

一种手持式超高频 RFID 读写器检测仪的设计

徐 卫

(成都天奥测控技术有限公司, 成都 611731)

摘要: 射频识别 (RFID) 技术随着物联网的兴起而得到迅速发展, 超高频 RFID 技术因其识别距离远、识别速度快、有较强的防碰撞能力而被广泛应用; 与 RFID 技术相比, RFID 测试技术相对比较滞后, RFID 测试还主要是基于参考标签或参考读写器的定性测试; 为了实现 RFID 读写器的射频参数和协议一致性的定量测试, 设计了一种基于射频处理和软件无线电 (SDR) 的超高频 RFID 读写器检测仪; 该检测仪属于手持式设备, 体积小、功耗低、重量轻、功能强大、且操作简便, 满足超高频 RFID 读写器批量生产和现场保障的测试需求。

关键词: 手持式; 检测仪; RFID; 超高频

Design of Portable UHF RFID Reader Tester

Xu Wei

(Spaceon Observation and Control Technology Co., Ltd., Chengdu 611731, China)

Abstract: Radio frequency identification (RFID) technology has been developing rapidly from the rising of the Internet of things, UHF RFID technology has been widely used because of its long recognition distance, fast recognition speed, strong anti collision capability. Compared with the RFID technology, the RFID testing technology is relatively laggard, and it mainly carries on the qualitative test based on reference tag or reference reader. In order to realize the quantitative measurement of the RF parameters and protocol conformance of the RFID reader, an UHF RFID reader tester based on RF processing and digital software-defined radio (SDR) is designed. The tester is a portable device, and it has many characteristics such as small volume, low power consumption, light weight, strong function, simple operation, and it can meet the UHF RFID reader's test requirements of mass production and field support.

Keywords: portable; tester; RFID; UHF

0 引言

超高频 RFID 技术是利用超高频电磁信号传输特性和空间耦合原理实现信息传递和自动识别的技术^[1,2], 目前正被广泛应用于仓储、物流、机场、商场、工业自动化控制、人员管理、安防、野生动物管理等众多领域^[3]。测试技术是 RFID 技术应用不可或缺的一个环节, RFID 测试技术及标准^[4-5]的发展已经远远落后于 RFID 其它技术分支的发展, 目前用于解决 RFID 读写器测试的方案主要有:

- 1) 采用参考标签和读写器通信的方式, 判断读写器的好坏。
- 2) 采用第三方仪器通过监听参考标签和读写器通信来分析读写器的射频参数。
- 3) 采用矢量信号发生器取代参考标签, 给被测读写器发送激励信号, 同时通过数字触发启动矢量信号分析仪或实时频谱仪^[6]采集分析。
- 4) 采用基于 FPGA 基带处理配合射频前端处理, 实现 RFID 信号激励和测量。

第一种方案是对被测读写器进行定性测试, 实现简单, 测试成本低, 但仅能够判断好坏; 第二种方案对被测读写器的射频参数有一定的定量测试, 测试成本适中, 但实现比较复杂; 第 3 种方案能够对被测读写器进行部分定量测试, 但实现较复杂, 测试成本很高; 第 4 种方案能够对被测读写器的射频参数和协议一致性进行定量测试, 实现较复杂, 测试成本适中。

手持式超高频 RFID 读写器检测仪 (简称: RFID 检测仪)

基于上述第 4 种方案设计, 采用超高频射频收发技术和基带处理技术, 在模拟标签功能实现与读写器通信的基础上完成超高频 RFID 协议一致性测试和射频参数测试, RFID 检测仪的工作原理^[7]框图如图 1 所示。

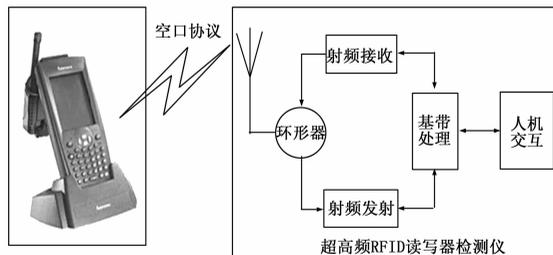


图 1 RFID 检测仪工作原理框图

1 硬件设计

RFID 检测仪的硬件架构采用通用软件无线电架构, 硬件系统是由射频收发单元、基带处理单元、人机交互单元、系统供电单元和手持式结构件组成。硬件的每个组成单元都采用独立模块设计, 在一定程度上降低电路的耦合度和信号串扰。射频收发单元和基带处理单元之间的基带信号采用射频连接器 (SMA) 连接以保证信号传输质量。作为一款手持式设备, 功耗设计在整个硬件设计过程中都尤为重要, 因此在保证各电路单元工作可靠的前提下, 硬件电路结构力求简化, 器件选型尽量采用高性能、低功耗的器件。

1.1 射频收发单元

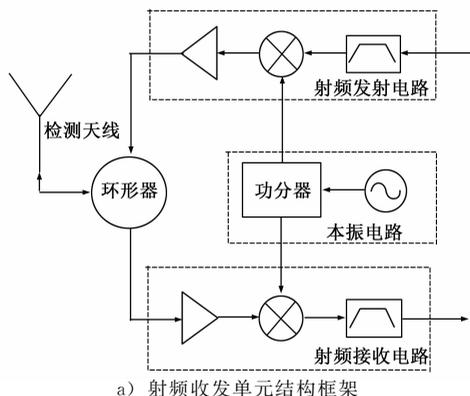
射频收发单元负责实现基带信号和超高频信号 (840~845 MHz 和 920~925 MHz) 之间的转换, 电路由检测天线、环形器、接收链路、发射链路和本振电路组成^[8], 其结构框图参见图 2a)。射频收发采用共用天线, 通过环形器来实现收发信号的

收稿日期: 2015-11-06; 修回日期: 2015-12-08。

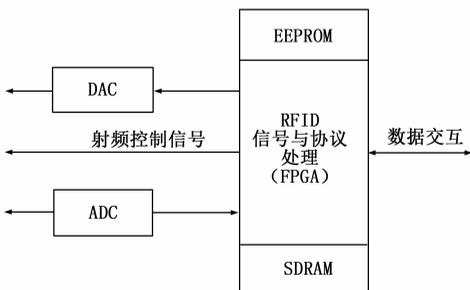
作者简介: 徐 卫 (1981-), 男, 山东省济宁市人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事测控技术与仪器方向的研究。

隔离，环形器的隔离度决定发射端载波信号泄露到接收端的程度。设计选用泰格微波公司的 TGH2142-A1，该器件体积小，隔离度可达 23 dB。本振电路通过功率分配器同时为射频收发链路提供混频用的本振信号，其设计基于数字分频技术和锁相环技术，由参考晶振、鉴相器、三阶无源环路滤波、压控振荡器（VCO）和程控分频器等部分组成，频率稳定度可达 0.1 ppm。

检测天线接收到被测读写器发送的无线 RFID 信号，经环形器送至射频接收链路；随后信号经放大、混频、滤波等处理下变频至基带信号并送至基带处理单元。由于测试距离会影响输入射频端口信号的功率大小，所以在接收链路入口采用限幅器进行限幅处理，将功率控制在 0 dBm 以内，以保证后续电路的安全。同时为了保证输入 ADC 的信号电平在线性有效的范围之内，使用耦合电路、检波电路和模数转换实现对输入功率的检测。当检测到接收信号超过设定阈值，将放大链路切换到直通通路，反之，则切换到放大通路。混频电路将接收超高频射频信号下变频至 55 MHz 中频信号，该中频信号经过 55 MHz±3 MHz 的带通滤波进行信号的提纯，最后进行信号的补偿放大。



a) 射频收发单元结构框架



b) 中频处理单元结构框架

图 2 射频与中频处理单元结构框架

从基带处理单元输出的中频发射信号送至射频接收链路，随后信号经过滤波、混频、放大等处理上变频至用于发射的射频信号，最后经环形器由检测天线发送出去。发射链路中滤波电路的设计与接收链路原理一致，不同之处在于中心频率为 35 MHz；混频电路的作用则相反，用于把基带信号上变频至射频发送信号，实现的原理是一致的。

1.2 基带处理单元

基带处理单元主要是由基带接收支路、基带发射支路和 RFID 信号与协议处理单元组成，硬件电路框架参见图 2b)。RFID 信号与协议处理单元使用一片 Xilinx 公司的 Virtex-4 系列 FPGA，型号为 XC4VVSX55，该 FPGA 芯片具有丰富的数字

信号处理单元，支持最大处理速度在 200 MHz 以上。为了增加 RFID 协议处理过程的内存容量，FPGA 外围增加两片 128 Mbits 的 SDRAM。

基带接收支路采用凌力尔特公司的 14 位、采样速率为 125 MSPS 的 ADC 芯片 LTC2254。该芯片采用差分信号输入模式，在正常工作时，其功耗仅为 395 mW，信噪比优于 72 dB，无杂散动态范围可达 85 dBRS。基带发射支路采用模拟器件公司的 14 位、采样速率为 300 MSPS 的 DAC 芯片 AD9755AST，用以产生中心频率为 35 MHz、带宽为 5 MHz 的中频信号。在输出 35 MHz 信号时，该芯片的无杂散动态范围可达 70 dBRS，且其功耗仅为 155 mW。

1.3 人机交互单元

人机交互单元主要实现检测仪的参数获取与处理、外部操作输入和检测结果输出显示。核心处理采用德州仪器（TI）基于 ARM^[9] Cortex-A8 内核的工业级嵌入式微处理器 AM335X。该处理器最高主频可以达 720 MHz，二级高速缓存，带 24 位 LCD 控制器和触摸屏控制器，支持 WinCE、Linux 等多种嵌入式操作系统。外部操作输入包括按键以及 USB 鼠标接口等；结果输出显示部分包括显示屏电路、指示灯、USB 存储器接口（用于数据导出）等。

1.4 系统供电单元

系统支持外部直流电源 28 V 输入和高容量锂电池两种供电方式，在选用外部直流电源输入时，除为系统供电外，同时也为锂电池充电。电源设计提供充足的滤波电路，同时设计有短路保护、过流保护和电池过放电告警等附属电路。为了提高电源转换效率，供电电路尽量采用 DC-DC 转换电路，少用 LDO 降压。对于手持设备来说，除了整个设备的低功耗设计外，电池容量的选择也极为重要。RFID 检测仪正常工作时，各硬件部分的功耗罗列如下：射频收发单元的平均功耗为 4.7 W，中频处理单元的平均功耗为 3.1 W，人机交互单元平均功耗为 2.7 W，电源电路的转化效率为 90%；整机平均功耗为：

$$P_{总} = (4.7 W + 3.1 W + 2.7 W) / 90\% \approx 11.67 W$$

要满足电池供电时正常工作时间大于 6 小时的技术要求，电池容量必须大于 70.02WH。设计选用 7AH@DC11.1V 的锂电池供电，其理论正常工作时长约 6.65 小时。在待机状态下，RFID 检测仪将临时关闭射频收发单元和基带处理单元，并置人机交互单元为待机模式，此时整机功耗约为 3.3 W，理论工作时长约 24 小时。

1.5 手持式结构件

手持式结构设计是在保证满足整机的电磁兼容要求、可靠性和抗震等环境适应性要求的基础上，将各组成单元有机地组合起来。结构主要可分为上、下两个结构件，功能模块电路板处在上下结构件之间，上下结构件接触面安装导电橡胶条，起到电磁屏蔽的作用。上结构件包含组合按键、显示屏及其驱动附属电路板等组件；下结构件的侧面包含了天线接口（SMA）、USB 接口（Micro-USB）和电源接口，其底面腔体用于放置电池，电池外使用电池盖保护。

2 RFID 协议处理

RFID 信号与协议处理^[10]，是在 FPGA 中实现被测读写器的射频参数测试和协议一致性测试。测试内容涵盖打开关闭载波和通信过程中的时域参数（建立时间、关闭时间、稳定时间、纹波、占空比）、通信调制参数（调制方式：DSB-ASK、BPSK，DSB-ASK 的调制深度、BPSK 的 EVM 值）、频域参数

(工作频率、频率准确度、稳定度、功率、占用带宽、临信道功率抑制比)、通信编码参数(前导码、校验方式、编码结构、数据速率、反向链路频率)和连接定时参数^[11](T1~T4)。从设计结构上,RFID 信号与协议处理主要包括接收链路层处理、信息处理状态机、发送链路层处理三部分。

2.1 接收链路层处理

接收链路层接收并分析被测读写器发送过来的携带命令参数的射频信号,并触发信息处理状态机读取测试参数,具体处理流程设计见图 3。

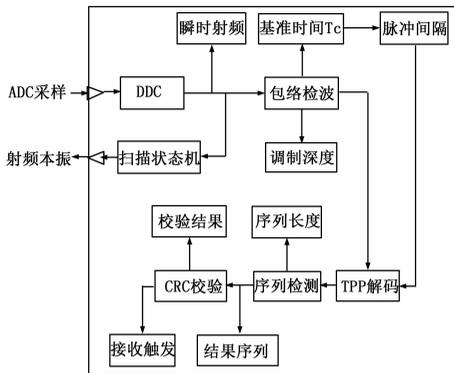


图 3 接收链路协议流程

在读写器的测试中,首先需要考虑的是 RFID 检测仪与被测读写器的工作频率问题。按照超高频 RFID 通信协议^[11]要求,800 MHz 和 900 MHz 频段各有 20 个信道,每个信道的带宽为 250 kHz。通过设置射频本振来其确定工作频段,而工作信道的确定是通过一个扫描状态机以 250 kHz 为间隔不断设置数字本振,然后通过采集中频信号并计算最大功率而实现的。在确定工作信道的过程中,信号经过数字混频变成零中频数字信号;经过数字下变频,进一步降低了信号的采样率和信号分析带宽;最后通过短时 FFT 运算最终得到其工作频率值。其中,数字下变频器的设计是关键,它是由 6 级级联积分梳状滤波器、3 级半带滤波器和补偿滤波器级联实现的。级联积分梳状滤波器的抽取因子可为 2~128 之间的整数,与抽取因子 1~8 的 3 级半带滤波器组合,可以实现 1/1 024 fs~0.5 fs 采样率变化。

下变频后的信号经包络检波后进行前导码检测,测定前导符 1 与前导符 2 的时间值,并由此确定基准时间 T_c ;同时,对包络检波后的数据计算其调制深度。然后根据基准时间 T_c 确定后续序列的脉冲间隔时间,并通过确定其与 T_c 之间的关系进行二进制判决(TPP 译码)。解码后的二进制序列进入序列检测环节,得出结果序列和长度;最后对检测后数据系列进行 CRC 校验。

2.2 信息处理状态机

信息处理状态机负责处理接收链路层发送的命令和参数信息,并将有关测试结果的信息后上传至人机交互单元。同时,根据接收到被测读写器的命令和参数信息,结合自身所处的工作状态,生成用于和被测读写器进一步通信所需要回复的命令和参数信息,并保持或切换至下一个工作状态。信息处理状态机包含就绪、仲裁、应答、确认、开放、保护和杀死 7 种工作状态,初始状态为“就绪状态”。

2.3 发送链路层处理

发送链路层根据信息处理状态机确定的信息,经过一系列处理后生成与被测读写器通信的发送序列,读写器接收、分析

RFID 检测仪回传的信号并做出相应的反应,用户可以通过读写器的反应来推算被测读写器对不同激励信号的响应能力。发送链路层的具体处理流程设计见图 4。

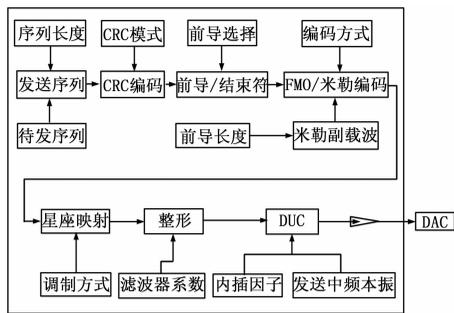


图 4 发送链路处理流程

决定发送序列内容信息包括目前 RFID 检测仪所处状态、被测读写器发送的命令信息、链路频率、CRC 校验方式、编码方式和调制方式等。发送序列的链路频率,就是反向链路频率,它是根据读写器的链路频率按照协议公式计算而来。编码方式包括 FM0 和米勒两种编码方式,根据不同编码方式给发送序列增加不同的前导符和结束符,并对其进行 FM0 或米勒编码。调制方式包括 DSB-ASK 和 BPSK,RFID 检测仪根据被测读写器要求的调制方式对编码后的序列进行星座映射:将符号 1 映射为幅度为 1 的脉冲,符号 0 映射为幅度为 0 (DSB-ASK) 或者 -1 (BPSK) 的脉冲。经过处理后的发送序列通过脉冲整形限制其传输带宽,最后通过数字上变频,输出给基带发送支路。

3 软件设计

3.1 软件平台与总体设计

软件运行的平台采用 WinCE6.0 嵌入式操作系统,并选用嵌入 WinCE6.0 插件的 Microsoft Visual Studio 2008 作为软件设计平台。应用软件设计实现采用 C++ 语言来完成,硬件底层驱动软件采用 C 语言。软件采用分层次软件架构设计,包括嵌入式操作系统、底层驱动软件、人机交互软件 3 个层次,结构简单,层次清晰。

3.2 底层驱动软件设计

底层驱动软件主要实现人机交互软件与 RFID 信号与协议处理单元(FPGA)之间数据交互的接口驱动。驱动软件按照外部 RAM 读写方式直接存取 FPGA 寄存器,并以消息队列的方式通知人机操作软件。由于 FPGA 接口数据流较少,驱动软件与人机交互软件的接口采用 IoControl 的方式来实现。

3.3 人机交互软件设计

人机交互软件负责接收用户命令和参数并通过驱动软件下发至 RFID 协议处理单元,随后等待 RFID 协议处理单元处理完成并获取相应的测试参数值。最后依据超高频 RFID 协议^[11]对相关参数的要求进行判决,并把判决总体结果和详细测试参数值显示出来。

由于测试项目比较多,人机交互软件采用树型控件逐一罗列,方便用户操作。用户仅需选中检测项目,点击“开始检测”,即可完成该项功能或参数的测试;完成检测后,用户可以通过点击“保存报告”,生成该次测试结果的报表。报表是以 EXCEL 格式保存,可以通过面板上的 USB 接口将该报表导出到其他平台。