

## 低功耗无线传感器网络节点设计与实现

于凯, 谢志军, 金光, 钱江波  
(宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211)

**摘要:** 本文设计并实现了低功耗无线传感器网络节点. 首先分析比较了现有的各种节点设计方案, 选取低功耗芯片, 设计了基于 MSP430F149 处理器和 nRF24L01+ 无线收发芯片的低功耗节点设计方案, 并提出了低功耗能量管理策略, 最后对节点的能量消耗进行了仔细测试和分析. 实验结果表明, 提出的节点设计方案和能量管理策略能够实现节点的低功耗工作.

**关键词:** 无线传感器网络; 节点设计; 低功耗; MSP430F149; nRF24L01+SS

**中图分类号:** TP212

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-7180(2012)09-0157-03

## Design and Implementation of Low-power Wireless Sensor Network Node

YU Kai, XIE Zhi-jun, JIN Guang, QIAN Jiang-bo

(College of Information Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

**Abstract:** In this paper, we design and implement a low-power wireless sensor network node. Firstly, by analyzing and comparing a variety of exiting node design, we select low-power chips, and propose a low-power node design based on the MSP430F149 processor and nRF24L01+ wireless transceiver chip. Then, we describe the system software design. Finally, we test and analyze the energy consumption of the node carefully. The results show that the proposed node design and energy management strategies can achieve low power consumption of the node.

**Key words:** wireless sensor network; node design; low-power; MSP430F149; nRF24L01+

### 1 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)是由部署在监测区域内大量的廉价微型传感器节点组成,通过无线通信的方式形成的一种多跳自组织的网络系统<sup>[1]</sup>.无线传感器网络节点是组成传感器网络的最基本元素,节点的设计合理与否决定了网络的性能和潜力.节点的低功耗设计和控制方法可以延长节点和网络的寿命,是无线传感器网络的关键技术之一.

目前,许多节点在致力于提高节点本身性能的同时忽略了对功耗的控制,网络的寿命也很短,不适

合大规模的实际应用<sup>[2]</sup>.比较有代表型的有,加利福尼亚大学伯克利分校开发的实验平台:Mica2 和 MicaDot2,虽然修正了之前的一些缺陷,但依旧存在许多不足,比如能耗过大等;英特尔公司的 Mote2 节点采用 XScale 处理器,并配备了一定的协处理器来管理系统能耗,处理能力非常强,但是功耗很大.因此,本文将提出无线传感器网络节点设计方案和能量管理策略,实现节点的低功耗工作.

### 2 节点设计方案分析

传感器节点的设计方案的选取主要由芯片类型和功能决定,总的来说有以下三类.

**收稿日期:** 2012-02-18; **修回日期:** 2012-03-10

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(60902097);浙江省重大科技专项重点工业项目(2011C11042);浙江省自然科学基金项目(Y1090571, Y12F020065)

## 2.1 集成微控制器和射频的芯片,即 SOC 系统

此种方案的目的是提高系统的可靠性,降低开发难度,典型的应用有工作于 2.4GHz,支持 Zigbee 协议的 CC2430,CC2530 和 JN5139. 然而,此方案带来的弊端是灵活性比较差,并且片上 CPU 均采用 8051 内核单片机,功耗没有得到显著的改善. 虽然近年来又推出 CC430 系列芯片,采用低功耗的 MSP430 单片机内核,但是仍然不能改善其灵活性差的弊端,且成本较高.

## 2.2 独立的微控制器和独立的射频芯片

这种方案非常灵活,易于扩展. 微控制器主要负责数据的处理和功耗的控制,射频芯片负责数据无线收发. 因此,系统的整体功耗取决于芯片的功耗以及系统的调度. 此种方案的灵活性也体现在可以嵌入 Zigbee, EZMac 等协议栈或者 TinyOS, UCOS-II 等操作系统.

## 2.3 基于微控制器和协处理器

微控制器主要运行应用程序,协处理器运行协议栈,此方案,微控制器的负担将大大减轻,只需通过 API 函数即可控制协议的运行,开发进度将得到很大的提高,也便于维护. 不足之处是灵活性比较差,目前仅支持 Zigbee 协议.

## 3 硬件设计

无线传感器网络节点硬件结构主要包括处理器模块、无线通信模块、传感器模块和能量供应模块四部分,如图 1 所示<sup>[1]</sup>.

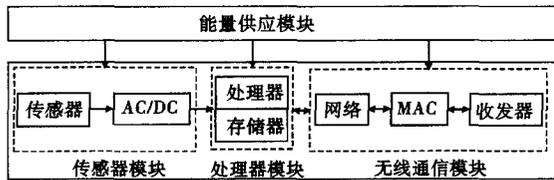


图 1 传感器节点结构图

### 3.1 处理器模块

处理器模块是传感器节点的核心,进行数据处理,能耗管理以及运行通信协议. 传感器节点使用的处理器应该满足低功耗,且支持睡眠模式.

目前应用于传感器节点的处理器很多,主要有 ATMEL 公司的 AVR 系列单片机, TI 公司的 MSP430 系列单片机以及以 8051 为内核的单片机. 这些单片机各有特点,如表 1 所示. 考虑到传感器节点的低功耗特性,此处选用 TI 生产的超低功耗 16 位单片机 MSP430F149,其功耗达到了  $\mu\text{A}$  级别<sup>[3]</sup>. MSP430F149 拥有丰富的片上外设和低功耗特性,

并且工作电压范围较大,最低可达 1.8V,其最低可以支持 32.768KHz 的时钟,将是系统实现低功耗的最佳选择. 此类处理器最显著的特点是支持一种工作模式和五种低功耗模式,可以根据具体的应用在模式间进行切换,实现系统功耗最低. 因此,处理器模块将选用 MSP430F149 单片机.

表 1 MSP430F149 和 Atmega128L 能耗对比

芯片	工作电压 (V)	工作电流 (mA)	待机电流 ( $\mu\text{A}$ )	掉电电流 ( $\mu\text{A}$ )
MSP430F149	1.8~3.6	0.42@3V	1.6@3V	0.1@3V
ATmega128L	2.7~5.5	5.5@3V	15@3V	5@3V

### 3.2 无线通信模块

无线通信模块主要负责数据的转发和接收,目前无线收发芯片主要分为两种,一种是嵌入协议栈的芯片,例如 TI 的 CC2430 和 CC2530 芯片嵌入了 Zigbee 协议栈;另一种是未嵌入协议栈的射频收发芯片. 第一种芯片非常便于组网,但功耗大,成本高,不适合大规模应用. 因此,本方案将选用单独的收发芯片,网络协议将在处理器上实现. 目前常用的此类无线收发芯片如表 2 所示.

表 2 常见无线收发芯片参数

芯片	工作频段 (MHz)	最大速率 (kbps)	最大功率 (dBm)	睡眠电流 ( $\mu\text{A}$ )	发射电流 (mA)
NRF24L01+	2400~2525	2000	0	0.9	11.3
nRF905	<1000	50	10	2.5	15.8
CC1100	<1000	600	10	0.2	16.8

由表 2 可知,nRF24L01+工作在 2.4GHz 频段,非常适合超低功耗的无线应用,其带宽相对较宽,可以使用跳频技术,提高抗干扰能力<sup>[4]</sup>. 此外,可支持的最大速率可以达到 2Mbps,可以在很大程度上防止数据碰撞. 0dBm 的最大输出功率完全可以满足传感器网络的最佳距离要求,如果功率过大,不仅浪费能量,还会造成不必要的信号干扰,影响系统性能. 此外,nRF24L01+采用的增强型 Shock-Burst™模式,使双向链接协议执行起来更加容易、有效,能够同时控制自动应答和重发功能而无需额外操作处理器. 因此,选择 nRF24L01+芯片作为节点的无线通信模块.

## 4 低功耗能量管理策略

如图 2 所示,程序的主要流程包括系统初始化、

数据采集与处理、无线传输和能量管理。

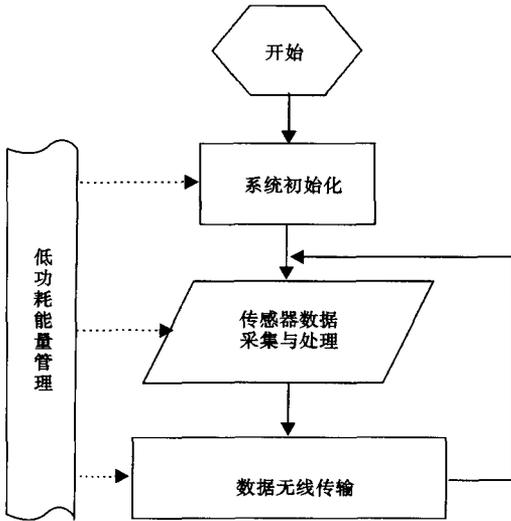


图 2 软件整体流程图

系统低功耗的实现,主要包括节点的低功耗设计<sup>[5]</sup>和网络协议的低功耗设计.前者在上文中已经介绍,后者属于软件设计,网络协议的实现并不是孤立的,与芯片的工作特性有关.下面将针对本文的方案提出低功耗能量管理策略.

4.1 处理器工作方式

在单片机系统中,系统功耗与 CPU 的工作时间长短和工作频率成正比,较高的频率有利于获得较好的性能. MSP430F149 可以使用 3 种不同频率的时钟源信号,适时的时钟切换机制将使系统的性能和功耗达到最佳. MSP430F149 单片机可以在激活模式和四种低功耗模式之间进行选择,各种低功耗模式又可以回到激活模式,使系统能耗最低.

4.2 I/O 接口处理方式

I/O 接口包括处理器,射频芯片,传感器以及其他外围电路的 I/O 口,其电流可以到达 mA 级别,当不使用接口或者不使用其控制外围器件时,要将其设置为输入方式,可以避免能量消耗.

4.3 采用多跳短距离通信方式

节点的绝大部分能量消耗在无线通信部分,无线通信消耗能量与通信距离成正比.因此,在满足通信速率的前提下,应该尽量减少单跳通信距离.为了覆盖网络覆盖区域,采用多跳路由的传输机制可以降低通信模块的能耗<sup>[6]</sup>.

5 实验结果与分析

为了方便进行评估,认为网络中每个节点都是

对等的,并且相互间的通信代价都相同.下面对节点的功耗进行测试和分析.

测试条件:

节点工作电压为 3V,数据传输速率 1Mbps,发射功率 0dBm,数据包长度 32Byte.

① 平均电流测试

低功耗睡眠模式是指 MSP430F149 处于低功耗模式 LPM3,射频芯片 nRF24L01+处于掉电模式,测得节点睡眠模式电流为: $I_{sleep} = 1.4\mu A$ .

② 瞬间电流测试

数据发送模式是指 MSP430F149 处于工作模式 Active,射频芯片 nRF24L01+处于发送模式,测得节点发送模式电流为: $I_{transmit} = 14.1mA$ .

从表 3 中可以看出,本文设计的节点,与 Crossbow 的 Mica2 节点相比,在能耗上有了显著的提高,尤其是睡眠模式的能量消耗非常低,对于需要节点长期处于睡眠状态的应用场合,更能发挥其优势,延长网络寿命.

表 3 本节点与 Mica2 节点能耗对比

节点	供电电压 (V)	输出功率 (dBm)	工作速率 (Kbps)	睡眠能耗 ( $\mu A$ )	发射能耗 (mA)
Mica2	3.0	0	19.2	15	25
本节点	3.0	0	1000	1.4	14.1

假设节点绝大部分时间都处于睡眠状态,由于数据的采集、处理和发送时间很短,在时间 1s 足以完成,假设工作周期为 1 小时,其中节点对数据的操作为 10s.

计算节点 1 小时的能耗:

$$I = \frac{I_{transmit} * 10 + I_{sleep} * (3600 - 10) * 10^{-3}}{3600} \approx 0.04056 \text{ mAh}$$

假设电池容量 750mAh,节点寿命(年)为:

$$Y = \frac{750}{I * 24 * 365} \approx 2.2 \text{ (年)}$$

6 结束语

本文通过分析节点的设计方案,对微处理器和射频芯片进行了比较论证,完成了基于 MSP430F149 和 nRF24L01+的低功耗无线传感器网络节点的设计,并提出了能量管理策略.实验结果表明,设计的节点具有良好的低功耗特性.

下一步的工作重点是对本系统的不足进行改进,

(下转第 163 页)

coding[J]. Public Key Cryptography, LNCS, 2010, 56(6): 161-176.

[7] Jiang Y, Fan Y, Shen A X, et al. A self-adaptive probabilistic packet filter scheme against entropy at-

tacks in network coding [J]. Computer Networks, 2009, 53(18): 3089-3101.

[8] 杨铭熙, 严文杰. 一次一密的网络编码签名算法[J]. 武汉理工大学学报, 2009, 31(3):73-76.

#### 作者简介:



杨 柳 女,(1970—),硕士,讲师.研究方向为网络信息安全、P2P 技术.



钟 诚 男,(1964—),博士,教授,博士生导师.研究方向为网络信息安全、并行分布计算.

(上接第 159 页)

进一步降低功耗.可以从以下几方面进行改进:采用动态功率管理机制,根据网络链路状态动态改变芯片的发射功率;嵌入操作系统,对资源进行高效的利用和管理;采用唤醒机制,使节点可以从睡眠状态被动的进入唤醒状态.

#### 参考文献:

- [1] 孙利明,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] 王殊,阎毓杰.无线传感器网络的理论及应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2007.
- [3] MSP430x13x, MSP430x14x, MSP430x14x1 Mixed Signal Microcontroller (Rev. F). [EB/OL]. [2012-02-05]. Available: <http://www.ti.com/product/msp430f149?>

247SEM.

- [4] nRF24L01+ Single Chip 2.4GHz Transceiver Product Specification v1.0. [EB/OL]. [2012-02-05]. Available: <http://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF>.
- [5] 李明明,李伟.低功耗无线传感器网络节点的设计技术[J].测控技术,2010,29(6):8-11.
- [6] 段翠琴,孙晶晶. WSN 中能量有效的分区聚簇多跳路由算法[J].计算机工程,2010,36(14):87-89.

#### 作者简介:

于 凯 男,(1987—),硕士研究生.研究方向为无线传感器网络.