

# 基于 ZigBee 的细粒度电量智能无线监控插座的设计

高宜文,赵增华,徐瑞涛,石高涛,吕志宏  
(天津大学 计算机科学与技术学院,天津 300072)

**摘要:** 设计实现了一个基于 ZigBee 的家电能耗细粒度计量和控制的无线智能插座。该设备能实时监测家用电器的耗电量,多个设备可以组建无线传感器网络平台,并能通过该网络将所有电器的耗电数据收集到服务器中,进行智能决策,通过无线网络控制继电器开断电源,从而节约电能。

**关键词:** ZigBee; 电量监控; 智能家居; 智能插座; 嵌入式系统

中图分类号: TP271

文献标识码: B

文章编号: 1674-7720(2012)03-0027-04

## Design of a fine-grained power monitoring and controlling socket based on ZigBee networks

Gao Yiwen, Zhao Zenghua, Xu Ruitao, Shi Gaotao, Lv Zhihong

(Department of Computer Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** The system implements a fine-grained power monitoring and controlling intelligent socket based on ZigBee. The device can take a real-time monitoring on the energy consumption, and several those devices can form WSN (Wireless Sensor Networks), so the power consumption information can be sent to server by WSN easily. Users can view the consumption information. By using this platform, it can analyze information collected in a long run and control user's appliance according to users' behavioral habits.

**Key words:** ZigBee; power monitoring and controlling; smart homes; intelligent socket; embedded system

目前,全球都处于能源紧缺的状态,节约能源对于中国的可持续发展具有非常重要的意义。要想节约能源,就必须合理地利用有限的能源,这就要求将浪费减到最小,需要对电器进行细粒度电量监测<sup>[1]</sup>。但是现有的计量设备<sup>[2-3]</sup>都是用来计量用户总的用电量信息,而不能计量特定用电器特定时间段的耗电量。

本系统设计实现了一个基于 ZigBee 的家电能耗细粒度计量和控制的无线智能插座,其可以达到对电器耗电量的细粒度计量,并能通过继电器有效控制电器的供电回路通断。该设备分别利用电流互感器和电压互感器采集流入电器的电流和两端的电压,并转换为数字化的功率值,然后交给微处理器处理和无线发送。同时,微处理器还可以通过继电器控制电器回路的通断。

### 1 系统架构及测量原理

基于 ZigBee 技术的细粒度电量监控无线智能插座主要由电量采集单元、无线微控制器、智能开关控制单元和供电单元组成,系统构成方框图如图 1 所示。

电量采集单元负责采集用电设备的能耗信息。采用

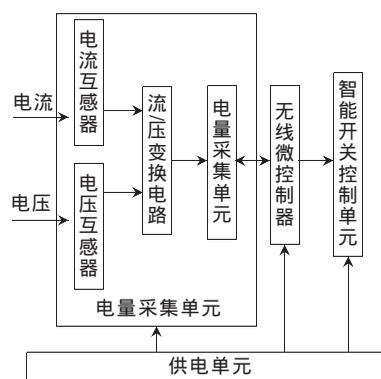


图 1 节点系统架构框图

专用的功率测量芯片,使监测到的数据信息综合误差得到修正,精度高且硬件设计简单,也省去了软件上计算的复杂性。

采用集微处理器和 RF 收发芯片于一体的 SoC 芯片代替数据处理模块和数据通信模块,既负责控制整个节点的处理操作、路由协议等,又负责与其他节点或 Sink 节点进行无线通信、收发数据,并使得节点本身的体积

缩小,功耗降低,成本缩减。

智能开关控制单元负责控制用电设备开关的通断,命令由无线微控制器发出,动作的实施由控制单元执行。采用继电器来完成通断电控制的功能。

供电单元负责为其他单元提供工作电压。采用外接 AC-DC 开关电源以减小节点体积,然后利用稳压芯片得到各模块芯片所需的工作电压。

电压、电流信号分别通过电压互感器和电流互感器采样,并通过流/压变换电路转换为电能表芯片接收的信号输入到电能表芯片的模拟信号输入端,电能表芯片据此由内部的电能计算函数计算出电能、有功功率、无功功率及功率因数等各种电参数,并按类型存入相应寄存器中。无线微控制模块通过双向串行接口与电能表芯片相连,读取测量的各种电参数数据,并通过内部的无线通信电路将计量结果向控制中心传输。

## 2 电量采集单元

数据采集单元是智能电量采集网络节点的重要部分,也是保证该节点的电量测量精度的重要环节。数据采集单元主要由电压采样电路、电流采样电路、电子式电表专用芯片 CS5463<sup>[4]</sup>等构成,硬件框图如图 2 所示。

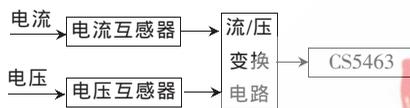


图2 数据采集单元组成框图

电压、电流信号分别通过电压互感器和电流互感器采样并通过流/压变换电路转换为电能表芯片 CS5463 接收范围内的信号并输入至 CS5463 的模拟信号输入端。CS5463 电压和电流输入通道皆采用差分输入,电压通道输入范围为 150 mV,电流通道根据增益设定的不同(为 10 或 50),相应的输入电压范围为 150 mV 或 30 mV。CS5463 据此由内部的电能计算函数计算出电能、有功功率、无功功率及功率因数等各种电参数,并按类型存入相应寄存器中。

### 2.1 电压采样电路

电压采样电路由电压互感器、电阻网络和去抖电容组成。电压互感器采用维博 WB 系列 PT43B002 交流电压采样器<sup>[5]</sup>,为变比 1:1 的电流型电压互感器。采用特制隔离模块,将被测交流电压隔离转换成同频同相的小交流电流信号。将 220 V 的 N 线与 L 线按照电压互感器产品标签上的标注分别与 V+ 与 V- 连接,以保证输出信号与输入信号同相。该互感器是通过从输入回路中索取 1 mA 电流来达到测量目的的,工作时须使用外部定标电阻,阻值按 1 000 Ω/V 选取,改变阻值可以达到测量不同电压的目的。输出端为跟踪电流源输出,满度标称输出为 1 mA,使用时需要在次级跨接采样电阻。根据后面连接的电能表芯片 CS5463 要求的 150 mV 的电压范围,将电阻阻值定为 150 Ω。电压采样电路原理图如图 3 所示。

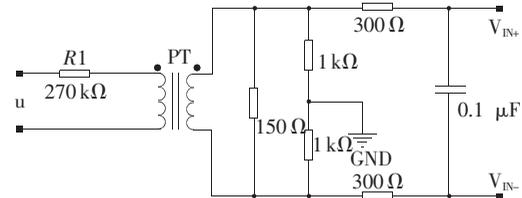


图3 电压采样电路

### 2.2 电流采样电路

电流采样电路由电流互感器、电阻网络和去抖电容组成。电流互感器采用维博 WB 系列 CT43B402<sup>[6]</sup>交流电流采样器,为变比 2 000:1 的电流互感器。采用特制隔离模块,将被测交流电流转换成同频同相的小交流电流信号。将 220 V 的 N 线按照电流互感器产品标签上的输入信号方向穿过互感器,以保证输出信号与被测信号同相。输出为电流源输出,使用时应在输出回路中串入采样电阻。由于最大测量的交流电流为 10 A,根据变比可算得输出电流为 5 mA,由于后面连接的电能表芯片 CS5463 要求的电压范围为 150 mV,将电阻阻值定为 30 Ω。电流采样电路原理图如图 4 所示。

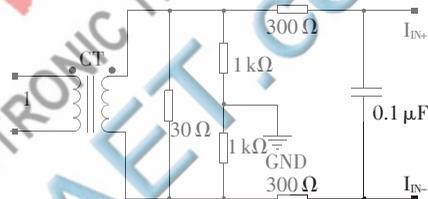


图4 电流采样电路

### 2.3 电子式电能表芯片 CS5463

CS5463 由两个可编程的增益放大器、两个 Δ-Σ 模数转换器(ADC)、高速滤波器、功率计算引擎、串行接口、偏置和增益校准、功率监测、电源监视器及相应的功能寄存器等组成。模拟的电流/电压输入通道输入的是差分电压信号,满量程输入为 ±250 mV。两个可编程放大器采集电流和电压数据,放大后由 Δ-Σ 模数转换器对模拟量进行采样、处理,采样的结果通过数字低通或可选的高通滤波器(HPF)滤取符合要求的电流电压数字信号。电流和电压通道都提供了一个可选的高通滤波器,它可以除去电流和电压信号里的全部直流成分,减少有效值、有功功率、电能等计算中由电流或电压信号的偏移带来的不精确性。功率计算引擎计算各类电参数,如电流有效值、电压有效值、有功功率、无功功率等,将计算的结果值存储在相应的寄存器中,并通过串行接口(SPI)输出。CS5463 内部结构框图如图 5 所示。

## 3 数据传输单元

数据传输单元采用 Jennic 公司的 JN5139<sup>[7]</sup>模块实现。在设计时,将 JN5139 模块的所有引脚都引出以便系统的扩展。

JN5139 模块是基于 Jennic 第二代无线微控制器的低功耗无线通信模块,它能使客户在最短的时间内以最

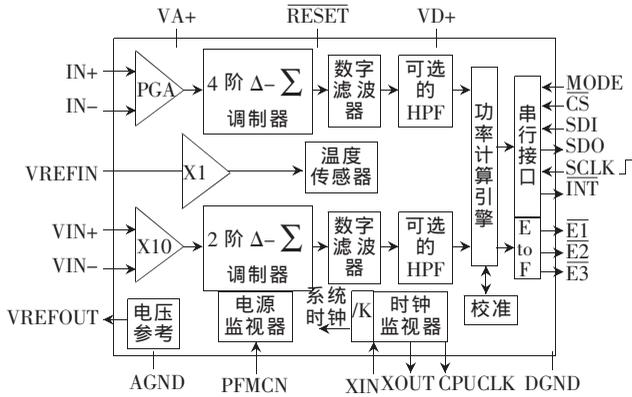


图5 CS5463内部结构

低的成本实现 IEEE 802.15.4 或 ZigBee 的无线系统。该模块减少了用户对于 RF 射频设计和测试工装的昂而贵漫长的开发。该模块利用 Jennic 公司的 JN5139 无线微控制器来提供完整的射频和 RF 器件的解决方案, 提供了开发无线传感器网络所需要的丰富的外围器件。

#### 4 智能开关控制单元

本着节能的目的, 根据采集到的各种电器的能耗数据, 可以预测到用户的用电习惯, 比如用户在哪个时间段用什么电器。根据用户的用电习惯, 为电器定时, 或者由用户进行远程控制, 系统可以实现自动控制对电器的开关通断。

通断电控制电路应用继电器完成。继电器是常用的一种控制设备, 继电器的高低电压隔离及开关特性在很多的控制系统中得到广泛应用。电路设计图如图 6 所示。

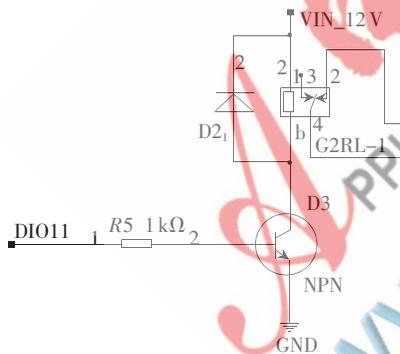


图6 智能开关控制电路图

电路的工作原理是, 在正常情况下, 处理器的 I/O 口为低电平, 三极管处于截止状态, 继电器线圈内无电流, 所以继电器处于常闭状态, 用电器处于供电状态; 当需要断电时, I/O 口置高电平, 三极管导通, 继电器线圈内有电流流过, 使继电器处于常开状态, 切断供电。

图 6 中的二极管是专门为保护驱动器而设置的。在驱动器的输出由“1”变“0”、继电器的线圈从有电流变到无电流过程中, 由于它的线包是感性负载, 因此会产生很高的感性电势, 此时二极管提供的泄洪回路可保护驱动器不被反电势击穿。

#### 5 电源管理单元

嵌入式应用系统中最重要并且最严重的干扰来源于电源的污染。通常, 嵌入式系统使用的电源一般都是由市电网的交流电经变换后得到的。随着工业生产的快速发展, 市电网电源污染问题日趋严重。同时, 各种干扰也极易耦合到供电线路中, 这种电源干扰将会通过嵌入式应用系统的电源线路引入到系统中。因此, 设计可靠的、抗干扰性能良好的嵌入式应用系统供电电路对提高系统抗干扰性能来说是非常重要的。

本设备上器件的工作电压共有 12 V、5 V 和 3.3 V 三种。供电单元需要提供这三种电压以使所有器件正常工作。电源设计原理图如图 7 所示。

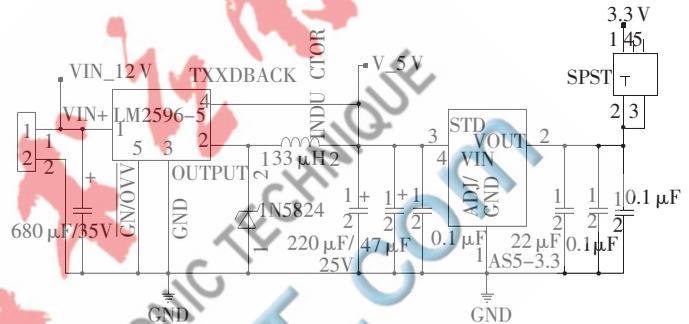


图7 电源设计原理图

#### 6 功能验证

电量监控模块典型的应用形式是一个集本文设计的模块、AC-DC 转换器和普通插座为一体的智能插座。AC-DC 转换器将 220 V 的交流电转换为直流电, 用以为电量监控模块供电。插座的干路穿过电流互感器以采集原始电流数据, 而电压互感器则并联在火线和零线之间以采集原始电压数据。

本电量监控模块可以通过无线组网来组成更大的监控系统。以下对系统的功能验证的实验采用的就是这种体系结构。

为了验证系统的功能, 选取了普通笔记本电脑进行测量<sup>[1]</sup>, 统计能耗情况。

实验一: 测量 IBM T43 2668 笔记本分别在正常工作、运行游戏、运行视频、运行 Windows update 程序、待机 and 休眠 6 种情况下的功率情况。

本实验利用电量采集智能插座, 其内部的电量采集模块采集电量信息的频率设置为 1 次/s, 采集到的信息上传服务器的频率设置为 1 次/min, 因此, 测得的每个数据是 1 min 内得到的 60 个数据的平均值。这里, 对每一种状态的测试持续 10 min, 分别得到 10 个数据。此外, 由于 Window update 程序运行的时间无法自由控制, 因此, 这里采用多次累计测得 10 min 的数据。表 1 列出了测试结果。

从表 1 可以看出, 不同的工作状态下 IBM T43 2668 在单位时间消耗的能量是不同的。运行游戏程序和播放视频的时候耗能相对较多, 这是因为这两类任务

表 1 IBM T43 2668 不同状态下的功率测量值

测试组号	1	2	3	4	5	6	7	7	9	10	平均
正常工作/Wh	10.29	9.12	10.13	8.55	8.61	8.64	8.25	7.89	8.12	8.24	8.63
运行游戏/Wh	15.66	15.32	16.35	16.75	16.52	15.66	16.12	15.22	14.88	15.69	15.82
运行视频/Wh	17.86	17.45	18.56	19.12	18.44	17.86	19.42	18.48	18.56	18.79	18.45
运行更新/Wh	13.55	13.65	13.85	13.88	13.65	13.86	13.47	13.56	13.85	14.10	13.74
待机/Wh	6.85	6.58	6.65	6.25	6.85	6.12	6.45	6.65	6.85	6.10	6.54
休眠/Wh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

都需要显卡来处理大量的数据,而且,视频的编解码也会占用大量的 CPU 时间,耗能较多。正常工作指的是在启动计算机以后,不进行任何操作。前 3 min 耗电比较多是因为系统刚开始启动,某些系统服务和启动项需要启动,之后耗电逐步稳定。待机状态耗电明显降低,而休眠状态测得的值为 0,与理论值一致。

#### 实验二:用户行为分析。

为了说明系统基于测量的用户用电行为分析,对 1 台学生科研用的 IBM T43 2668 笔记本电脑日常耗电情况进行了监测,检测时间为 60 min,要求学生在此 60 min 内每个时刻只可以让电脑处于实验一提到的 6 种状态之一。

采集数据的频率和获得数据的频率与实验一相同。60 min 内获得了 60 个数据,如图 8 所示。

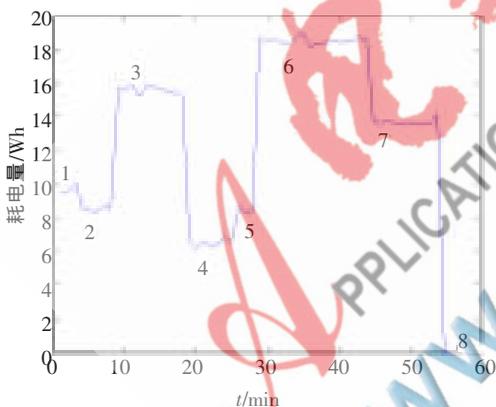


图 8 IBM 笔记本 60 min 内的耗电量

图 8 中,1 处为第一个峰值,而 1 和 2 处的平均值是 8.95 Wh,与实验一中的数据对照,发现符合正常运行时的情况,因此,推断此处为运行其他程序的情形。3 处是第二个峰值,此处耗电相对较稳定,经计算均值为 15.56 Wh,与实验一中的数据对照,发现此处和运行游戏的情形吻合,因此推断此时在运行游戏程序。大约 20 min 的时候,耗电急剧下降,到达了低谷 4 处,经计算,此处的耗电均值为 6.47 Wh,对照实验一的数据,推断此时是待机状态。再观察 5 处,又有个小的峰值,并且看似与 2 处持平,推断此时电脑从待机状态恢复了正常运行状态。

6 处达到了整个实验的最高处,而实验允许操作者进行的最耗能的操作是观看视频,所以推断此时是视频播放状态。同样,可推断 7 处是操作者进行了系统更新操作,而 8 处的耗电量为 0,可以断言是休眠导致的。最后,将这些推断与操作者实际进行的操作进行对照,发现完全吻合。由此,成功实现了一个简单的用户行为分析。

通过以上的两个实验可以对系统做出简单的功能性验证。从实验一可以看出该系统可以对用电器的用电进行细粒度的检测。实验二说明这些检测到的细粒度耗电信息可以通过无线网络传输到后台用作行为分析,从而做出相应的决策。本系统可以通过控制继电器来实现对电器回路通断的控制,这就是一种典型的决策实现方式。

本系统采用了高精度的电子式电能表专用芯片,配合低功耗无线微控制模块实施电能监测,同时还可以动态控制电器的通断。另外,由于此设备装有 ZigBee 模块,因此,可以用来和其他带有 ZigBee 模块的设备组成网络,从而使电量数据具有更广泛的应用。

#### 参考文献

- [1] 石高涛,赵增华,徐瑞涛,等.基于无线传感器网络的细粒度电器能耗计量系统[J].传感技术学报,2010,23(6).
- [2] 黄界.基于 AVR 的智能节能插座设计[J].现代电子技术,2010,33(12):188-190.
- [3] 温铁钝,孙键国,张天宏.无线遥控智能插座的设计[J].测控技术,2003,22(10):53-55,59.
- [4] 电子式电表专用芯片 CS5463 [EB/OL].[2011-09-01].[http://icpdf.com/PartnoView.asp?id=705711\\_514440](http://icpdf.com/PartnoView.asp?id=705711_514440).
- [5] 电压互感器 WBPT43B002 [EB/OL].[2011-09-01].[http://www.wb-my.com/products\\_show.asp?Cp\\_id=307](http://www.wb-my.com/products_show.asp?Cp_id=307).
- [6] 电流互感器 WBCT43B402 [EB/OL].[2011-09-01].[http://www.wb-my.com/products\\_show.asp?Cp\\_id=303](http://www.wb-my.com/products_show.asp?Cp_id=303).
- [7] 无线模块 Jennic JN5139 [EB/OL].[2011-09-01].[http://www.jennic.com/products/wireless\\_microcontrollers/jn5139](http://www.jennic.com/products/wireless_microcontrollers/jn5139).

(收稿日期:2011-09-02)

#### 作者简介:

高宜文,男,1987 年生,硕士研究生,主要研究方向:嵌入式系统设计。

赵增华,女,1974 年生,博士,副教授,主要研究方向:无线传感器网络与无线网状网络。

石高涛,男,1978 年生,博士,讲师,主要研究方向:无线传感器网络。