

一种基于无线传感器网络的太阳能电池监控系统

梁 浩¹, 陈欣荣²

(1. 国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 210003;

2. 中国电子科技集团第 28 研究所, 江苏 南京 210007)

摘要: 为管理太阳能电池组件运行工况, 设计了一种基于无线传感器网络的太阳能电池实时监控系統。该系统通过分布式无线传感器网络将各数据采集模块组成自组织网络, 经过多跳路由将采集的数据汇聚到监控节点以实现实时监控。系统的数据采集模块设计主要包括 ZigBee 的系统级芯片 CC2530 以实现控制和无线通信功能, 以及高精度电能计量芯片 CS5464, 在此基础上实现了符合 IEC61036 标准的智能数据采集模块。系统软件部分研究了 CC2530 的数据传输和与 CS5464 数据交互等实现技术, 并基于 TI 的 ZStack-Apps Package 实现了整个 ZigBee 通信协议。

关键词: 太阳能电池; 无线传感器网络; 监控系统; ZigBee 协议; IEC61036

中图分类号: TM 615

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2010)09-0125-04

太阳能发电已成为人类寻求新能源的热点, 但太阳能发电存在应用时有间歇性、发电量与气候条件有关、在晚上或阴雨天不能发电或很少发电的缺点, 同时, 外界环境中的覆盖物也会影响太阳能利用率, 因此, 为提高太阳能利用率, 实时监控太阳能电池的发电量是很有必要的^[1]。

太阳能电池的基本组成单元是电池组件。电池组件是将太阳能直接转变为直流电能的阳光发电装置。多个组件经串联和并联可组成发电方阵, 提供较大的电功率。太阳能电池组件具有单个组件功率大、可靠性高的特点, 可单只或组成阵列使用。组件是由高转换效率的单片太阳能电池、抗老化 EVA 胶膜、高透光率低铁钢化玻璃和由氟塑料、涤纶复合而成的 Tedlar(TPT)背膜组成, 这些元件在真空下加热层压成为一个整体, 最后经安装阳极化防腐铝合金边框和接线盒, 成为组件成品, 具有效率高、寿命长、安

装方便、抗风、抗冰雹等特性^[2]。针对电池组件的特点, 本文设计了一种低成本、智能监控、有应用价值的基于无线传感器网络的太阳能电池实时监控系統。

1 系统设计

基于无线传感器网络的太阳能电池实时监控系統在每个电池组件上安装数据采集模块, 通过无线传感器网络组成自组织网络, 各数据采集模块的控制命令与采集的数据沿着其他传感器节点逐跳地进行传输, 经过多跳路由到汇聚节点, 最后通过互联网或卫星到达管理/监控中心^[3]。用户通过远程管理对传感器网络中数据采集模块进行配置和管理, 发布监测任务以及收集监测数据。

基于无线传感器网络的太阳能电池实时监控系統结构如图 1 所示。无线传感器网络实现了数据采集模块之间的通信、数据采集模块与上位机的通信^[4]。整个系統组网灵活, 控制可靠, 管理方便, 系統容量大, 兼容现有系統, 不受距离限制, 易于编程。

收稿日期: 2010-06-10

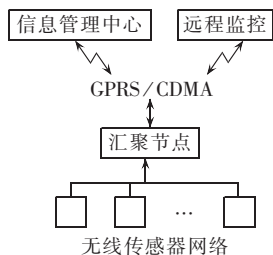


图 1 基于无线传感器网络的太阳能电池实时监控结构图

Fig.1 Structure of solar cell monitoring system based on wireless sensor network

2 硬件设计及实现

组建太阳能电池实时监控系统的,首先要求组成的节点可靠且有效。节点的设计必须满足具体应用的特殊要求,例如小型化、低成本、低功耗,并为节点配备合适的数据采集芯片、必要的计算功能、内存资源以及适当的通信设备^[5]。

2.1 数据采集节点硬件设计及实现

太阳能电池监控系统的数据采集节点由 5 个主要部分组成:控制器、存储器、电能计量单元、通信、电源。目前 Chipcon、Freescale 等公司都着力于开发工作在 2.4 GHz 的 ZigBee 适用的芯片。选用理想的无线收发芯片可以减少开发难度,缩短开发周期,降低成本,更快地将产品推向市场。选择 2.4 GHz 的无线收发芯片时应考虑 3 个方面的主要因素^[6]。

a. 收发芯片所需的外围元件数量。芯片外围元件数量直接决定产品成本,因此应该选择外围元件少的收发芯片。有些芯片比较便宜,但需使用很多昂贵的外围元件,如声表滤波器等;还有的芯片对天线的要求高,也会增加成本。

b. 发射功率。在同等条件下,为了保证有效和可靠的通信,应该选用发射功率较高的产品。

c. 收发芯片的封装和管脚数。较少的管脚以及较小的封装,有利于减少印刷电路板(PCB)的面积,适合便携式产品的设计,也有利于开发和生产等。

综合考虑上述各个因素,决定使用 Chipcon 公司的无线收发芯片 CC2530。

CC2530 是真正的系统级芯片(SoC),提供了 101dB 的链路质量,具有优秀的接收灵敏度和健壮的抗干扰性、4 种供电模式、工业标准增强性 8051 MCU、系统中可编程的闪存、8 KB RAM 以及许多其他强大功能的特性,以及一套广泛的外设集——包括 2 个 USART、12 位 ADC 和 21 个通用 GPIO,支持一般的低功耗无线通信。CC2530 还可以配备 TI 的一个标准兼容或专有的网络协议栈(RemoTI、Z-Stack 或 SimpliciTI)来简化开发,可广泛应用在 2.4 GHz IEEE 802.15.4 系统、RF4CE 遥控制系统、ZigBee 系统、家庭/建筑物自动化、照明系统、工业控制和监视、低功耗无线传感器网络等^[7]。

电能计量单元的核心是 CS5464,它是一个包含 2 个 $\Delta\Sigma$ 模-数转换器(ADC)、功率计算功能、电能到频率转换器和一个串行接口的完整的功率测量芯片。它可测量电压、电流和计算电压/电流有效值、瞬时功率、有功功率、无功功率、功率因数,用于研制开发单相、2 线或 3 线电表。CS5464 具有与微控制器通信的双向串口,可编程的电能-脉冲输出功能。CS5464 还具有方便的片上系统校准功能、温度传感器及电压下降检测、相位补偿功能。它的工作温度范围宽($-40\sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$),采用 +5 V 单电源供电。功率、能量、电压/电流有效值、电压/电流瞬时值的测量结果都存放在对应寄存器的单元中,通过 SPI 总线访问,可将所有需要的数据全部读回。它可与分流器或互感器相连来测量电流,也可与电阻分压器或互感器相连来测量电压^[8]。

CC2530 与 CS5464 通过 SPI 连接,连接方便。SPI 由 CSn、SI、SO 和 SCLK 4 个引脚构成。处理器通过 SPI 访问 CS5464 内部寄存器和存储区。在访问过程中,CS5464 是 SPI 的从设备,接收来自处理器的时钟信号和片选信号,并在处理器控制下执行输入、输出操作。SPI 接收或发送数据由时钟下降沿触发。

2.2 无线模块的天线设计

根据电磁场理论,一根有限长的导体放在一定的辐射场内,在电磁场的作用下,导体上便感应出电势。若将此导体与接收机相连,则感应电势产生的高频电流被送到接收机的回路,就能接收到无线电波所载的信息。天线在无线信道中的接口作用在于它具有能量转换的功能,能把发射设备产生的高频电流形态的能量转换成电磁波能量,同时把电磁波能量转换成高频电流形态的能量。因此,天线是一种具有特殊功能的能量转换器,其转换能量的作用具有可逆的性质,即同一副天线可用作发射,也可用作接收,发射天线和接收天线之间具有互易的特性^[9]。

射频模块建立无线通信连接的过程可以描述为:发送机以一定的功率将信息通过天线以电波的形式发射到空中,无线电波经过一定的路径被接收机的天线所接收,信息被传递到接收机处理。增益是天线辐射或接收电波能力大小的表现。在功率相同的条件下,增益越高,电波传播的距离越远。

CC2530 可以考虑采用 PCB 天线和单极天线。

PCB 天线选用倒 F 型。倒 F 型天线是金属单极天线,它的顶部折叠成与地面平行。把天线折叠起来可以减少它的高度而能维持引起共鸣的金属长度。将引入一个电阻作为天线平行部分的输入电阻。然而,天线的长度与高度的和应等于波长的 $1/4$ 。所以,减少了天线的高度必然引起天线长度的增加。对低功耗的无线设备而言,低成本的小型 PCB 环形天线是一种很好的选择。

单极天线是一种谐振天线,可以把它看成偶极天线的一臂,而另一臂是一个假设的地平面。单极天

线由一个在有限导体的地平面上具有 $\lambda/4$ 最优波长的垂直元件构成。设计并不复杂,只需要将一个天线垂直地面和射频模块相连就可以了。由于无线通信环境的不确定性,预测各种环境下的传输效果是不可能的。因为传输效果取决于以下因素的影响:路径损耗、建筑物影响、人体影响、外界干扰、多径现象、周围环境的吸收等。传输距离根据实际情况而定。当射频电路按照单极天线设计时,使用 1 个 SMA 的连接器和天线相连。

2.3 PCB 设计

数据采集节点的 PCB 使用高频 4 层板,分为元件面、接地层、电源层和底面。射频电路的元件面以 CC2530 为中心,各元器件紧靠其周围,尽可能减少分布参数的影响。为保证元件充分接地,大量的通孔连接元件面的接地面到底面的接地面。射频电路的电源使用高性能的射频电容去耦,去耦电容尽可能地靠近 CC2530,使用微带走线来达到阻抗匹配^[10]。

2.4 系统精度

CS5464 线性度非常好,在 $MCLK = 4.096\text{ MHz}$, $K = 1$, $N = 4000$ 的情况下,通过电压、电流各自的零点校准和增益校准,能量的精确度可以达到读数的 0.1%。此外,电压信号采样电路选择精度为 0.5% 的精密电阻,通过电阻分压获得电压信号,电流信号采样电路选择精度为 0.5% 的电流传感器^[6]。通过定时器中断,给出当前功率对应的脉冲频率,与理想频率比较,将系统误差控制在所需范围内。经运行检验,各项指标完全符合 IEC61036 标准要求^[11]。

3 软件设计及实现

硬件抽象层软件主要包括 2 个部分:通过 SPI 读取电压、电流、功率值;无线通信。

当 CS5464 上电以后,第 1 步是给复位脉冲到 RESET 脚,然后再初始化 CS5464。

初始化 CS5464 主要包括:

- a. SDI、SCLK、CS 为低(片选芯片,拉低脚位);
- b. SDI 为高,SCLK 发 31 个脉冲,SDI 为低,SCLK 发 1 个脉冲(即在串口上连续发 3 个 SYNC1 (0xFF)命令,再发 1 个 SYNC0 (0xFE)命令)。

配置 CS5464 的一些基本寄存器主要包括:

- a. 把 DCoff 与 ACgain 的值及其他一些需设定的值从 E²PROM 写到相应的寄存器;
- b. 在串口上发 0xe8 命令(即把采样/测量模式设为连续计算周期)。

然后即可读相应的寄存器得到测量值。

CC2530 与 CS5464 进行通信使用的是 SPI^[12],主要操作下面分别列出。

SPI 初始化:使能 SPI,选择作为主机工作方式,时钟速率为 $FCK/2$,SPI 模式 0^[13]。

```
void halLedSpiInit(void)
```

```
{
```

```
    register uint8 baud_exponent;
    register uint8 baud_mantissa;
    //Set SPI on UART 0 alternative 1
    PERCFG &= 0xFE;
    //Use SPI on USART 0 alternative 1
    POSEL |= 0x2C;
    //Configure peripheral
    MCU_IO_PERIPHERAL (HAL_BOARD_IO_SPI_MISO_PORT,
    HAL_BOARD_IO_SPI_MISO_PIN);
    MCU_IO_PERIPHERAL (HAL_BOARD_IO_SPI_MOSI_PORT,
    HAL_BOARD_IO_SPI_MOSI_PIN);
    MCU_IO_PERIPHERAL (HAL_BOARD_IO_SPI_CLK_PORT,
    HAL_BOARD_IO_SPI_CLK_PIN);
    U0GCR = 0x2B;
    U0BAUD = 216;
    //SPI mode, master.
    U0CSR = U0CSR & (~0xA0);
}
```

SPI 读操作:

```
void SPI_Read(uint8 reg,uint8 N)
```

```
{
    uint8 i;
    SPI_WriteCommand(reg);
    for (i=0; i < N; i++)
    {
        // U0CSR=U0CSR&0xFB;
        SPI_WriteCommand(0xFF);
        // while ((U0CSR&0x04)==0);
        rev_data[i] = U0DBUF;
    }
}
```

SPI 写操作:

```
void SPI_WriteCommand(uint8 reg)
```

```
{
    U0DBUF = reg;
    while ((U0CSR&0x02)==0);
    U0CSR = U0CSR&0xFD;
}
```

CS5464 初始化:

```
void csInit(void)
```

```
{
    //set CS5464
    PO_7=0;
    halMcuWaitMs(10);
    //reset CS5464
    PO_7=1;
    SPI_WriteCommand(0xff);
    SPI_WriteCommand(0xff);
    SPI_WriteCommand(0xff);
    SPI_WriteCommand(0xfe);

    SPI_WriteCommand(0x78);
    SPI_WriteCommand(0x00);
    SPI_WriteCommand(0x00);
    SPI_WriteCommand(0x20);

    SPI_WriteCommand(0x7E);
    SPI_WriteCommand(0x00);
    SPI_WriteCommand(0x00);
    SPI_WriteCommand(0x01);

    SPI_WriteCommand(0x44);
}
```



```
SPI_WriteCommand(0x07);
SPI_WriteCommand(0x01);
SPI_WriteCommand(0x59);
```

```
SPI_WriteCommand(0x40);
SPI_WriteCommand(0xfe);
SPI_WriteCommand(0x87);
SPI_WriteCommand(0x68);
```

```
SPI_WriteCommand(0x7E);
SPI_WriteCommand(0x00);
SPI_WriteCommand(0x00);
SPI_WriteCommand(0x00);
```

```
SPI_WriteCommand(0xe8);
```

```
}
```

无线通信的 MAC 曾使用的是 IEEE802.15.4 协议^[14],网络层是基于 TI 的 ZStack-Apps Package 进行开发,实现整个 ZigBee 通信协议^[15]。

4 结论

基于无线传感器网络的太阳能电池实时监控结构简单,成本较低,耗电量小,并能有效地实时监控太阳能电池的发电量,适用于各种光伏系统,能在较短时间内给出电量显示。同时系统装置器件寿命较长,耐用可靠,有利于太阳能发电系统的普及,在光伏系统中有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 王建华,吴季平,徐伟. 太阳能应用研究进展[J]. 水电能源科学, 2002,25(4):155-158.
WANG Jianhua,WU Jiping,XU Wei. Progress in the application of solar energy[J]. Hydroelectric Energy Science,2002,25(4): 155-158.
- [2] 维基百科. 太阳能电池[EB/OL]. [2010-06-10]. <http://zh.wikipedia.org/zh/太阳能电池>.
- [3] 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,2005:4-6.
- [4] 英春,史美林. 自组网体系结构研究[J]. 通信学报,1999,20(9): 47-54.
YING Chun,SHI Meilin. The architecture of mobile ad hoc net-

works[J]. Journal of Communication,1999,20(9):47-54.

- [5] INTANAGONWIWAT C,GOVINDAN R,ESTRIN D. Directed diffusion:a scalable and robust communication paradigm for sensor network[EB/OL]. [2010-06-10]. <http://www.sigmobile.org/mobicom/2000/Conference.html>.
- [6] 韩旭东,张春业,李鹏. 传感器无线互联标准及实现[J]. 电子技术应用,2004,30(4):44-46.
HAN Xudong,ZHANG Chunye,LI Peng. Sensor wireless Internet standards and implementation[J]. Electronic Technology,2004, 30(4):44-46.
- [7] Texas Instruments. A true system-on-chip solution for 2.4 GHz IEEE 802.15.4 and ZigBee applications[EB/OL]. 2009[2010-06-10]. <http://www.TI.com>.
- [8] Cirrus Logic. CS5464 datasheet[EB/OL]. [2010-06-10]. <http://www.CIRRUSLOGIC.com>.
- [9] 约翰. 克劳斯. 天线[M]. 章文勋,译. 北京:电子工业出版社, 2006:35-37.
- [10] 佚名. 如何在高速设计中考虑 PI/SI 和 EMI/EMC 问题 [EB/OL]. [2010-06-10]. http://www.eet-china.com/ART_88004_68233_480601_NT_a66e4512.HTM.
- [11] International Electrotechnical Commission. Alternating current static Watt-hour meters for active energy(classes 1 and 2).1996 [EB/OL]. [2010-06-10]. <http://www.3dportal.cn/discuz/viewthread.php?tid=319700>.
- [12] Texas Instruments. CC253x system-on-chip solution for 2.4 GHz IEEE 802.15.4 and ZigBee applications[EB/OL]. [2010-06-10]. <http://www.TI.com>.
- [13] IAR Systems. 8051 IAR embedded workbench IDE user guide [EB/OL]. [2010-06-10]. <http://www.iar.com>.
- [14] IEEE. IEEE Std 802.15.4-2003:wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks(LR-WPANs) [EB/OL]. [2010-06-10]. <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>.
- [15] 高守玮,吴灿阳. ZigBee 技术实践教程:基于 CC2430/31 的无线传感器网络解决方案[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2009:250-258.

(编辑:康鲁豫)

作者简介:

梁浩(1974-),男,江苏南京人,工程师,主要研究方向为热工自动化、新能源及环保自动化(E-mail:good@sac-china.com);

陈欣荣(1982-),男,江苏南通人,助理工程师,主要研究方向为无线传感器网络、软件工程(E-mail:cxr40492@gmail.com)。

Solar cell monitoring system based on wireless sensor network

LIANG Hao¹,CHEN Xinrong²

(1. Guodian Nanjing Automation Co.,Ltd.,Nanjing 210003,China;

2. The 28th Research Institute of CETC,Nanjing 210007,China)

Abstract: In order to manage the operating status of solar module,the solar cell monitoring system is designed based on the wireless sensor network. For the real-time monitoring,its data collection modules form a self-organized network through the distributed wireless sensor networks and send the collected data to the monitoring center by multi-hop routing. The intelligent data collection module,in conformity to IEC61036, mainly consists of a ZigBee system-on-chip CC2530,which provides the control and wireless communication function,and a high precision metering chip CS5464. The implementation techniques are studied for the data transmission of CC2530 and the data exchange between CC2530 and CS5464,and the whole ZigBee communication protocol is realized based on the ZStack-Apps Package from TI.

Key words: solar cell; wireless sensor network; monitoring system; ZigBee protocol; IEC61036