字可调电容,支持 RF 大功率信号处理,并支持串联

( $C = 0.7 \sim 4.6\ \text{pF}$ ) 和并联( $C = 1.12 \sim 5.18\ \text{pF}$ )方式使用<sup>[10]</sup>。

设计的读写器天线阻抗匹配数字调谐电路的工作原理为:读写器射频芯片 AS3992 的接收机包含 RF 反射信号输入水平指示器模块,可用来电路或天线环境问题诊断,包括天线的反射功率过大、天线环境易反射和定向耦合器泄露等问题。



测量发射载波反射功率大小时,RF 反射信号输入水平指示器通过 AS3992 内部 AD 转换器测量接收机混频器 RF 输出 DC 信号水平,测量结果与 RF 输入信号强弱成正比,供主控模块读取。主控模块 S3C2440A 通过 SPI 接口与 PE64904 进行通信,并动态调整 PE64904 容值  $C$  大小,直至 RF 反射指示器测量结果最小,也即发射载波反射功率最小,从而达到向天线负载端输出最大发射功率,同时改善接收机信噪比。PE64904 功能结构<sup>[10]</sup>如图 5 所示。

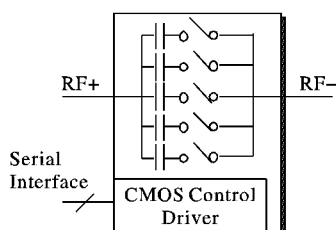


图5 PE64904 功能结构

### 3 读写器软件系统设计

在超高频 RFID 读写器系统中,读写器射频芯片 AS3992 提供射频模拟信号前端处理和 ISO/IEC 18000-6C 协议处理功能,而主机系统与 AS3992 的 SPI 通信控制、ISO/IEC 18000-6C 协议实现、标签防碰撞算法以及 Web 通信系统等均由基于嵌入式 Linux 的读写器 Web 固件系统实现。

#### 3.1 射频芯片 AS3992 射频通信控制

系统中,AS3992 作为从机采用 SPI 接口与主控模块 S3C2440A 主机进行通信,并由主控模块发起所有通信过程。AS3992 通信协议由开始条件(Start Condition)引导,其后为一字节的地址或命令字。AS3992 与主机数据通信协议存在三种模式:连续地址模式、非连续地址模式和命令模式。在地址模式中,地址字节之后均为有效数据。在连续地址模式中,给出通信首地址,AS3992 将自动按字节依次增加读写地址,完成多字节的数据交换;在非连续地址模式下,一字地址只能读写一字节数据;命令模式用于向 AS3992 发送操作命令,如命令开始发送、跳频等。三种通信模式均由正确的结束条件终止,连续地址模式由连续地址结束信号(StopCont)终止、其他两种模式由非连续地址结束符来结束(StopSgl)。三种模式的典型数据通信格式如图 6 所示。

连续地址模式

Start	Addr x	Data(x)	...	Data(x+n)	StopCont
-------	--------	---------	-----	-----------	----------

单地址模式

Start	Addr x	Data(x)	Addr y	Data(y)	...	StopSgl
-------	--------	---------	--------	---------	-----	---------

命令模式

Start	Cmd x	Cmd y	...	StopSgl
-------	-------	-------	-----	---------

图6 AS3992 数据通信协议格式

图 7 为 S3C2440A 与读写器芯片 AS3992 射频通信流程。

#### 3.2 ISO/IEC 18000-6C 标签盘存及防碰撞算法实现

AS3992 支持 ISO/IEC 18000-6C 协议全部功能,ISO/IEC 18000-6C 协议规定的标签操作流程为选择(Select)→盘存(Query)→访问(Access)。

ISO/IEC 18000 包括 Type A、B、C 三种类型,三者区别在于标签的防碰撞算法和编码方式不同<sup>[11]</sup>。针对 ISO/IEC 18000-6C 协议标准,采用 Random Slotted 算法(也叫  $Q$  算法)<sup>[12]</sup>。 $Q$  算法的防碰撞原理是:在一个新的盘存周期,起始  $Q$  值(0~15)在读写器的 Query 命令中参数指定,标签接收到读写器 Query

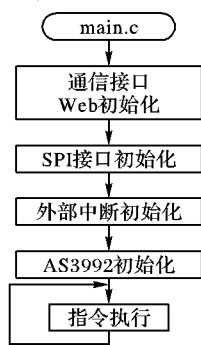


图7 S3C2440A 与 AS3992 射频通信流程

命令后,通过生成存储在标签时隙计数器(Slot counter)的随机时隙值 slot (0~ $2^Q-1$ )。如果生成的 slot 值为 0,标签将立即响应,否则标签进入仲裁(Arbitrate)状态等待接收到读写器 QueryRep 或 QueryAdjust 命令后,slot 值将减 1,直至 slot 值为 0 标签将进入回答(Reply)状态并立即响应。 $Q$  值取值范围在(0~15),对应的标签响应概率范围在( $2^{-15}$ ~ $2^0$ )。如果多个标签在一个时隙时间的 slot 值等于 0 时,多个标签将同时响应,此时读写器将检测到碰撞发生。此外,在系统盘存标签过程中,采取合适的  $Q$  值调整算法,使  $2^Q$  大小和未读取标签数量约相等时,可使系统标签盘存效率最高<sup>[12]</sup>,提高单位时间内成功识别的标签量<sup>[13]</sup>。因此设计中,读写器根据检测到碰撞发生的次数与当前  $Q$  值之间的关系,动态调整  $Q$  值,对符合 ISO/IEC 18000-6C 标签进行盘存流程如图 8 所示。

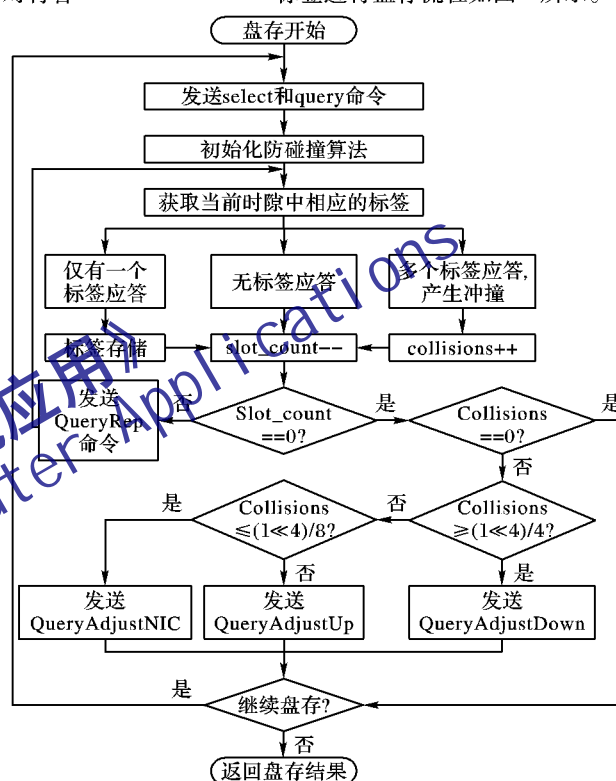


图8 ISO/IEC 18000-6C 标签盘存流程

#### 3.3 嵌入式 Web 通信系统

基于嵌入式 Linux 操作系统的 Web 通信系统由嵌入式 Boa Web 服务器和 CGI C 程序设计构成。Boa 是基于 GNU/Linux 平台的 Web 服务器,其特点包括速度快和安全<sup>[14]</sup>。Boa 源码开放、支持 CGI 编程,可执行文件大小约 60 KB,特别适合应用在嵌入式系统中,所以本文选择 Boa 作为系统 Web 服务器。Boa 的移植和配置方法可参考文献[14-15]。

CGI(Common Gateway Interface)是外部扩展应用程序与 Web 服务器交互的一个标准接口<sup>[15-16]</sup>。CGI 规范定义了 Web 服务器如何向扩展应用程序发送消息,又如何对接收来自外部扩展应用程序的消息进行处理等。CGI 程序就是遵循这种接口标准、运行在 Web 服务器上的应用程序。CGI 应用程序与 Web 服务器的数据通信是根据环境变量、命令行参数设置和标准输入输出来进行的。CGI 应用程序的标准输入是 Web 服务器的标准输出,而其标准输出是 Web 服务器的标准输入。客户端的请求通过 Web 服务器的标准输出传送至 CGI 应用程序的标准输入,CGI 应用程序对接收的消息进行处理后,通过标准输出方式将处理结果发送至 Web 服务器,最后

由服务器返回至客户端。

CGI 应用程序支持多种程序设计语言编写。由于 C 语言的平台无关性和优秀的灵活性,本文采用 C 语言开发 CGI 应用程序。基于嵌入式 Boa Web 服务器和 CGI C 编程的 Web 通信系统流程如图 9 所示。

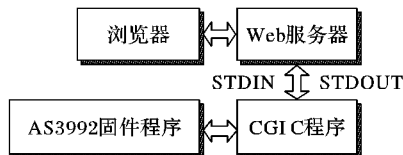


图9 Web通信系统通信流程

本设计中,CGI C 应用程序模块接收来自 Web 服务器接收的用户命令请求,并将接收的命令请求通过进程间通信方式——消息队列发送至读写器固件程序,最终由固件程序通过执行相应的函数完成命令处理并反向返回结果。图 10 为读写器固件程序接收处理 Web 命令流程。



图10 读写器固件程序接收处理 Web 命令流程

#### 4 性能分析

对 UHF 频段的 RFID 读写器设备射频指标测试,我国目前参考的标准是《800/900 MHz 频段射频识别(RFID)技术应用规定(试行)》<sup>[17]</sup>。在标准中,该频段的 RFID 无线电发射设备规定测试的射频指标包括载波频率容限为 0.000 02;信道带宽及信道占用带宽(99% 能量)为 250 kHz;发射功率限制为 33 dBm;邻道功率泄漏比(Adjacent Channel Power Ratio, ACPR):40 dB(第一邻信道功率比),60 dB(第二邻信道功率比)、杂散发射限制;工作模式为跳频扩频方式,每条频信道最大驻留时间为 2 s 等。

使用 Tektronix RSA3408B 实时频谱分析仪测量设计的 UHF RFID 读写器射频指标。设置读写器工作在 920 ~ 925 MHz 跳频扩频模式下,最大驻留时间设置为 2 s,测量结果如下:载波频率容限约为 0.000 01;信道带宽为 180 kHz;发射功率水平最高可达 33 dBm;ACPR:45.97 dB(第一邻信道功率比)、69.54 dB(第二邻信道功率比),如图 11 所示。

以上测试结果表明:本文设计的读写器射频指标符合我国《800/900 MHz 频段射频识别(RFID)技术应用规定(试行)》标准。

#### 5 结语

本文设计了一种支持 ISO/IEC 18000-6C 协议的超高频读写器系统,系统射频前端电路模块解决了因读写器外接天线的负载阻抗的易变性而造成读写器的传输功率损耗和接收灵敏度下降的问题,在读写器、天线之间实现了功率传输的最大化,有效地提高了接收机灵敏度和标签识别距离。系统软件控制模块一方面通过采用 Random Slotted 防碰撞算法,解决了多标签盘存时的防碰撞问题,提高了标签盘存效率;另一方面通过移植嵌入式 Linux Boa Web 服务器系统,实现了读写器与网络系统的结合,方便二次开发应用。实际现场运行结果表明:读写器稳定读取标签的距离达到 10 m,满足了实际

工程的需求。不足之处是:本系统目前只针对单个读写器多标签的应用场合进行了设计,对如何解决多读写器多标签密集工作模式下可能存在串扰、串读的难题,有待进一步研究。

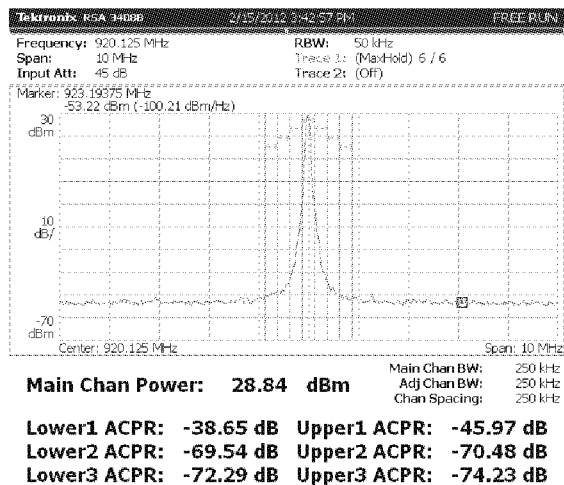


图11 Tektronix RSA3408B 频谱仪测量读写器射频指标结果

#### 参考文献:

- [1] 王大卓,孙玲玲,蔡鹏鹏.一种便携式超高频 RFID 读写器的设计[J].杭州电子科技大学学报,2010,30(5):33-36.
- [2] 王耀,范文兵,葛峥.超高频 RFID 读写器射频前端设计与仿真[J].微计算机信息,2009,25(4):248-250.
- [3] Samsung Electronics Company Limited. S3C2440A 32-Bit CMOS microcontroller user's manual [EB/OL]. [2012-04-16]. <http://www.samsungsemi.com/>.
- [4] 章朝东.嵌入式系统设计从入门到精通——基于 S3C2410 和 Linux[M].北京:北京航空航天大学出版社,2006:79-80.
- [5] Skyworks Solutions Incorporated. SKY65111-348LF datasheet [EB/OL]. [2012-04-16]. <http://www.skyworksinc.com>.
- [6] 陈邦媛.射频通信电路[M].2版.北京:科学出版社,2006:77-80,18-19.
- [7] 白兴文,张亚君.基于 RFID 天线阻抗自动匹配技术的研究[J].电子器件,2010,33(2):205-208.
- [8] 袁炜,张春,王志华.超高频无源射频标签的射频接口设计[J].微电子学,2006,36(6):817-819,824.
- [9] RAO K V S, NIKITIN P V, LAM S F. Antenna design for UHF RFID tags: A review and a practical application[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2005, 53(12):3870-3876.
- [10] Peregrine Semiconductor Incorporated. PE64904 datasheet [EB/OL]. [2012-04-16]. <http://www.psemi.com>.
- [11] 禹士朋,范文兵,李建华,等.超高频 RFID 系统中的防碰撞算法研究[J].通信技术,2010,43(9):118-120.
- [12] 王铖岑.RFID 系统防碰撞算法[J].计算机技术与发展,2010,20(1):29-32,35.
- [13] 冯娜,潘伟杰,李少波,等.基于新颖跳跃式动态搜索的 RFID 防碰撞算法[J].计算机应用,2012,32(1):288-291.
- [14] DOOLITTLE L, NELSON J. Boa Webserver [EB/OL]. [2012-04-16]. <http://www.boa.org>.
- [15] 陈红梅,陈静,李雪冬.嵌入式 Linux 下基于 CGI 的动态 Web 的实现[J].计算机时代,2010(4):4-5.
- [16] Boutell.Com Incorporated. CGIC: An ANSI C LIBRARY for CGI programming [EB/OL]. [2012-04-16]. <http://www.boutell.com/cgic>.
- [17] 000019692/2009-01627, 800/900 MHz 频段射频识别(RFID)技术应用规定(试行)[S].北京:中华人民共和国工业和信息化部,2007.