

基于有源 RFID 的极低功耗温湿度传感标签的设计

孟海斌, 张红雨

(电子科技大学 电子工程学院, 四川 成都 611731)

摘要: 提出了可以显著降低功耗的有源 RFID 标签工作流程, 设计出一种极低功耗的温湿度传感标签。该标签采用微控制器 PIC24F16KA102 为核心, 以温湿度传感器 SHT21S 和射频收发芯片 nRF24L01 为外围器件, 完成温湿度及电池电量信息的检测和发送。该有源标签在开阔场地的有效阅读距离可以达到 80 m 左右, 标签连续工作时的电池寿命为 9 年以上, 具有体积小、寿命长等优点, 可广泛应用于生产车间的温湿度监测、冷链物流、医疗系统、仓储物资管理等方面。

关键词: 有源 RFID; 极低功耗; 温湿度; PIC24F16KA102; nRF24L01; 标签

中图分类号: TP212.9; TN409

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)23-0017-04

Design of extreme low power temperature and humidity sensor tag based on active RFID

Meng Haibin, Zhang Hongyu

(School of Electronic Engineering, University of Electronic Science and Technology, Chengdu 611731, China)

Abstract: This paper proposes the workflow diagram of an active RFID tag that can remarkably reduce power consumption, designs a temperature and humidity sensor tag of extremely low power consumption. The tag uses the microcontroller PIC24F16KA102 as its core and the temperature and humidity sensor SHT21S and radio frequency transceiver chip nRF24L01 as its peripheral components, to complete the detecting and transmitting of the information of temperature, humidity and battery capacity. The tag has an effective reading distance of about 80 meters in open area, and its battery has a life of over 9 years under continuous working. This active tag has advantages of being small in size and long in life. It can be widely used in the temperature and humidity monitoring in production workshop, cold chain logistics, medical systems, warehouse materials management, etc.

Key words: active RFID; extreme low power consumption; temperature and humidity; PIC24F16KA102; nRF24L01; tag

射频识别技术 RFID (Radio Frequency Identification) 是通过射频信号对某个目标的 ID 进行自动识别得到对象信息, 并获取相关数据的技术。不同于传统的磁卡和 IC 卡, RFID 技术解决了无源和免接触两大问题, 同时它可实现运动目标和多目标识别, 能够广泛应用于各类场合。其突出优点是环境适应性强、能够穿透非金属材料、数据存储量大、抗干扰能力强。根据供电方式的不同, 可以将 RFID 分为两类: 无源 RFID 和有源 RFID。无源 RFID 工作时, 标签通过读写器的电磁场获得能量, 标签本身不需要电池。有源 RFID 则恰恰相反, 需要提供全部器件工作所需的电源^[1], 电子标签需要自备电池。与无源标签相比, 有源 RFID 温湿度标签有着对阅读器的发射功率要求低、有效阅读距离远的优点, 因此在冷链物

流、医疗系统、仓储物资管理、疫苗生产物流、卫生防疫系统、科研机构等方面有着十分广泛的应用。但有源 RFID 温湿度传感标签对使用寿命、可靠性、体积等方面有较高的要求。因此, 设计一个寿命长、可靠性高、体积小的有源 RFID 温湿度传感标签在国民生活中有着十分重要的意义。本文主要解决了有源标签设计的低功耗问题。

1 有源 RFID 系统组成及工作原理

有源 RFID 系统由有源标签、阅读器和应用系统三部分组成, 如图 1 所示。有源标签具有唯一的身份识别码(即 ID), 一些有源标签内部还集成了传感器, 用于对特定物理量的测量。在阅读器的有效工作范围内, 电子标签主动地将自己的 ID 和所测得的物理量以电磁波的

形式发送给阅读器,阅读器将相关信息存储在自己的存储设备中,存储在阅读器中的数据可以通过以太网口、RS-232、USB等通信接口传送给应用系统,以便对数据进行进一步处理^[2]。

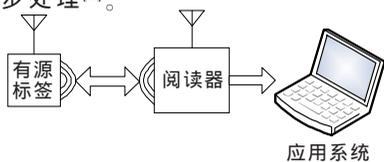


图1 有源RFID系统原理

2 有源温湿度传感标签的结构

2.1 结构

本文所设计的有源温湿度传感标签的结构框图如图2所示。有源标签的核心是一个微控制器(MCU),射频模块通过天线进行射频信号的收/发;EEPROM存储标签的身份识别码以及物品的属性等信息;温度检测和湿度检测分别用来检测标签所处环境的温度和湿度,为简化设计,可以使用集温湿度检测于一体的芯片;电量检测模块通过检测电池的电压,并根据电池电量和电压的对照关系,间接地检测出电池的剩余电量;电池为各个模块的正常工作提供电源。

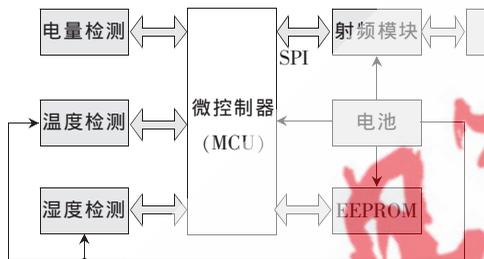


图2 有源温湿度传感标签框图

2.2 总体电路

2.2.1 主控模块

主控模块采用Microchip公司型号为PIC24F16KA102的16bit超低功耗单片机。该系列的MCU采用nanoWatt XLP(eXtreme Low Power)极低功耗技术,其典型休眠电流可以低至20nA,实时时钟电流低至490nA,看门狗定时器电流低至370nA^[3]。MCU可连续运行20年以上而无需更换电池,成为业界8bit和16bit MCU中低功耗性能最突出的MCU。该单片机具有SPI、PG、UART、9个模拟输入通道、3个16bit定时器/计数器、3个外部中断^[3],完全可以满足有源标签的需求。MCU与标签通过SPI接口进行串行通信,如图3所示。图3中的J1是PIC24F16KA102单片机用于下载和调试程序所用的ICSP接口。

2.2.2 射频收发模块

nRF24L01是一款工作在2.4GHz~2.5GHz世界通用ISM频段的单片无线收发器芯片。nRF24L01主要由调制/解调器、CRC编码/解码器、GFSK滤波器、中频带通滤波器、功率放大器、低噪声放大器(LNA)、先进先出缓冲器(FIFO)组成^[4]。通过SPI接口与MCU进行通信,其电路图如图4所示。nRF24L01射频收发芯

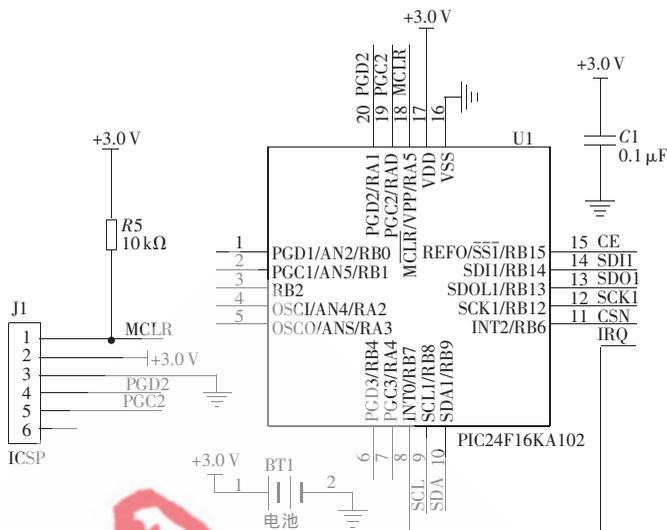


图3 主控模块

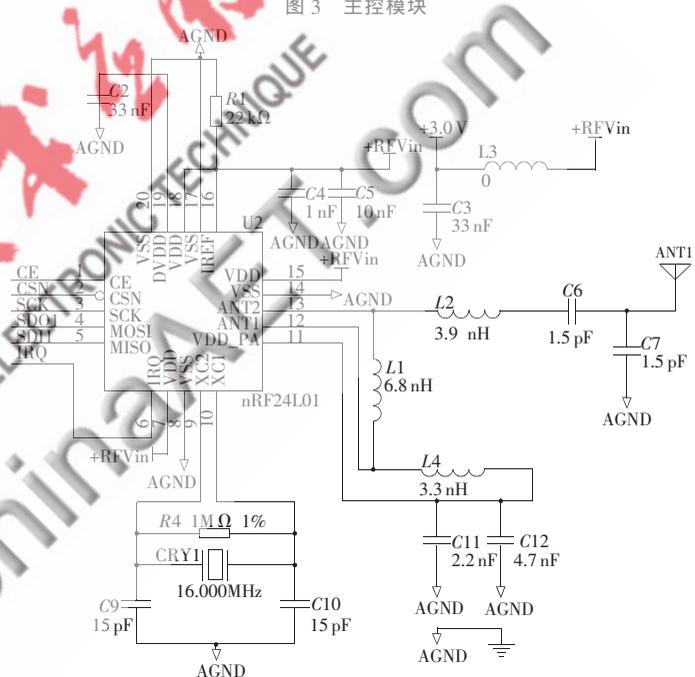


图4 RF模块

片有以下优点:

- (1) 具有125个可选工作频道,可用于跳频工作方式,能够有效地降低周围环境的干扰。
- (2) 采用QFN20封装面积仅为4mm×4mm,占用较小的PCB面积。
- (3) 低功耗。当工作在发射模式下发射功率为-6dBm时,电流消耗为9.0mA,接收模式时为12.3mA,掉电模式和待机模式下电流消耗更低。
- (4) 具有自动应答和自动重发功能。
- (5) 较高的数据传输速率。处于ShockBurst™模式时为1Mb/s,处于增强型ShockBurst™模式时为2Mb/s。

2.2.3 温湿度检测模块

SHT21S^[5]是瑞士Sensirion公司的温湿度传感器,体积小、功耗低、稳定性好。该温湿度传感器在25℃时的

温度测量精度为±0.3℃，温度响应时间为5s~30s(τ63%);湿度测量精度为±2.0%RH,湿度响应时间为8s(τ63%)。该芯片通过SDM接口与MCU进行通信。温湿度的测量通过SCL(3脚)来选择,当SCL输入高电平时进行湿度的测量;SCL为低电平时进行温度的测量。也可以在SDA引脚外接一个低通RC滤波器将SDM信号转换为模拟电压输出。温湿度检测模块如图5所示。

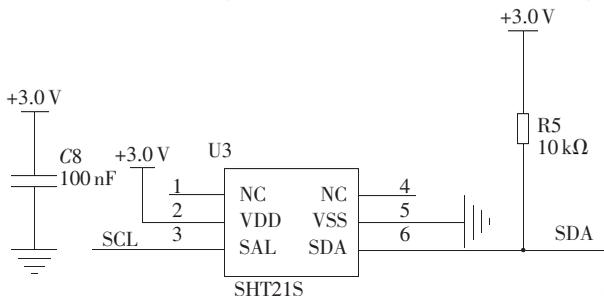


图5 温湿度检测模块

2.2.4 EEPROM

PIC24F16KA102单片机内部有512B的EEPROM。因此本设计采用单片机内部的EEPROM,以避免外接EEPROM,降低外接EEPROM带来的功耗(一般在mA级),以及节省器件,减少电路板的面积,降低成本。

2.2.5 电量检测

电量检测采用MCU内部的高低电压检测HLVD(High/Low-Voltage Detect)功能,通过编程可以设定产生该中断的电压值,这样既解决了使用A/D检测电压没有内部参考源的问题,又在一定程度上降低了功耗。

3 软件设计

3.1 发送数据包的格式

发送数据包的格式如图6所示。前导码用来进行同步,仅在发送模式下使用;标志位用来进行包识别,9bit中仅仅用到其中的2bit,剩余的7bit保留;数据是要传送/接收的1B~32B宽度的物品识别信息,对于本设计,指的是要检测的温湿度以及电池的剩余电量信息;CRC校验选择生成多项式为 $X^{16}+X^{12}+X^5+X^1$ 的16bitCRC校验。

前导码	地址(3~5B)	9位(标志位)	数据(1~32B)	CRC校验(0/1/2B)
-----	----------	---------	-----------	---------------

图6 增强型ShockBurst™模式下的数据包格式

3.2 标签工作流程

为达到超低功耗的目的,标签有两种工作流程:(1)正常的工作流程,检测出所需的物理量并打包发送,时间间隔是10s(在程序中可自行设定)一次,每发送完一次即进入深度睡眠模式,达到10s后通过定时器唤醒,唤醒后程序从复位向量处重新执行;(2)进入深度休眠状态,通过外部中断0(即INT0,外接nRF24L01的中断请求IRQ)进行唤醒,唤醒后重新从复位向量处执行。标签主程序流程图如图7所示。

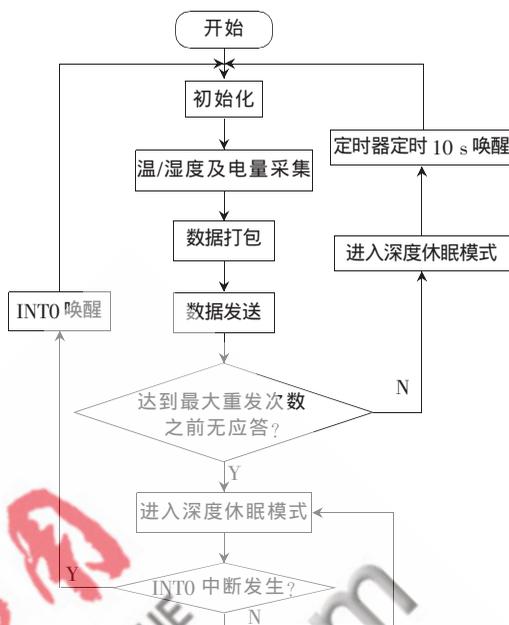


图7 标签主程序流程图

4 系统测试

4.1 功耗测试与估算

首先要通过PIC单片机的集成开发环境MPLAB IDE V8.46的软件仿真器测定单片机在初始化、温湿度检测等工作过程分别所需要的时间;其次,用示波器测试nRF24L01在各个工作过程所持续的时间和所消耗的电流;然后将以上测定的数据,输入Microchip公司的极低功耗电池寿命估算软件(Microchip XLP Battery Life Estimator)中,如图8所示。

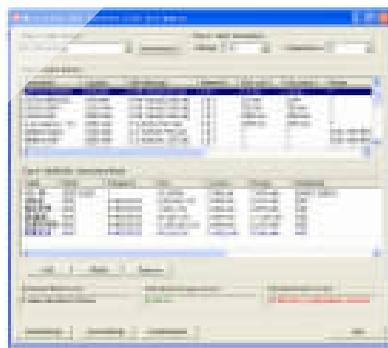


图8 功耗估算截图

标签寿命的计算是基于平均电流的,即标签的理论寿命等于电池的容量(mAh)除以标签消耗的平均电流(mA)。平均电流的定义如下:

$$I_{avg} = Q_{total} / T_{total}$$

$$Q_{total} = i_{p1}t_{p1} + i_{p2}t_{p2} + \dots + i_{pn}t_{pn}$$

$$T_{total} = t_{p1} + t_{p2} + \dots + t_{pn}$$

式中, I_{avg} 为平均电流; Q_{total} 为总电荷; T_{total} 为总时间; $i_{px}(x=1,2,\dots,n)$ 为执行第 x 个过程所消耗的电流; $t_{px}(x=1,2,\dots,n)$ 为执行第 x 个过程所需要的时间。

需要注意的是,实际寿命的计算要考虑标签所用电

池的自放电率(本设计的软件给出的估算时间已经考虑了所选电池本身的自放电率)。估算中采用 225 mAh 的 LiMnO₂ 电池, 计算得到的电池寿命是 2 年 263 天 19 小时, 实际采用的电池是 750 mAh 的锰锂电池, 通过换算得到使用 750 mAh 的锰锂电池的标签寿命约是 9.08 年。如果考虑到电池的实际自放电率(比本软件中给出的稍大些), 实际电池寿命会短一些。本计算得到的寿命是让标签处在日夜不停的连续工作状态(即每隔 10 s 检测出温湿度和电池电压然后进行发送)的寿命, 即考虑的是最坏的可能。实际的标签可能只在一天的某个时间段内工作, 不工作时即进入深度休眠状态, 处理器消耗的功率只在 nA 级。

4.2 整机测试

调试时使用 MCU 的串口通信方式将收到的标签 ID、温湿度及电池电量信息实时显示在上位机软件中, 当发送端每 10 s 发送一次 ID 和相关数据时, 接收标签能够按照既定的时间间隔正确地接收数据并实时显示在上位机软件中。经与标准仪器对比, 所测温湿度数据的精度可满足要求。

当软件中设定发射功率为 0 dBm 时, 在开阔的试验场地测试测得通信距离为 80 m 左右; 在封闭楼道内测试的通信距离在 30 m~40 m。

有源电子标签对低功耗性能指标要求极高, 因为即使是 1 μ A 的静态电流在很长时间内也会消耗较多的电量, 所以在硬件选型上应该特别注意这一点。如果需要

设计一个低功耗性能突出的系统, 在软硬件方面都需要认真考虑, 硬件的低功耗性能至关重要, 软件的低功耗措施也必不可少, 尤其是需要长时间工作的系统, 利用器件的休眠或待机状态能极大地降低系统的功耗。该有源温湿度传感标签已经用在某公司生产车间的温湿度监测系统中, 并取得了很好的低功耗效果。

参考文献

- [1] 马英炳. 有源 RFID 技术应用及发展前景研究[J]. 大众科技, 2008(12).
- [2] 郑贤忠, 曹小华. 有源 RFID 系统中电子标签的设计[J]. 港口装卸, 2008(2).
- [3] Microchip Technology Inc. PIC24F16KA102 datasheet [EB/OL]. http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/PIC24F16KA102_Family_datasheet_39927b.pdf. 2009-04-14.
- [4] Nordic Semiconductor. nRF24L01 datasheet [EB/OL]. 2007. http://www.nordicsemi.com/files/Product/data_sheet/nRF24L01_Product_Specification_v2_0.pdf. 2010-07-04.
- [5] Sensirion Inc. SHT21S datasheet [EB/OL]. 2009. http://www.sensirion.com/en/pdf/product_information/Datasheet_SHT21S_SDM.pdf. 2010-07-04.

(收稿日期: 2010-07-13)

作者简介:

孟海斌, 男, 1984 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 射频识别、超低功耗嵌入式系统设计。

张红雨, 男, 1968 年生, 高级工程师, 硕士生导师, 主要研究方向: 射频、自动识别、SoC、物联网和嵌入式技术。