

基于 ZigBee 技术的电能检测系统设计

姚亚洲,吴 栋,韩 冰

(南京师范大学物理科学与技术学院,江苏 南京 210023)

[摘要] 为了实时集中监控各个家用电器用电耗能情况,设计了 1 套基于片上系统 Zigbee 技术的电能检测系统. 该系统采用 CC2430 搭建星型网络,并以 TI 公司的 Z-Stack 为基础进行软件设计. 终端节点能实时检测家用电器的用电信息,并通过 Zigbee 网络将数据发送给协调器节点,协调器节点通过 RS232 串口将数据传送到客户端软件进行处理,实现了用户对各个家用电器耗能状况的集中检测,并可进一步进行管理.

[关键词] 片上系统,Zigbee,CC2430,电能检测

[中图分类号]TM925.02;TN4;TN8 [文献标志码]A [文章编号]1001-4616(2013)02-0039-04

Design of Electricity Power Measurement System Based on ZigBee Technology

Yao Yazhou, Wu Dong, Han Bing

(School of Physics and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: This paper presents an electricity power measurement system based on Zigbee technology for real-time monitoring of household appliances' energy consumption. The system uses the CC2430 to build a star-type topology network, and designs the software based on TI's Z-Stack. The terminal node could detect household appliances' energy consumption in real-time and send data to the coordinator node by the Zigbee network. The coordinator node transfer data to the client software for processing via the RS232 serial ports. User could achieve a centralized testing and further management of energy consumption in various household appliances.

Key words: system on chip, Zigbee, CC2430, electricity power measurement

一方面家用电器电能检测需要较多的检测节点、较短传输延时和极低的功率消耗,另一方面家用电器电能检测需要采集的数据量较少,对传输带宽要求不高,因此虽然 GPS/GIS 等无线公共网络技术具有传输速度快、信息量大等优点,但是鉴于它们通信费用和能耗较高等缺点^[1],很难在家庭环境下进行应用推广.

Zigbee 是一种基于 IEEE802.15.4 标准的低功耗、低传输速率、架构简单的短距离无线通信技术,且 Zigbee 协议是免专利费的,每个网络最多可支持 255 个设备,足够家庭环境的使用^[2]. 有鉴于此,本文设计了一套基于片上系统 Zigbee 技术的星形网络拓扑结构的电能检测系统,下面将分别从系统的硬件和软件两个方面去说明设计思想和方法.

1 系统设计

1.1 硬件系统设计

电能检测系统硬件部分主要包括两个方面内容:Zigbee 终端节点和 Zigbee 协调器节点. 终端节点主要由电能检测模块、终端 Zigbee 模块、继电器模块和电源模块组成. 协调器节点主要由协调器 Zigbee 模块、电源模块和串口通讯模块组成. 电能检测模块采用的是高精度电能测量集成电路 ADE7755. 终端 Zigbee

收稿日期:2012-09-12
基金项目:南京易周能源科技有限公司提供资金.
通讯联系人:姚亚洲,硕士研究生. E-mail:963013878@qq.com

模块和协调器 Zigbee 模块采用的是结合了增强型 8051CPU 内核和 CC2420RF 收发器的 CC2430-F128 处理器. 继电器模块采用的是通用 5V 电磁继电器. 电源模块主要由可充电的锂电池和 78L05 芯片电路两部分组成. 串口通信模块采用的是 MAX3232 芯片电路,系统硬件结构见图 1.

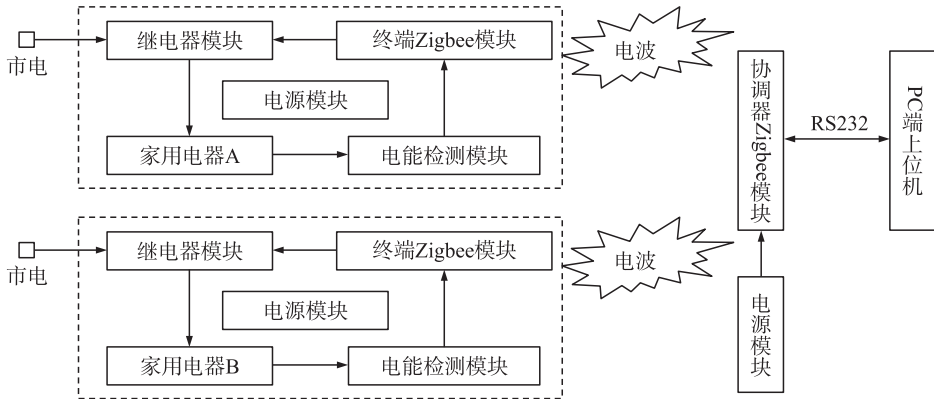


图 1 系统硬件结构图
Fig.1 The structure of hardware system

1.1.1 电能检测模块

采用 ADE7755 作为电能检测模块的核心芯片,其具有较高的性价比,在 500:1 的动态范围内误差小于 0.1%^[3],完全能够满足家庭环境下对计量精度的要求.它对来自电压和电流传感器的信号进行采样,并产生电能计量脉冲 CF 以较高频率形式输出有功功率瞬时值,频率 f 的计算公式为:

$$f_{CF} = \frac{8.06 \times V_1 \times V_2 \times G \times F_{1-4} \times K}{V_{REF}^2}, \tag{1}$$

式中, V_1 、 V_2 分别为电流通道和电压通道输入端的差动电压值; G 为电流通道的可编程放大器增益,其值为 8; F_{1-4} 为逻辑输入 S_1 、 S_0 设置的主频常数,其值为 6.8 Hz; K 为由逻辑输入 SCF、 S_1 和 S_0 共同设置的倍频系数,其值为 16; V_{REF} 为片内基准电压,其值为 2.5 V,脉冲信号通过光耦之后送给 Zigbee 模块进行电能计量.

1.1.2 终端 Zigbee 模块和协调器 Zigbee 模块

CC2430 集成了高性能低功耗的 8051 微控制器内核和业界领先的 CC2420 无线电内核,片上资源丰富、使得无论是处于协调器位置的网络节点,还是处于网络末梢的终端节点,其硬件结构都非常简单、可靠、实用.

终端 Zigbee 模块和协调器 Zigbee 模块硬件结构基本一致,但是主要的功能不同:终端 Zigbee 模块对电能检测模块发送过来的脉冲采取的是定时中断计数处理机制,即 8 位定时器 3 用于产生设定的定时时间,16 位计数器 1 通道 2 用于对脉冲进行中断计数.根据电能检测模块参数的设置,采集过来的脉冲和电量的转换关系为 1 个脉冲相当于 0.000 125 KWh 的电量;协调器 Zigbee 模块主要用于构建星形网络,收集各个终端 Zigbee 模块采集的数据,与 PC 端上位机软件进行通讯.

CC2430 具有两种外接时钟及 4 种工作模式的超低功耗特点,为了降低系统运行时的功耗,设计中采用了睡眠/唤醒机制,正常情况下终端节点处于睡眠状态(32.768 kHz),只有当协调器节点与终端节点进行通信时,终端节点才使用 32 MHz 晶振^[4].

1.1.3 继电器模块

在终端节点加入了继电器模块,其通过光耦与 Zigbee 模块相连,用户可以通过 PC 终端的软件操作实现对无线网络中家用电器开或关.

1.1.4 电源模块

电能检测模块和继电器模块采用的是市电经过降压、稳压并经过 78L05 芯片转换过来的电源,在市电断电的时候,电能检测模块和继电器模块并不需要工作,它们会自动地断掉,在市电供应正常的情况下,它们会获得经市电转换过来的工作电源.

由于终端 Zigbee 模块即使在市电断掉的情况下也需要工作,所以终端节点采用的是锂电池进行供电,在终端节点正常工作的情况下,一块锂电池充满电能够工作 3 个月左右的时间.锂电池采取的是自动

充电机制,不需要人工进行干预,在 P0_0 口设置了自动检测锂电池电量电路,当锂电池电量低于设定的值时,锂电池可以通过市电转换过来的电源进行自动充电处理,从而保证了终端节点的连续工作时间。

协调器节点处于整个星形无线网络中的核心环节,如果协调器节点不能够正常工作,那个整个网络也将瘫痪^[5],所以协调器节点采取的是市电转换电源和锂电池双电源供电机制,在市电正常供应的情况下,采用市电转换电源进行供电,当市电断电时锂电池能够进行供电,锂电池的充电也通过市电转换电源进行,这在最大程度上保证了协调器节点的工作。

1.1.5 串口通信模块

为了实现系统能够与 PC 机的上位机软件进行通讯,也为了系统将来能够和嵌入式网关模块进行通讯,在协调器节点加入了 UART 串口通信模块,采用的核心芯片是 MAX3232。

1.2 软件系统的设计

软件系统主要包括 3 个方面的内容:终端节点模块软件、协调器节点模块软件和 PC 端上位机软件。其中终端节点模块软件和协调器节点模块软件是以 TI 公司开发的 Z-Stack 协议栈为基础进行设计开发的,也是本系统的重点内容。

Z-Stack 协议栈整体架构由物理层(PHY)、协议栈网络层(MAC)、控制层(NWK)、协议栈网络层安全服务规范层(SSS)、设备对象(ZDO)、应用支持子层(APS)和协议栈应用层(APL)层构成,各层之间通过相互提供的接口进行通信。Z-Stack 是利用操作系统的思想构建起来的^[6],采用事件轮询机制^[7]。首先系统对硬件进行初始化,随后对协议栈的各个层进行初始化,系统进入低功耗模式,当事件发生时唤醒系统,开始进入中断处理事件,结束后继续进入低功耗模式,如果同时有几个事件发生,则先判断优先级,逐次处理事件^[8]。PC 机端上位机软件采用虚拟仪器图形化编程语言 Labview 进行设计开发。

1.2.1 协调器节点软件设计

协调器节点软件设计的主要任务是:接收来自 PC 端上位机软件通过串口发送过来的指令,然后将指令通过 Radio 发送给终端节点执行;收集各终端节点采集的数据再通过串口发送给 PC 端上位机软件进行处理^[9],操作的流程如图 2 所示。

1.2.2 终端节点软件设计

终端节点软件设计的主要任务是接收协调器节点发送过来的操作指令,去执行电能计量或者继电器的开关操作,然后将采集的数据通过 Radio 发送给协调器节点,让其传送给 PC 上位机软件进行处理,操作的流程如图 3 所示。

1.2.3 PC 端软件设计

PC 端软件开发环境为图形化编程语言 Labview 8.2^[10],软件界面如图 4 显示。
通过 PC 端软件控制:可以即时的控制网络中节点电器的开关;能够即时的采集网络中各个节点电器的用电信息;可以设定网络中节点电器的条件关闭:可以通过定时时间关闭;也可以通过设定用电量的多少进行关闭。

2 试验

本文提出了一种新的基于 Zigbee 技术的电能检测系统,并且给出了系统硬件和软件的设计方案,目前系统在实验室以额定功率为 750W 的饮水机作为电器进行测试,PC 端上位机软件监测到的数据如表 1 所示。

表 1 饮水机电能检测数据
Table 1 The test data of drinking fountains

测试时间/min	5	10	30	60
测得数据/(W·h)	61	123	370	745
测试时间/h	2	5	10	12
测得数据/(kW·h)	1.45	3.6	7.25	8.65

经过实际的测试,系统所测得的数据和电器实际消耗的电量基本一致,具有较高的可靠性与实用性,终端节点模块实物如图 5 所示。

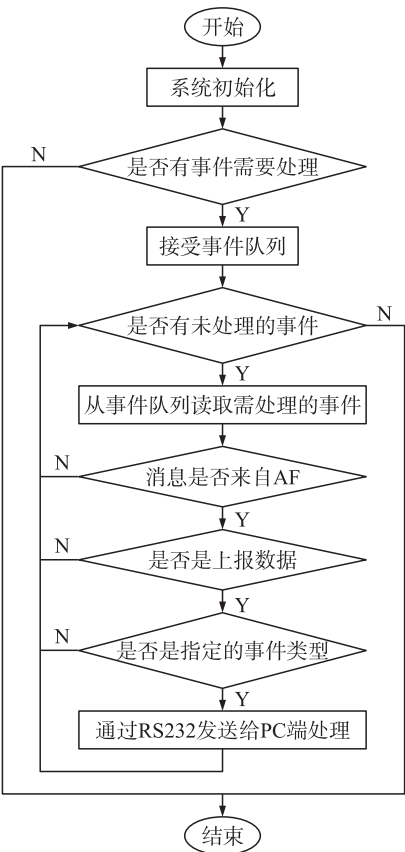


图 2 协调器节点工作流程图

Fig. 2 Working flow chart of the coordinate node

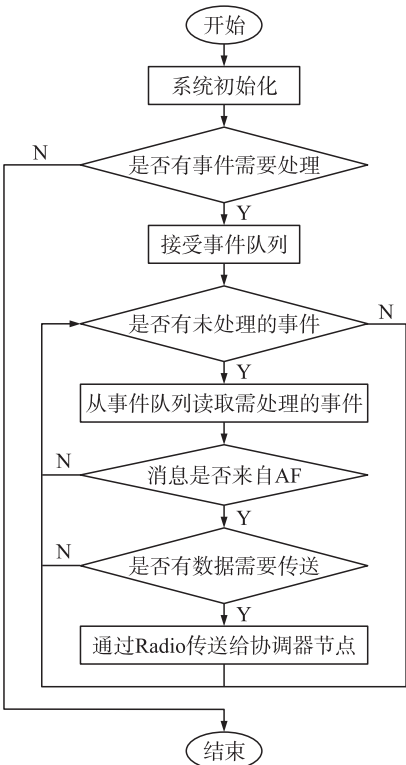


图 3 终端节点工作流程图

Fig. 3 Working flow chart of the terminal node

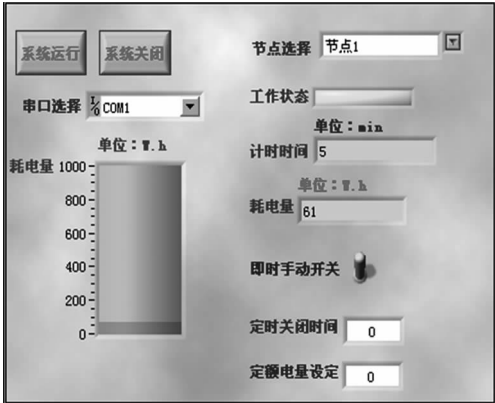


图 4 PC 端上位机软件界面

Fig. 4 Software interface of the host computer

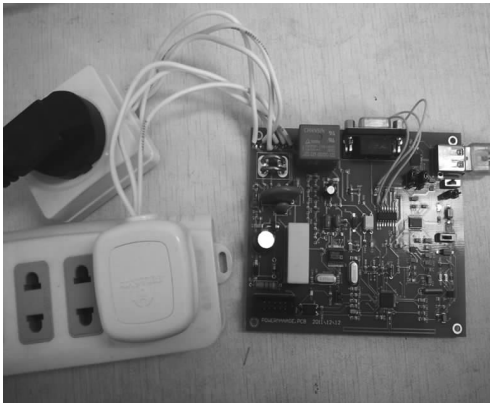


图 5 终端节点模块

Fig. 5 The module of terminal node

3 结语

本文设计了一套基于 Zigbee 技术的电能检测系统,有效地解决了目前市场上家用电器电能检测没有联网的问题,也克服了家用电器电能检测联网存在的布线困难、扩展性差与成本高的缺点。下一步我们将在系统增加嵌入式网关模块,实现家用电器用电信息的远程检测与控制。

[参考文献]

[1] Barker N. ZigBee and Bluetooth strengths and weakness for industrial applications[J]. Computing and Control Engineering Journal, 2005, 16(2) : 20-25.

(下转第 55 页)

化降解罗丹明 B 的光催化活性最高.

[参考文献]

[1] Xu Y,Schoonen M A A. The absolute energy position of conduction and valence bands of selected semiconducting minerals [J]. Am Mineral,2000,85:543-556.

[2] Zhang L S,Wang W Z,Yang J,et al. Sonochemical synthesis of nanocrystallite Bi_2O_3 as a visible-light-driven photocatalyst [J]. Appl Catal, A:General,2006,308:105-110.

[3] He W D,Qin W,Wu X H,et al. The photocatalytic properties of bismuth oxide films prepared through the sol-gel method[J]. Thin Solid Films,2007,515:5 362-5 365.

[4] Jha R K,Pasricha R,Ravi V. Synthesis of bismuth oxide nanoparticles using bismuth nitrate and urea[J]. Ceram Int,2005,31(3):495-497.

[5] 何伟明,甄强,潘庆谊,等. 反向滴定法制备超细氧化铋粉体的研究[J]. 功能材料,2003,6(34):702-703,706.

[6] 王云燕,秦毅红,周伟,等. 共沸蒸馏法制备 Bi_2O_3 微细粉的研究[J]. 涂料工业,2001(1):13-17.

[7] 陈代荣,谢经雷,李博,等. $\text{Bi}(\text{OR})_3$ 作前驱体合成 Bi_2O_3 微粉($\text{R}:\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_3,\text{CMe}_2\text{Et}$) [J]. 山东大学学报:自然科学版,1997,32(1):88-93.

[8] 韩俊鹤,欧慧灵,廖鹏,等. 表面修饰的 Bi_2O_3 纳米微粒的光学特性[J]. 河南大学学报:自然科学版,2001,31(3):14-16.

[9] 杨群保,李永祥,殷庆瑞,等. Bi_2O_3 晶须的水热合成研究[J]. 无机材料学报,2002,17(5):979-984.

[10] Yu Jimmy C,Xu A W,Zhang L Z,et al. Synthesis and characterization of porous magnesium[J]. J Phys Chem B,2004,108(1):64-70.

[11] 李清文,李娟,夏熙,等. 纳米 Bi_2O_3 微粒的固相合成及其电化学性能的研究[J]. 化学学报,1999,29(5):491-495.

[12] Huang Q Q,Zhang S N,Cai C X,et al. β - and α - Bi_2O_3 nanoparticles synthesized via microwave-assisted method and their photocatalytic activity towards the degradation of Rhodamine B[J]. Materials Letters,2011,65:988-990.

[13] 邹文,郝维昌,信心,等. 不同晶型三氧化二铋可见光光催化降解罗丹明的研究[J]. 无机化学学报,2009,25(11):1971-1976.

[责任编辑:顾晓天]

(上接第 42 页)

[2] 陈琦,韩冰,秦俊伟. 基于 Zigbee/gprs 物联网网关系统的设计与实现[J]. 计算机研究与发展,2011,48(6):367-372.

[3] 马彪. 基于 ADE7755 的公寓电能计量管理系统设计[J]. 计算机工程,2007,32(5):202-204.

[4] 杨柳,毛志怀,蒋志杰. 基于无线传输的粮仓温湿度远程检测系统[J]. 农业工程学报,2012,24(5):155-159.

[5] 胡培金,江挺,赵燕东. 基于 Zigbee 无线网络的土壤墒情监控系统[J]. 农业工程学报,2011,44(7):230-234.

[6] Texas Instruments. CC2430 PRELIMINARY DataSheet (rev. 2.01) [Z]. Dallas:Texas Instruments,2006.

[7] ZigBee Alliance. Zigbee Technical Overview[Z]. New York:Zigbee Alliance,2007.

[8] Martinez-Alvarez R P,Rodriguez-Silva. Low cost remote effort monitoring with wearable accelerometers[J]. Consumer Communications and Networking Conference,2009,13(2):1-2.

[9] Lee J H, Lee E S, Kim D S. Network joining algorithm for mobile nodes in sensor networks [J]. Computer Sciences and Convergence Information Technology,2010,22(5):836-839.

[10] 关旭,张春梅,王尚锦. 虚拟仪器软件 Labview 和数据采集[J]. 微机发展,2004,33(4):77-79.

[责任编辑:顾晓天]