

# 无线网络传感器中超低功耗节点能源技术研究

杨维剑, 王梅英

(四川理工学院计算机学院, 四川 自贡 643000)

**摘要:** 能源问题是无线网络传感器中的关键问题。文章针对无线传感器网络其节点绝大部分时间处于休眠状态, 而正常收发数据时间极短运行的特点, 利用多模式运行以及分区供电的节能思想, 结合新型的电子开关芯片 ADG 821/ADG 822 以及定时器 PF8563 成功开发设计了一款超低功耗 ( $< 1\mu W$ ) 网络传感器, 降低了整个无线网络传感器的节点能耗问题, 扩大了无线网络传感器的应用范围。

**关键词:** 无线网络; 超低功耗; 传感器; 节点能源技术

**中图分类号:** TP393.02

**文献标识码:** A

## 引言

随着无线网络传感器技术的发展, 其在工业、商业、医学、消费和军事等领域的应用逐步深入, 而能源问题一直成为无线网络传感器延长应用寿命和降低成本的关键。在环境恶劣或其他人类无法到达的场合或网络节点移动变化时, 电池的更换变得非常困难甚至不可能, 因而有效的为无线网络传感器降低功耗, 尤其是无线传感器网络绝大部分时间处于休眠状态的功耗, 是一种明智的选择。虽然目前出现了许多节点调度算法, 但这些节点没有考虑单个节点自身能量消耗问题, 从而导致节点过快的消耗能量, 严重影响了网络覆盖效果和整网的生命周期<sup>[1-2]</sup>。

## 1 超低功耗节点能源技术原理分析

无线网络传感器节点主要由处理器、无线通信、存储器、数据转换、能量供应、实时时钟以及数据采集等模块构成。各模块具有不同的工作状态, 各状态又有不同的功耗。传感器节点的有效休眠状态见表 1。

从能量开销的角度看, 无线网络传感器节点各部分运行状态不同, 其能量开销有明显差异<sup>[3]</sup>。从表 1 可以看出, S0 功耗最大, S1 次之, 其余依次是 S2 S3 S4 S5

表 1 无线网络传感器节点的运行状态

运行状态	处理器	存储器	数据转换	无线通信	数据采集	实时时钟
S0	活动	活动	活动	接收、发送	活动	活动
S1	活动	活动	活动	接收	活动	活动
S2	空闲	休眠	活动	接收	关闭	活动
S3	休眠	休眠	休眠	接收	关闭	活动
S4	关闭	关闭	关闭	接收	关闭	活动
S5	关闭	关闭	关闭	关闭	关闭	活动

S0 全功能正常运行模式, S1 可以完成传感器数据的采集、转换和存储, S2 可以完成转换任务, S3 是一般空闲模式下的情况, 而 S5 是功耗最低的空闲模式。在 S4 中, 只有无线通信模块的接收部分和实时时钟模块工作, 其余部分都处于关闭状态, 功耗较低。在 S5 中, 只有实时时钟模块工作, 其余部分都处于关闭状态, 功耗最低<sup>[4]</sup>。

对于运行状态 S4 既可以通过无线通讯唤醒整个系统, 也可以通过实时时钟唤醒整个系统。而对于 S5 只能通过实时时钟唤醒系统。

## 2 总体方案设计

### 2.1 总体方案

在系统中, 利用低功耗实时时钟芯片 PCF8563 以

收稿日期: 2009-10-09

基金项目: 863 国家重点基金项目 (2008AA11A134); 四川省科技攻关项目 (07GG004-011 重点); 人工智能四川省重点实验室项目 (2007R010)

作者简介: 杨维剑 (1968-), 男, 四川渠县人, 副教授, 硕士, 主要从事数字图像传感器、单片机、嵌入式系统和计算机软硬件开发与应用等方面

及电子开关 ADG821, 对各模块能源加以管理。其总体方案示意图如图 1 所示。

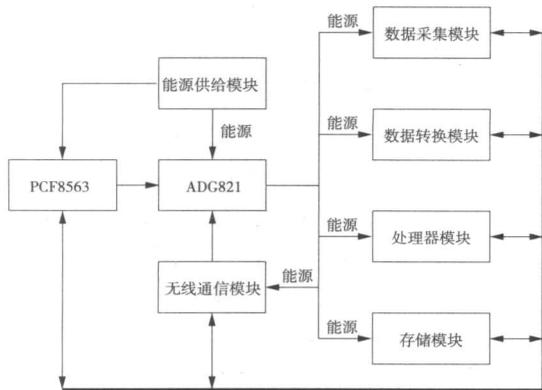


图 1 节点能源总体方案设计

在图 1 中, 能源供给模块直接向 ADG821 和 PCF8563 供电, 其余模块通过 ADG821 供电。

### 2.2 ADG821/ADG822 芯片<sup>[5]</sup>

ADG821 与 ADG822 芯片的内部结构如图 2 所示。ADG821 与 ADG822 主要性能如下:

- (1) 在 125°C 时最大接入电阻 0.8Ω;
- (2) 在 125°C 时最大漂移电阻 0.28Ω;
- (3) 单一电源供电 1.8V - 5.5V;
- (4) 200mA 电流传输能力;
- (5) 自适应温度范围: -40°C - +125°C;
- (6) Rail-to-Rail 转换;
- (7) 8脚 MSOP 封装;
- (8) 33ns 切换时间;
- (9) 典型功耗 < 0.01μW;
- (10) TTL/CMOS 兼容输入;
- (11) 引脚与 ADG721/722/723 兼容。

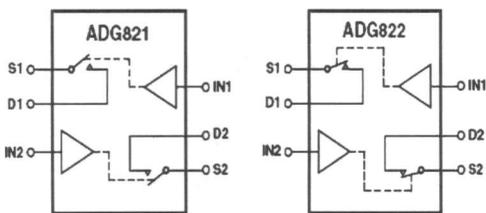


图 2 ADG821 与 ADG822 内部结构

### 2.3 PCF8563 芯片

PCF8563 是低功耗的 CMOS 实时时钟/日历芯片, 它提供一个可编程时钟输出, 一个中断输出和掉电检测器, 所有的地址和数据通过 I<sup>2</sup>C 总线接口串行传递。最大总线速度为 400Kbits/s, 每次读写数据后, 内嵌的字节地址寄存器会自动产生增量。芯片 PCF8563 主要性能如下:

- (1) 低工作电流: 典型值为 0.25μA (VDD = 3.0V, Tamb = 25°C 时);
- (2) 世纪标志;
- (3) 大工作电压范围: 1.0V - 5.5V;
- (4) 低休眠电流; 典型值为 0.25μA (VDD = 3.0V, Tamb = 25°C);
- (5) 400KHz 的 I<sup>2</sup>C 总线接口 (VDD = 1.8V - 5.5V 时);
- (6) 可编程时钟输出频率为: 32.768KHz、1024Hz、32Hz 和 1Hz;
- (7) 报警和定时器;
- (8) 掉电检测器;
- (9) 内部集成的振荡器电容;
- (10) 片内电源复位功能;
- (11) I<sup>2</sup>C 总线从地址: 读, 0A3H; 写, 0A2H;
- (12) 开漏中断引脚。

从 ADG821 和 PCF8563 的性能可以看出, 直接跟这两芯片供电, 其功耗及小, 典型累计功耗小于 0.76μW。

### 2.4 无线通信模块<sup>[6]</sup>

为了使整个节点能源功耗更小, 同时又能满足各运行状态之间的切换, 以及整个无线传感器网络的灵活应用, 选择具有体积小, 功耗低, 载波检测输出、地址匹配输出的真正单片 nRF905 作为无线通讯模块。其特性如下:

- (1) 低功耗 ShockBurst 工作模式;
- (2) 工作电源电压范围 1.9V - 3.6V;
- (3) 多通道工作 - ETSI/FCC 兼容;
- (4) 通道切换时间 < 650 μs;
- (5) 极少的材料消耗;
- (6) 无需外部 SAW 滤波器;
- (7) 输出功率可调至 10 dBm;
- (8) 传输前监听的载波检测协议;
- (9) 当正确的数据包被接收或发送时有数据准备就绪信号输出;
- (10) 侦测接收的数据包当地址正确输出地址匹配信号;
- (11) 数据包自动重发功能;
- (12) 自动产生 CRC 和前导码;
- (13) 低工作电流 TX 在输出功率为 -10dBm 时, 典型值为 11mA;
- (14) 低工作电流 RX 典型值为 12.5mA;
- (15) 32 脚小封装无线收发器 321QFN 5 × 5mm。

### 2.5 PCF8563 与 ADG821 控制电路

图 3 为 PCF8563 与 ADG821 控制电路。主要利用

实时时钟芯片 PCF8563的定时特点,可以通过 I<sup>2</sup>C接口(图 3中标示 SCL, SDA)由处理器对其设置,选择分钟定时、天定时、星期定时和月定时等几种方式。当设定的定时器有效且定时时间到,PCF8563的 INT引脚输出低电平,从而将 ADG821的 D2与 S2接通,提供电源输出(图 3中标示 VCCOUT)。

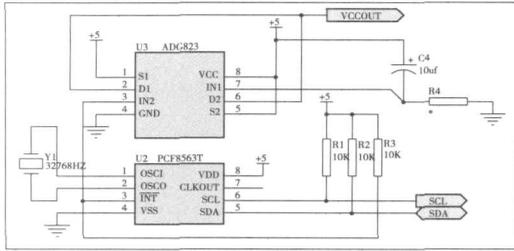


图 3 PCF8563与 ADG821控制电路

## 2.6 nRF905与 ADG821控制电路

在实际设计和应用中,无线通讯模块用单芯片 nRF905制成的 PTR8000代替,因为在 PTR8000中设计 nRF905外围电路所需的元件以及收发天线使用简单、方便,与 ADG822(与 ADG821性能一致,区别是控制不同,ADG821控制低有效,ADG822控制高有效)接口控制电路如图 4所示。

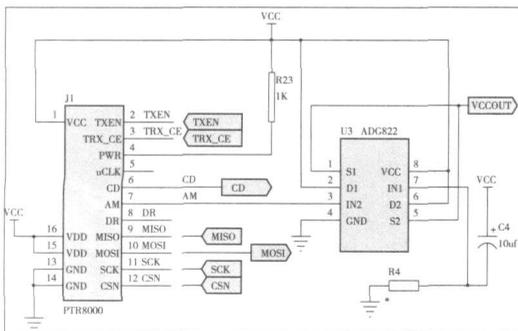


图 4 PTR8000与 ADG822的接口控制电路

## 2.7 ADG821/ADG822与其他模块之间的接口电路

ADG821/ADG822它能提供的最大电流为 200mA,在节点能源控制中,通常选取多芯片(ADG821或ADG822)来加以控制,一方面解决单芯片功耗不足问题,另一方面解决分区供电问题,从而为整个节点能源控制带来方便,而 ADG821/ADG822自身的功耗较小( $< 0.01W$ ),对整个节点能源消耗影响不大。

## 3 运行状态的控制与实现

### 3.1 运行状态 S5的进入与退出

运行状态 S5主要应用在不需远程主动唤醒,只能通过定时唤醒的情况。

运行状态 S5的进入。当处理器通过对 PCF8563设

定相应的寄存器和报警时间或定时时间,一旦设定成功,PCF8563引脚 INT输出高电平,断开 S2和 D2。当 S1与 D1断开时,进入运行状态 S5。

运行状态 S5的退出分为两种情况:

#### (1)上电自动退出

上电开始时,内部复位电路使 PCF8563复位,引脚 INT输出高电平切断电源 VCCOUT输出。利用 ADG821两路控制输出的特点,一路用作 PCF8563引脚 INT输出控制,另一路使用如图 3所示的方法,在 ADG821的 IN1按电路所示方法接入 RC 充电电路,上电开始,利用电阻 R4向电容 C4充电,当 C4充电逐渐饱和,IN1由低电平变为高电平,自动断开 S1和 D1 切断本路供电。需要说明的是,在关闭本路供电以前,一定使处理器完成对 PCF8563的初始化工作。其充电时间为:  $\tau = RC$ ,通过调整 R4或 C4 改变充电时间满足处理器对系统以及 PCF8563的初始化工作。

#### (2)PCF8563设定报警时间到或定时时间到退出

处理器通过对 PCF8563设定相应的寄存器和报警时间或定时时间,一旦设定成功,PCF8563引脚 INT输出高电平,断开 S2和 D2。当 PCF8563设定报警时间到或定时时间到,其引脚 INT有效,输出低电平,接通 S2与 D2 恢复供电,退出运行状态 S5 可以根据需要设定进入 S0-S4。

### 3.2 运行状态 S4的进入与退出

运行状态 S4 主要应用在网络传感器需要远程唤醒及控制时。在该模式下,只对通讯模块的接收部分、实时时钟和 ADG822供电。

运行状态 S4的进入,当处理器对 PTR8000设定为接收模式,一旦设定成功, PTR8000引脚 AM 输出低电平,断开 S2和 D2。当 S1与 D1断开时,进入运行状态 S4。

运行状态 S4的退出也分为两种情况:

#### (1)上电自动退出

上电开始时,内部复位电路使 PCF8563复位,引脚 INT输出高电平切断电源 VCCOUT输出。利用 ADG822两路控制输出的特点,一路用作 PTR8000引脚 AM 输出控制,另一路使用如图 4所示的方法,在 ADG822的 IN1按照电路所示方法接入 RC 充电电路,上电开始,利用电阻 R4向电容 C4充电,当 C4充电逐渐饱和,IN1由高电平,变为低电平,自动断开 S1和 D1,切断本路供电。需要说明的是,在关闭本路供电以前,一定使处理器完成对 PTR8000的初始化工作。其充电时间为:  $\tau = RC$ ,通过调整 R4或 C4 改变充电时间满足处理器对系统以及 PTR8000的初始化工作。

(2)当通讯模块接收到一个有效的地址信息 AM 退出

在运行状态 S4下,当通讯模块接收到一个有效的地址信息 AM,使得 ADG 822的 N2引脚为高电平,接通 S2和 D2 退出运行状态 S4 根据需要进入其他状态。

### 3.3 S5 S4与 S0至 S3之间的切换

在运行状态 S0-S3下,只用重新对 PCF8563设置报警 定时器,一旦设定成功,立即进入运行状态 S5

同样,在运行状态 S0-S3下,只用重新对 PTR8000设置为接收模式,一旦设定成功,立即进入运行状态 S4

## 4 实际应用测试结果

利用以上思想,在无线网络全自动抄表系统中,利用实时时钟芯片 PCF8563和电子开关芯片 ADG 821,实现了超低功耗无线网络传感器节点,成功开发了在空闲模式下达到  $\mu\text{A}$  级无线网络水表数据采集节点。项目组进行了主要性能的测试。测试结果见表 2。

表 2 无线网络全自动抄表系统测试结果

水表编号	采集模式 (S0)	空闲模式 (S5)	传输距离 (视线距离)	网络传输
192.168.0.30	41.345mA	0.373 $\mu$ A	> 500M	正常
192.168.0.40	42.179mA	0.374 $\mu$ A	> 500M	正常
192.168.0.50	41.204mA	0.376 $\mu$ A	> 500M	正常

可见,本文提出的超低功耗节点能源技术不仅可以在无线远程抄表系统得到很好的应用,同时可以在手持设备如手机中得到更加广泛的应用。同时在 CNG 储气井检测技术与系统研发的无线传输部分、无线网路传感器关键技术及多目标环境监测系统技术研究上提供了实现依据。

### 参 考 文 献:

- [1] Christopher M clean Intelligent wireless condition-based Maintenance [ J]. Sensors, 2002, 19( 6): 14-25
- [2] 胡冠山,姚彦青.无线网络传感器能量收集管理技术 [ J]. 传感器世界, 2006 ( 3): 33-36
- [3] 艾鑫伟,武君胜,段渭军.低能耗无线传感器网络节点值守机制的研究及实现 [ J]. 航空计算技术, 2008 ( 3): 127-130
- [4] 王毅,张德运,马新新,等.无线传感器网络传感器节点动态功耗管理方法 [ J]. 吉林大学学报, 2008 38 ( 7): 880-885
- [5] Analog Devices, Inc < 1 $\Omega$  CMOS 1.8 V to 5.5 V, Dual SPST Switches [ EB/OL]. 2002 [http //www. analog. com](http://www.analog.com).
- [6] Nordic VLSI ASA. Single chip 433/868/915 MHz Transceiver nRF905 [ EB/OL]. 2004-1 [http //www. nvlsi. no](http://www.nvlsi.no)

## Research on Ultra-low Power Wireless Sensor Nodes in Energy Technology

YANG Wei-jian, WANG Mei-ying

(School of Computer Science, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

**Abstract** The energy is the key problem of the wireless sensor. By using the conservation idea of multimode operation and division supply for the feature of most time of wireless sensor network node in a sleep state, but the normal time to send and receive data is short, combining with new chips of ADG 821/ADG 822 and timer of PF8563, a Ultra-low power ( lower than 1 $\mu\text{W}$  ) wireless sensor is successfully developed and designed in the paper. This sensor lowers the energy consumption and enlarges the application of wireless network sensor.

**Key words** wireless network; super low energy consumption; sensor; node energy technique