

文章编号: 1671-251X(2009)05-0115-04

# 低功耗无线传感器网络节点的设计

赖成瑜

(井冈山大学工学院, 江西 吉安 343000)

**摘要:** 文章分析了传感器节点的能耗, 介绍了一种采用 MSP430F149 处理器和无线收发模块设计的低功耗无线传感器网络节点, 阐述了该节点的组成、节点处理控制单元、无线通信单元和传感探测单元的设计及节点软件的设计等。

**关键词:** 无线传感器; 网络节点; 无线通信; 低功耗; MSP430F149

**中图分类号:** TP212

**文献标识码:** B

收稿日期: 2008-12-11

作者简介: 赖成瑜(1966-), 男, 江西吉安人, 硕士, 讲师, 研究方向为智能信息处理、自适应信号处理。E-mail: laicy666@163.com

## 3 实验验证

为了观察互相关计算结果和检验互相关算法的正确性, 本文采用在 Matlab 环境下构建仿真模型的方法来进行验证。在 Matlab 环境中构建如图 6 所示的模型, 模型中随机信号源发出 2 路连续随机信号, 这 2 路连续随机信号持续时间为 10 s, 2 个信号间的延时设定为 2 s。利用 Matlab 软件采样后得到的数据生成\*.txt 文件, 将采集的数据代入核心算法, 得到了互相关计算结果, 如图 7 所示。

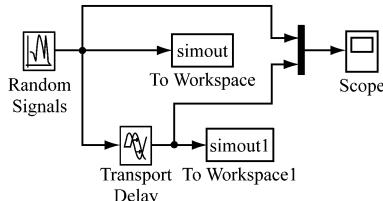


图 6 构建的验证模型示意图

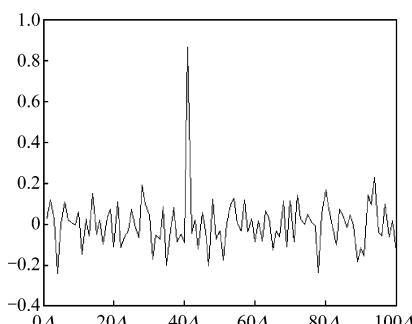


图 7 互相关计算结果图

图 7 中横坐标为从 0  $\Delta$  到 100  $\Delta$ , 表示 100 个不同的延时时间, 纵坐标代表 100 个不同延时时间下的互相关运算结果。从图 7 可以看出, 互相关结果

中最大值所对应的输入是 40  $\Delta$ , 采样间隔设定为 0.05 s, 那么延时即为 2 s, 从而验证了互相关算法的正确性。

## 4 结语

本文提出了一种基于 NIOS II 嵌入式处理器软核的互相关器的实现方法。该方法利用现代计算机和数字 EDA 技术, 使用 Altera 的 Cyclone FPGA, 实现了连续随机信号的互相关运算。与传统的互相关器相比, 由于采用 FPGA 的 NIOS II 软核处理器为核心的计算平台, 节省了大量的计算时间, 且极大地简化了硬件设计。该互相关器具有速度快、实时性好、可靠性高以及通用性强等特点, 能够满足互相关流量在线测量的要求。只要将上、下游传感器获得的流动噪声信号处理成 A/D 转换器的标准输入信号, 即可利用该互相关器构成不同的相关流量测量系统。

## 参考文献:

- [1] 徐苓安. 相关流量测量技术 [M]. 天津: 天津大学出版社, 1988.
- [2] 徐立军. 气/液两相流在线监测用超声层析成像技术及系统的研究 [M]. 天津: 天津大学出版社, 1996.
- [3] 熊承义. 基于 FPGA 的高效内积运算 IP 模块设计 [J]. 电子学, 2004, 34(1): 94~96.
- [4] 周立功. SOPC 嵌入式系统实验教程 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.
- [5] 周立功. SOPC 嵌入式系统基础教程 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.

## 0 引言

无线传感器网络是由部署在监测区域内大量的廉价微型传感器节点组成、通过无线通信方式形成的一个多跳的自组织网络。无线传感器网络的 1 个重要特点是摆脱了传统传感器网络的连线限制, 解决了成本问题, 得到了大量的应用, 但并未形成统一的标准。现行的基于 Zigbee 的无线传感器网络技术虽然实现了大范围分布式数据信息的采集、传输与综合处理, 但是由于传感器节点功耗偏高, 且其基站建设成本较高, 限制了其进一步的应用和发展。无线传感器节点是一次性的, 要求节点成本低廉和低功耗。因此, 如何既降低节点成本又降低节点能耗是无线传感器网络研究中最为关心的问题之一。经过研究, 笔者设计了一种低功耗的无线传感器网络节点, 通过选择具有低功耗的 MSP430F149 作为传感器的处理器, 可以实现节点的低成本和低功耗。

## 1 传感器网络节点的功耗分析

传感器网络研究的核心问题之一是功耗管理。能量是节点工作的基础, 节能问题几乎贯穿无线传感器网络研究和设计的各个方面: 协议的建立需要考虑节能问题, 网络中的数据处理需要考虑节能问题, 节点定位、时间同步都需要考虑节能问题, 节能问题的解决, 伴随着在每个环节的实现上。无线传感器网络的特点也决定了必须尽可能地降低系统功耗, 这也成为系统设计的核心要素之一。大体来说, 射频模块是节点中最大的耗能部件, 是优化的主要目标。MAC(Medium Access Control)协议直接控制射频模块, 对节点功耗有重要影响。分析无线传感器网络节点, 其无效功耗主要有以下 4 个来源:

- (1) 空闲侦听: 节点不知道邻居节点何时向自己发送数据, 射频模块必须一直处于接收状态, 消耗大量的能源, 这是无效功耗的最主要来源;
- (2) 冲突: 相邻节点同时向同一节点发送多个数据帧, 信号相互干扰, 接收方无法准确接收, 重发造成能量浪费;
- (3) 串扰(overhearing): 接收和处理发往其它节点的数据属于无效功耗;
- (4) 控制开销: 控制报文不传送有效数据, 消耗的能量对用户来说是无效的。为此, 通常传感器的处理器可以通过控制工作模式来实现相关的功耗管理, 工作模式一般有运行模式、空闲模式、休眠模式、睡眠模式和掉电模式。处理器只

有在有用户操作或有任务处理时才处于运行模式, 其它时间都处于睡眠模式, 以最大程度地提高电源效率<sup>[1]</sup>。处理器工作模式的功耗消耗顺序及其转化关系如图 1 所示。

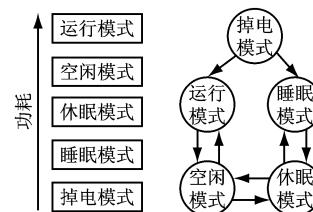


图 1 处理器工作模式的功耗消耗顺序及其转化关系图

## 2 节点硬件设计

### 2.1 节点组成

典型的无线传感器网络节点的基本组成包括以下 4 个基本单元: 传感探测单元(由传感器和模数转换功能模块组成)、处理控制单元(包括 CPU、存储器、嵌入式操作系统等)、无线通信单元(由无线通信模块组成)以及供电单元, 如图 2 所示。此外, 可以选择的其它功能单元包括定位系统、移动系统以及电源自供电系统等。传感探测单元由传感器采集监测区域内待测对象的信息, 处理控制单元实现数据的分析、处理和存储等功能, 无线通信单元负责节点间通信, 供电单元通常选取小型化、高容量的电池, 以确保节点的长寿命和微型化。

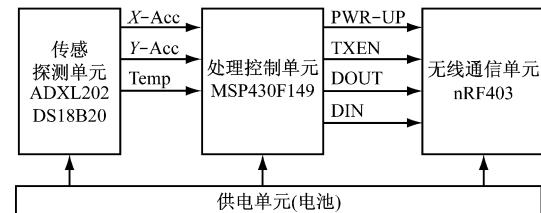


图 2 无线传感器网络节点组成框图

### 2.2 处理控制单元的设计

处理控制单元的硬件选择 MSP430F149。MSP430F149 在降低芯片的电源电压及可控的运行时钟方面都有其独到之处, 具有超低的功耗。MSP430 系列单片机也是一种具有集成度高、功能丰富、功耗极低等技术特点的 16 位单片机, 超低功耗的混合信号控制器、丰富的片内外设、考虑节能的多种工作模式和对 C 语言程序设计的支持, 使得 MSP430 系列单片机非常适用于嵌入式系统。MSP430F149 单片机的 FLASH 存储器可进行在线编程, 外围模块有看门狗、定时器 A/B、同步/异步

串行通信接口、10/12位A/D以及6个8位并行端口等多种组合形式,实现功能如下:操作无线收发芯片,为nRF403提供工作状态控制线和2条单向串行传输数据线;实现传感器的数据采集——加速度、温度探测,本地数据处理——剔除冗余数据,以减少网络传输的负载和对无线传输数据的封装与验证;应答远控中心的查询,完成数据转发与存储;区域内节点的路由维护功能。MSP430F149的电源电压为1.8~3.6V,因而其在1MHz的时钟条件下运行时,电流会在200~400μA,时钟关断模式的最低功耗只有0.1μA。在MSP430系列单片机中有2个不同的系统时钟系统:基本时钟系统和锁频环(FLL和FLL+)时钟系统或DCO数字振荡器时钟系统。时钟系统有的使用1个晶体振荡器(32 768 Hz),有的使用2个晶体振荡器。由系统时钟系统产生CPU和各功能所需的时钟,并且这些时钟可以在指令的控制下打开和关闭,从而实现对总体功耗的控制功能。

### 2.3 无线通信单元的设计

无线通信单元的无线收发模块选用nRF403芯片。nRF403的工作频率为国际通用的数传频段,有2个频道:315/433 MHz。315 MHz是nRF403独有的,采用PLL频率合成技术,频率稳定性极好,FSK调制,抗干扰能力强,适合工业控制场合以及工矿企业复杂的野外作业环境,灵敏度高,达到-105 dB·m,特别是功耗小,接收状态电流仅为250 μA,待机状态电流仅为8 μA,最大发射功率达+10 dB·m,低工作电压为2.7~3.6 V,可满足低功耗设备的要求,并可方便地切换工作频率,工作速率最高可达20 kbps,仅外接1个晶体和几个阻容、电感元件,基本无需调试。由于nRF403采用了低发射功率、高接收灵敏度的设计,使用无需申请许可证,无障碍地带的使用距离最远可达1 000 m。nRF403与MSP430F149通过5根I/O口线连接,如图3所示。DIN和DOOUT为数据线,可直接与单片机串口的TXD和RXD相连。CS控制频道选择:为“0”时选择433.92 MHz,为“1”时选择315 MHz。TXEN控制发射/接收状态切换:为“0”时,nRF403工作在接收状态,为“1”时,工作在发射状态。PWR\_UP负责节电控制:为“0”时,nRF403工作在休眠状态,待机电流仅为8 μA。同时,nRF403采用休眠模式,且从休眠模式被激活的时延短,因此,有更多的时间处于休眠状态,而处于休眠状态时nRF403的能耗极低,从而大大减少了能

耗。当有数据需要MSP430F149处理时,便可由唤醒源将其唤醒,进入工作状态,一旦处理完成,再次进入睡眠状态。采用这种工作方式,MSP430F149能够最大限度地节约能耗。

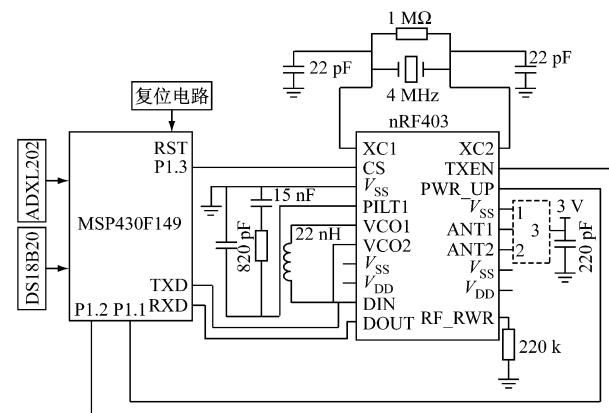


图3 nRF403与MSP430F149的连接图

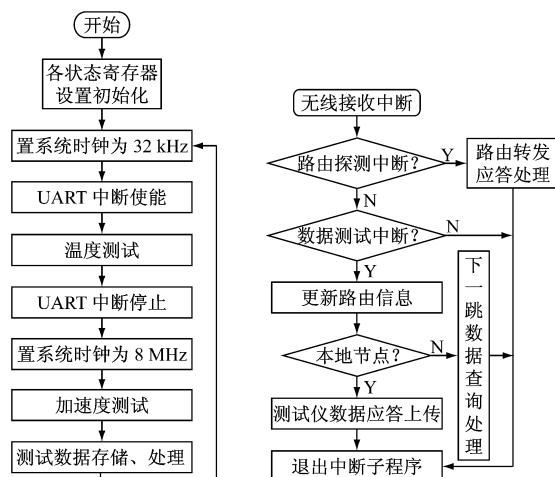
### 2.4 传感探测单元的设计

传感探测单元用于检测监测区振动和温度信号,需要选用振动传感器和温度传感器。当然也可以根据实际需要选择对应传感器检测监测区域内湿度、声音和光线等其它物理信号。检测振动传感器选用ADXL202。ADXL202是一款双轴加速度测量系统,模拟输入,可测量动态加速度和静态加速度,输出为周期可调的脉宽调制信号,可以直接与单片机或计数器连接,并且具有性能高、准确度高、功耗低的特点,输入电流小于0.6 mA。ADXL202传感器由振荡器、X、Y方向传感器、相位检波电路以及占空比调制器组成,测试范围为-2~+2 g,测试带宽为0.01 Hz~5 kHz。温度传感器选择DS18B20,它能够直接读出被测温度,并且可根据实际要求通过编程实现9~12位的数字值读数方式;可以分别在93.75 ms和750 ms内完成9位和12位的数字量;从DS18B20读出信息或写入DS18B20信息仅需要1根口线(单线接口);温度变换功率来源于数据总线,总线本身也可以向所挂接的DS18B20供电,而无需额外电源,因而其功耗极低。DS18B20的核心是数字温度传感器,精度可以通过用户编程配置为9、10、11和12位,分别对应于0.5 °C、0.25 °C、0.125 °C和0.0625 °C,可以满足各种不同的分辨率要求。

### 3 节点软件设计

无线传感器网络节点软件采用C语言编程。MSP430F149支持C语言程序设计,兼容程度高,

因此,大大提高了软件开发的工作效率,增强了程序代码的可靠性、可读性和可移植性。图 4 为无线传感器网络节点测试流程和无线接收中断响应程序流程图。



(a) 节点测试流程图 (b) 无线接收中断响应程序流程图  
图 4 无线传感器网络节点测试流程和无线接收  
中断响应程序流程图

考虑到通信的可靠性、数据在底层无线传输中需要增加必要的协议规范,设计中对有效数据进行打包,格式为前导码、地址、有效数据载荷、校验码。针对 nRF403 芯片,支持 UART 方式下使用 0x55FF(十六进制)作为前导码;地址作为不同应答点的标识;有效数据载荷则包含满足上层设计协议格式的数据包,该部分需根据应用要求尽量减少数据包长,以缩短该数据包在传输链路的生存期;数据包末尾增加检验码可以验证数据的有效性,CRC(循环冗余码)是一种简单易行的处理方法,数据封装与处理全部由处理控制单元实现<sup>[2]</sup>。

#### 4 节能与组网

实现超低功耗即可延长节点和网络的寿命。节点的能量消耗有 3 个方面:传感器数据采集、处理控制单元的数据存储与处理和无线通信单元的数据接收/发射。其中能量消耗最大的是在射频信号发射过程中,因此,必须合理地切换芯片收发,并设置节点休眠与唤醒状态,以最大限度降低能量消耗。对应 nRF403 使用的 415 MHz 频段,在组网设计中通信方式采用 TDM A(时分复用)方式:sink 点分时段查询网络中节点,若节点有突发事件探测,则随机选择空闲时隙将数据上传;当信道处于阻塞状态则采用随机退避机制,等待信道处于空闲状态再进行数

据传输,因此,各节点在通信过程中必须避免长时间占用信道。为实现网络节点的可靠性和高效性,关键 是设计合理的通信协议。SPIN(Sensor Protocol for Information via Negotiation)是以数据为中心的自适应路由协议,通过协商机制避免数据传输过程中的“内爆”和“重叠”问题,传感器各节点只有符合相应的请求时,才有目的地发送数据信息。SPIN 协议中有 3 种类型的消息:ADV 广播数据发送、REQ 请求数据接收和 DATA 数据封装。自组织无线传感器网络的网络拓扑可分为 3 种:(1) 基于簇(Cluster)的分层结构,簇头就是分布式处理中心,收集簇成员数据并完成数据处理和融合,最后将数据由其它簇头多跳转发或直接传回 sink 点;(2) 基于网(Mesh)的平面结构,在这种结构下传感器网络连成一张网,临近节点直接通信,在个别链路和传感器节点发生失效时不会引起网络分离;(3) 基于链(Chain)的线结构,在这种结构下传感器节点被串联在 1 条或多条链上,链尾与用户节点相连<sup>[3]</sup>。由于链型结构更易于在网络初始化中实现,因此,本设计中采用该种网络拓扑。

#### 5 结语

本文介绍的基于 MSP430F149 的无线传感器节点功耗低,有效通信距离远,寿命长,与传统的传感器网络相比,节点数目大大减少,进一步降低了网络的组网成本,适于在特殊环境下实现区域内信号监测,也可以广泛应用于矿山采掘、惯性导航、地震监测、车辆安全检测等领域。伴随着无线自组织网络技术的成熟和新的能量解决方案的提出,无线传感器网络研究正在转向网络支撑技术层,主要研究重点是节点定位、时间同步技术的实现以及用户应用接口的实现。

#### 参考文献:

- [1] 孙利民,李建中,陈渝,等. 无线传感器网络 [M]. 北京:清华大学出版社, 2005.
- [2] 郑启忠,朱宏辉,耿四军. 单片射频收发器 nRF905 及其应用 [EB/OL]. 2006-05-06 [2008-01-06]. <http://www.51base.com/electron/adhibition/wireless/20065068623.shtml>.
- [3] KEMAL A, MOHAMED Y. A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks [J]. Ad Hoc Networks, 2005(3):325~349.