

一种基于动态调频的有源 RFID 低功耗标签设计

胡 翔, 刘 丹, 李建红, 叶 翔

(电子科技大学 电子科学技术研究院, 四川 成都 611731)

摘 要: 针对 2.4 GHz 有源 RFID 标签的功耗问题, 提出了一种动态调频 (DFM) 的低功耗设计方法. 标签采用 NXP 的 LPC1758 MCU 和 TI 的 CC2520 射频芯片, 通过改变 CPU 时钟源、配置 PLL 值、CPU 时钟分频器值来控制 CPU 频率. 根据代码片段运行的特征, 自适应地调整 CPU 时钟频率. 实验表明, 对比标签 CPU 动态倍频前后, 实现了标签待机功耗减半.

关键词: 动态调频; 2.4 GHz; RFID; 标签; 低功耗

中图分类号: TN92

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)02-0165-03

Design of Active RFID Low-power Tag Based on DFM

HU Xiang, LIU Dan, LI Jian-hong, YE Xiang

(Research Institute Electronic Science and Technology,
University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: According to the power consumption of 2.4 GHz active RFID tag, the paper proposes a dynamic frequency modulation low power design method. Tag uses NXP's LPC1758 MCU and TI's CC2520 RF chip. The frequency is controlled by changing CPU clock source, configuring PLL value and CPU clock frequency divider. Tag adjusts the CPU clock frequency adaptively according to the characteristics of the code fragment operation. It is found that the power consumption on standby of the tag of dynamic frequency CPU is half of common tag from the outcome of experiment.

Key words: dynamic frequency modulation (DFM); 2.4 GHz; RFID; tag; Low-power

1 引言

RFID 无线射频识别是一种非接触式的自动识别技术, 它通过射频信号自动识别目标对象并获取相关数据, 识别工作无需人工干预, 可工作于各种恶劣环境. RFID 标签具有防水, 防磁, 可以在一定距离内读取数据等优点, 标签存储的数据安全、可靠, 具有可重复改写等特点^[1].

在有源 RFID 系统中, 电子标签的低功耗问题是制约系统设计成败的关键因素. 现有的有源电子标签技术常用的低功耗方法有如下几种:

- ①使用超低功耗器件^[2].
- ②增加标签休眠时间, 降低工作时间占空比^[3].
- ③采用外部唤醒机制^[4].

④减短侦听时间.

⑤充分利用所用器件低功耗特性.

本文按照《军用射频识别空中接口协议: 2.45 GHz 参数》^[5] 有源 RFID 电子标签接口协议要求, 提出一种动态调频 (Dynamic Frequency Modulation, DFM) 的低功耗思路, 采用计算密集时升频、无计算需求时降频的功耗管理方法, 实现一套符合国军标标准的大容量标签系统.

2 标签系统概述

2.1 框架设计

本文主要介绍标签低功耗设计, 针对标签系统进行软硬件介绍, 标签总体框架图如图 1 所示.

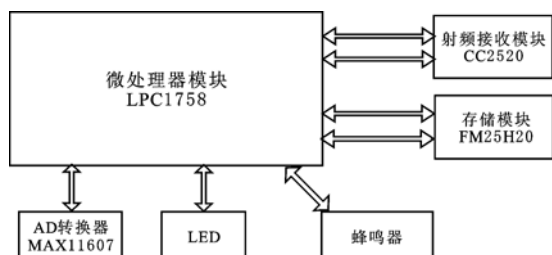


图1 标签总体框架

2.2 主要模块介绍

(1)微控制器模块. 微控制器模块选用 NXP 公司的 LPC1700 系列 Cortex-M3 微控制器 LPC1758,其操作频率可达 100 MHz. LPC1758 包含嵌套的向量中断控制器(NVIC)和唤醒中断控制器(WIC),支持多种功率控制特性:睡眠模式、深度睡眠模式、掉电模式和深度掉电模式. CPU 时钟速率可通过改变时钟源、重新配置 PLL 值和改变 CPU 时钟分频器值来控制,这允许用户根据应用要求在功率和处理速度之间进行权衡^[6].

(2)射频收发模块. 射频收发模块选用 TI 公司的 CC2520 射频收发芯片. CC2520 是 TI 的第二代 ZigBeeR/IEEE 802. 15. 4 射频收发模块,工作于 2. 4 GHz 免执照 ISM 频段. 该芯片提供先进的选择性/共存、优良的链路预算,为帧处理、数据缓冲、突发传输、数据加密、数据认证、清晰信道评估、链路质量指示和帧定时信息提供广泛的硬件支持^[7].

2.3 协议

空中接口协议模块设计时考虑到移植性,因此使用的是一个独立于特定硬件平台的接口协议,只要物理层及 MCU 能够提供相应的运行条件便可以运行此协议. 此协议程序根据标准的要求,分为物理层、链路层、应用层;协议运行条件需要 MCU 提供一些底层运行支持:超时定时器、接收数据、发送数据接口;另外协议运行还会用到自实现的文件系统相关访问接口.

3 低功耗设计

3.1 标签工作模式

3.1.1 状态转移

标签状态转换图如图 2 所示. 标签初始化后打开射频模块监听就绪命令,若监听到有效的就绪命令则转为就绪状态,否则标签程序超时转到休眠状态,进行相应的低功耗配置后进入深度睡眠模式. 在就绪状态的标签会经历仲裁、收集、会话及安全会话等一般状态. 程序会根据当前状态对接收数据帧进

行相应的过滤以减少协议层的负载. 同时程序会根据接收到的有效数据帧进行状态切换,从而在不同的工作状态间进行来回往复的状态转移.

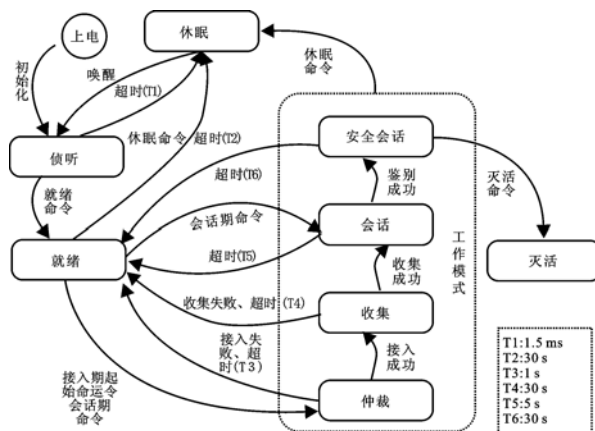


图2 标签状态转移图

处于就绪状态、工作状态的标签收到休眠命令后转入休眠状态. 处于侦听状态的标签,如果每间隔 1 s 在规定的时间内(这里设置其为 1. 1 ms,下同)内未收到就绪命令,则转入休眠状态. 处于就绪状态的标签,如果在规定的时间内(30 s)内未收到任何命令则转入休眠状态.

3.1.2 从低功耗模式中唤醒

任何使能的中断均可将 CPU 从睡眠模式中唤醒. 某些特定的中断可将处理器从深度睡眠模式或掉电模式中唤醒. 唤醒后,将继续执行适当的中断服务程序. 中断的产生由中断位置寄存器(ILR)、计数器增量中断寄存器(CIIR)、报警寄存器和报警屏蔽寄存器(AMR)控制^[8]. 这里使用的是 RTC 中断.

如果应用需要主振荡器或 PLL,那么软件将需要使能这些特性并在用做时钟源之前等待其变为稳定. 当主振荡器开始激活时,唤醒定时器允许软件确保主振荡器完全工作,然后处理器将其用做时钟源并开始执行指令. 这在上电、所有类型的复位以及任何原因所导致上述功能关闭时非常重要. 由于振荡器和其他功能在掉电模式下关闭,因此使处理器从掉电模式中唤醒要使用唤醒定时器. 唤醒定时器通过检测晶振是否可靠来监视,以让代码安全执行. 当给芯片加电或某个事件使芯片退出掉电模式时,振荡器需要一段时间来产生足够振幅的信号以驱动时钟逻辑. 一旦检测到一个时钟,唤醒定时器就对固定的时钟(4 096 个时钟)进行计数,然后设置标志(SCS 寄存器中的 OSCSTAT 位)表示主振荡器已准备使用. 接着软件可切换为主振荡器并且启动所需的 PLL.

3.2 DFM 设计

标签对功耗要求比较高,工作时电流太大会严重影响标签寿命。但是,如果频率太低,则会使高性能的计算密集型代码执行过慢而不能满足要求。因此本文在设计低功耗性能标签时,提出了 DFM 的解决方案。在性能要求很高的代码处(如安全认证过程)把频率动态调整到高频率执行,在没有计算需求的等待时间内把 CPU 频率降到最低。

标签初始化时频率为 96 MHz,而后降低 CCLK 到 1 MHz,降频后需重置协议定时器。进入低功耗状态后要做的有两个:一是为 CC2520 监听定时,二是接收中断以使 LPC1758 重新配置时钟。因此该状态需要配置的时钟只有 TIMER_0 的时钟及配置。需要做的工作如下:

- (1)断开 PLL0 的连接,但是不禁用,以便下次重新启用时,减短初始化时间。
- (2)重新配置分频系数,加快定时器 0 的配置速度,分频系数为 1。
- (3)配置定时器 0,准备进入定时模式。
- (4)再次重设分频系数,设定为 12,工作频率为 1 MHz,实测 CPU 电流为 6.80 mA。
- (5)设置完成,退出。

从低功耗状态(1 MHz)转到工作状态(48 MHz)的配置步骤如下:

- (1)重设分频系数为 5,48 MHz。
- (2)重新配置两串口的分频系数。
- (3)重新配置两 SPI 接口的分频系数。
- (4)重新配置 3 个定时器的分频系数。
- (5)重新连接 PLL0,并等待连接完成。

4 实现与验证

如图 3 是优化前工作时序图。示波器通道 1 是 CPU 对 CC2520 引脚 RESETn 电平测试波形图。图中脉冲 1 是 LPC1758 深度掉电后,被 RTC 中断唤醒之后上 IO 口处于悬浮状态,脉冲 2 和 3 分别是 CC2520 处于初始化时采集随机数种子和侦听读写器就绪命令。在脉冲 1 与 2 之间是系统时钟初始化和部分标签初始化代码;系统时钟完成从内部 IRC 到 100 MHz 时钟转换约消耗 2.3 ms,剩余时间用作标签初始化,图中初始化时间过长(约 6.2 ms)是因为使用了固件库函数。

如图 4 是优化初始化代码后的时序图。在此图中对代码做了如下优化:首先对驱动中使用固件库函数的地方进行了改写,大大减少 CPU 外设及接

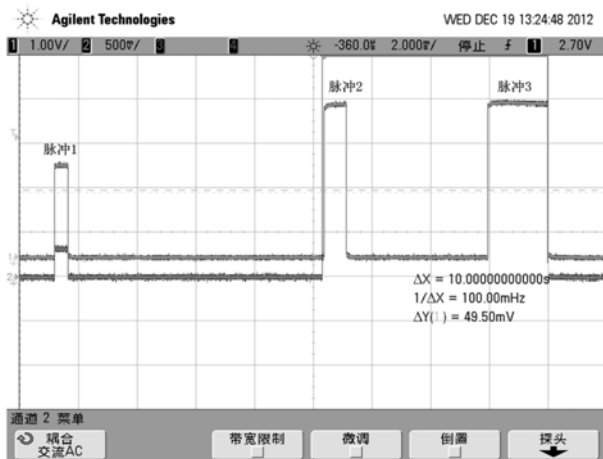


图3 标签工作时序图(优化前)

口初始化时间(UART 接口初始化从最初 3.06 ms 变为 16 μs);其次对初始化代码执行顺序进行了大量优化,如把部分初始化代码放到 CC2520 初始化时的等待时间里;最后对 CPU 运行频率进行了动态调整,不再使用最高频率一直运行,而是使用上一节所示的 DFM 从而降低标签功耗。

图 4 中脉冲宽度较图 3 有了很大减小,如 CC2520 在采集随机数种子后并没有回到低功耗等待而是处于空闲状态,这样可以去除 CC2520 重新上电等待时间。由于 CPU 采用了 DFM,其耗电量与最初一直使用最高频率运行有了很大的减少。根据波形图可以分析:处于内部振荡器工作阶段时长为 2.4 ms;标签初始化周期时长约为 1.03 ms (2.48-1.5+0.05);处于侦听状态时长根据读写器就绪命令帧长度决定,这里取的是 1.5 ms。

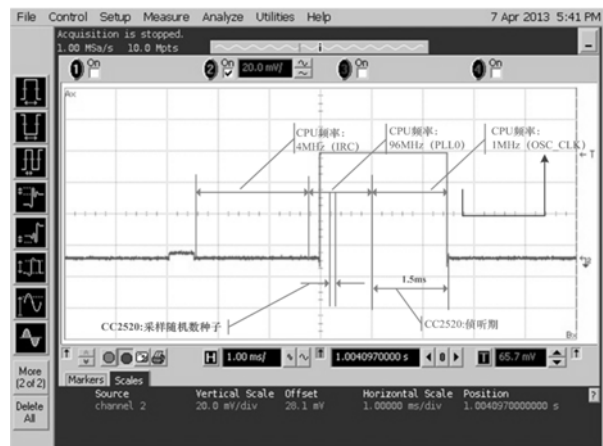


图4 标签工作时序图(优化后)

5 结束语

本文基于 2.4 GHz 设计有源 RFID 低功耗标
(下转第 172 页)

开销,提高了挖掘效率.无论是从约束选择,通信量,还是从效率和准确率的折衷度上,本文算法均于传统算法.

参考文献:

- [1] Huang Liming, Zhang Chao, Song Jinling, et al. How to select optimal K-value for K-anonymity model[J]. JCIT, 2013, 8(1): 811-819.
- [2] Zhang Haitao, Xu Liang, Huang Huihui, et al. Mining sequential patterns from anonymous datasets for LBS users privacies protection[J]. JCIT, 2013, 8(2): 77-86.
- [3] 刘峰,薛安荣,王伟.一种隐私保护关联规则挖掘的混和算法[J]. 计算机应用研究, 2009, 29(3): 1109-1111.
- [4] Zhu Bin, Liao Junguo, He Yong, et al. Selectively disclosing sensitive attributes in digital certificate for privacy protection[J]. IJACT, 2013, 5(2): 755-736.
- [5] Luo Wenjun, Liu Lu, Yuan Shumei, et al. Batch verification of the data integrity in cloud computing[J]. JDCTA, 2012, 6(15): 373-380.
- [6] Deng Zhijuan, Zhong Shaojun. A kind of text classification design on the basis of natural language processing[J]. IJACT, 2013, 5(1): 668-677.
- [7] Wu Fangjun. Scale-free characteristic in open source software: an empirical case study[J]. IJACT, 2013, 5(1): 792-799.

- [8] Andy S Y Lai, POON Y C. i-Questionnaire - A Software Service Tool for Data Analysis in e-Business[J]. IJIPM, 2013, 4(1): 1-9.
- [9] 金菁. 基于改进的聚类平均信息量文本数据挖掘算法研究[J]. 计算机应用研究, 2009, 29(3): 982-984.
- [10] Somboon Anekritmongkol, Kulthorn Kasemsan. SQL model in language encapsulation and compression technique for association rules mining[J]. IJIPM, 2013, 4(1): 65-75.
- [11] 胡悦,王伟民. 物联网无线传感器能耗优化 SIFT 算法的研究[J]. 科技通报, 2013(9): 98-101.
- [12] Jin Haiyan, Li Shuai, Wang Bingbo. Algorithm of wavelet texture segmentation based on geometrically regularity[J]. JDCTA, 2013, 7(1): 99-106.
- [13] Deng Xiaoyi. An enhanced artificial bee colony approach for customer segmentation in mobile E-commerce environment[J]. IJACT, 2013, 5(1): 139-148.

作者简介:

刘伟男, (1975—), 副教授, 硕士. 研究方向为计算机网络技术、智能算法研究、移动互联网.

崔永锋男, (1978—), 副教授, 硕士. 研究方向为计算机应用技术、工程优化算法、移动互联网.

周丁丁女, (1980—), 实验师. 研究方向为计算机应用技术.

(上接第 167 页)

签,设计中给出了有源 RFID 低功耗标签的总体构架,对标签所用主要模块低功耗特性进行了简要分析.介绍了休眠、就绪、工作等状态的转换的低功耗方法,以及标签从低功耗中唤醒的机制,提出了动态倍频的低功耗方案,实现了从高频的 ECC 校验到低频的休眠状态之间的动态频率调整.

对于低功耗机制还可以结合 CC2520 射频芯片的特性进行优化,本文设计低功耗机制时只考虑到对 CPU 部分的能耗降低,而未考虑射频模块的低功耗特性,可以作为下一步工作研究方向.

参考文献:

- [1] Klaus Finkenzeller. RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards and identification[M]. New York: Wiley, 2003.
- [2] 廖志鹏,黄俊,雷杏. 基于 RFID 超低功耗射频标签的研究与实现[J]. 压电与声光, 2012, 34(6): 951-954.
- [3] 宋彦,郭兵,沈艳. 嵌入式系统低功耗的软件实现方案[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2011(9): 4-7.
- [4] VTiwari, S Malik, A Wolfe. Power analysis of em-

bedded software: a first step towards software power minimization[J]. IEEE Transactions on VLSI Systems, 1994, 2(4): 437-445.

- [5] GJB7377-2. 2011. 军用射频识别空中接口协议: 2.45GHz 参数[S]. 2011.
- [6] 张伟,韩进. 低功耗嵌入式系统的分析与应用[J]. 计算机系统应用, 2009(7): 109-113.
- [7] Luca B. A survey of design techniques for system-level dynamic power management[J]. IEEE Transactions on VLSI Systems, 2000, 8(3): 299-316.
- [8] 王永超,郭瑞,包贵浩,等. 低功耗有源 RFID 标签设计与实现[J]. 电子测量技术, 2010, 33(7): 31-33.

作者简介:



胡翔男, (1988—), 硕士. 研究方向为嵌入式与物联网.