

基于 ZigBee PRO 协议的无线 中央空调计费系统 *

王 瑛, 孙 晖 *

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 为解决传统的基于能量型计费的中央空调计费系统由于线路铺设造价高等问题, 将无线传感技术应用于中央空调计费系统中。首先提出了基于 ZigBee PRO 协议、互联网通信方式相结合的设计方案, 然后根据方案自行设计了中央空调采集温度的电路, 并采用 IAR Embedded Workbench 软件编写了无线数据传输程序, 最后对采集的数据进行了节点运算, 得出了具有一定工程指导价值的结论。实际应用结果表明, 该方案实现了整个系统无线化计费, 优化了管理, 节省了空间。

关键词: 中央空调计费系统; ZigBee PRO 协议; 互联网通信; 无线化计费

中图分类号: TN915; TM13

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)12-1527-04

Wireless central air conditioning billing system based on ZigBee PRO

WANG Ying, SUN Hui

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: In order to solve the problem of the high cost of laying lines in the energy-based central air conditioning billing system, a wireless technology was investigated in central air conditioning billing system. A design based on ZigBee PRO agreement and the Internet communications' technology was firstly presented. Then a circuit, which is applied to acquire temperature, was designed according to the project and the wireless transmission part was implemented with the IAR Embedded Workbench software. The system's function was tested. The experimental results show that the program implements the entire wireless billing system which can realize wireless charging, optimize the management and save space.

Key words: central air conditioning billing system; ZigBee PRO agreement; Internet communications' technology; wireless charging

0 引 言

目前,我国节能减排任务十分艰巨,其中,建筑耗能总量在我国能源消费总量中的份额已超过 27%^[1]。据相关部门预测,到 2020 年建筑能耗耗电将达 1.26×10^{12} kWh^[2]。而中央空调能耗占建筑能耗的 40% 左右^[3],因此,加强公共建筑的中央空调节能对贯彻节能减排政策具有非常重要的作用。

现在常用的中央空调分户计量的主要的计量方式有以下几种:电表计量、纯时间计量、能量表、时间

型计量器^[4]。其中,能量型计费最为精确科学,但是成本也最高。

现有的能量型计费系统大多采用总线制通信方式实施计费^[5],在埋设通信线路需要花费大笔资金,有些场合也缺乏埋设的条件;此外,基于总线的计费系统布置在投入使用后的维护中也有诸多不便。所以,采用近距离、低复杂度、低功耗、低数据速率、低成本^[6]的无线传感器网络通信技术设计中央空调计费系统以改进现有的中央空调计费系统有重要意义。

本研究拟设计基于 ZigBee PRO 协议并与互联网

收稿日期: 2011-06-15

基金项目: 浙江省大学生科技创新活动计划(新苗计划)资助项目(547)

作者简介: 王 瑛(1990-),女,湖北武汉人,主要从事电力系统及其自动化、ZigBee 无线网络方面的研究。E-mail: wangying1080@126.com

通信联系人: 孙 晖,男,副教授。E-mail: sunroam@188.com

相结合的无线中央空调计费系统,以实现中央空调低成本、远距离计费。

1 基于 CC2530 的无线传感器网络技术

CC2530 是美国 TI 公司 2009 年下半年推出的第二代兼容 IEEE 802.15.4 的片上系统,支持 ZigBee、ZigBee PRO 和 ZigBeeRF4CE 标准^[7]。它能够以较低的成本建立强大的网络节点。CC2530 结合了领先的 RF 收发器的优良性能,集成了业界标准的增强型 8051 CPU 并拥有多达 8 KB 的 RAM 以及 256 KB 的 Flash 空间。

由于无线传输距离受空间结构的影响,在恶劣的电磁环境下容易受干扰。与上一代相比,除了封装更小,CC2530 还改进了 RF 输出功率、选择性,它具有极高的接收灵敏度和强壮的抗干扰性能,大大提高了无线传输的可靠性。可编程的输出功率高达 4.5 dBm,只需极少的外接元件,并且只需一个晶振,即可满足构成网状网络系统的要求。

CC2530 所采用的 ZigBee PRO 协议安全层要求在节点加入网络时,一定要支援高安全模式(High Security Mode)^[8],如图 1 所示。当节点加入网络,信托中心(TC)会先配一把万能金钥(Master Key)给新加入的节点,然后,新加入的节点再用这把万能金钥通过 AKKE 的流程,与网络中的任何节点建立连接金钥(Link Key),最后再利用连接金钥加密后产生一把网络公用的网络金钥,所以具有较强的安全性。

2 设计方案

2.1 基本原理

基于 ZigBee 的能量型中央空调计费系统的结构图如图 1 所示。

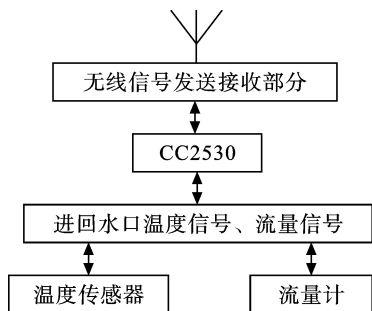


图 1 基于 ZigBee PRO 的能量型中央空调计费系统的结构图

该系统适用于定流量的中央空调系统,在用户的供、回水管道上各安装一支温度传感器,利用热力学热量计算公式为:

$$Q = C_w \int_{\tau_1}^{\tau_2} (t_1 - t_2) G_w d\tau \quad (1)$$

式中: Q —用户总的冷量, kJ; t_1 —空调末端冷冻水进口温度, °C; t_2 —空调末端冷冻水出口温度, °C; C_w —冷冻水的比热, J/(kg·°C); G_w —冷冻水质量流量, kg/s; τ —空调运行时间。

2.2 系统总体布局图

基于 ZigBee PRO 的中央空调计费系统布局图如图 2 所示。

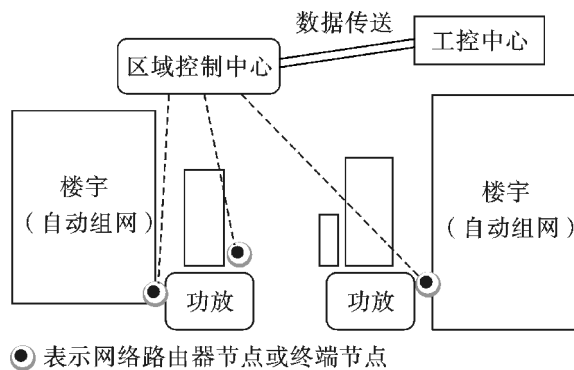


图 2 基于 ZigBee PRO 的中央空调计费系统布局图

工控中心或者区域控制中心向各网络节点发送数据的请求,各协调器进行路由搜索,如果 ID 匹配,则向终端节点请求数据。每个楼宇内部各网络终端节点收到工控中心的指令后,实时发送命令给采集模块,取得温度信息,将这些信息发送至本栋大楼的网络路由节点。各个网络路由节点将封装好的数据发送至区域控制中心。部分楼宇(如整栋楼为一个公司的楼宇)由于只有一个中央空调计费系统,它本身即是一个终端节点,它们可以直接向区域控制中心发送数据。各个终端节点将资料输入区域控制中心后,区域控制中心再将数据通过互联网发送至工控中心进行计费。分区域控制中心和工控中心的好处是将局部管理和总体管理结合起来,方便查找检修点,并大大扩大了网络覆盖范围。

2.3 拓扑结构与路由方式

该系统采用簇状网络拓扑结构。相对于网状拓扑结构,构建簇状网络比较简单,所需要的资源相对较少,并且可以实现网络路由的转发功能,扩大了网络的通信范围。

ZigBee PRO 协议和 ZigBee 协议相比较,增加了一对多路由、多对一路由及源节点路由。该系统采用的一对多路由,由路由节点发送路由请求,收到封包的节点会检查群组身份表(Group ID Table, GIDT),GIDT 由当地端设定,如果属于相同的群组身份就会回传路由回应,如果不属于同一个群组,就会检查路由表,把封包往下一个节点传送。如果检查到是属于自己的封包,就会将自己的状态改为会员模式,然后再将

封包以广播方式发出,确保同一个群组的节点能够接收到这笔资料。该系统以一栋大楼为一个群组进行发送,当然,为了避免这个广播的封包在网络上一重重复传送,当节点的状态为会员模式时,会检查广播传送表,以确保不再重复传送同样的封包。

2.4 硬件设计

测温部分采用了热电偶 Pt100, 该温度传感器的主要技术参数如下:测量范围: $-200\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+850\text{ }^{\circ}\text{C}$; 允许偏差值 Δ (单位: $^{\circ}\text{C}$): A 级 $\pm(0.15+0.002|t|)$, B 级 $\pm(0.30+0.005|t|)$; 热响应时间 $<30\text{ s}$; 最小置入深度: 热电阻的最小置入深度 $\geq 200\text{ mm}$; 允通电流 $\leq 5\text{ mA}$ 。另外, Pt100 温度传感器还具有抗振动、稳定性好、准确度高、耐高压等优点。Pt100 测温原理图如图 3 所示。

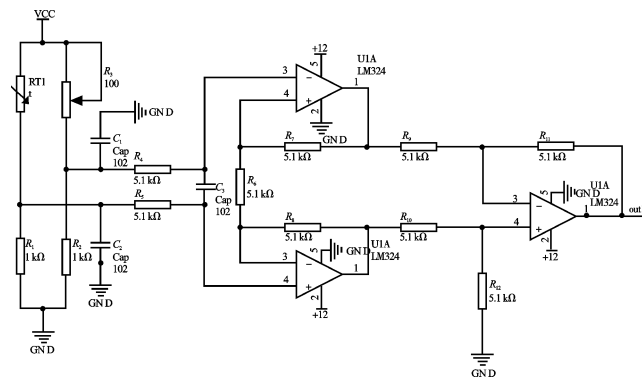


图 3 单个温度采集模块

当温度发生变化时, Pt100 的电阻值发生变化, C_3 两端电压会发生改变, 经放大电路放大后, 再由 A/D 转换电路转换为数字量。中央空调进出水口温度差一般在 $4.5\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间, 范围在 $5\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 45\text{ }^{\circ}\text{C}$, 铂电阻值在 $98.044\text{ }\Omega\sim 117.47\text{ }\Omega$ 之间变化, 这样, 当 $VCC=5\text{ V}$ 时, 温度每变化 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 电压差变化是 x 的函数(单位: mV): $0.5\times 0.038\ 51\times 5\times 1\ 000/(1\ 000+x)$, 其中, $98.044\leq x\leq 117.47$, $0.038\ 51$ 为 Pt100 阻值随温度变化曲线的斜率, 当 $x=117.47$ 时电压差最小, 为 0.086 mV , 由于放大倍数为 30, 输入 A/D 转换器的最小差值为 $0.086\times 30=2.58\text{ mV}$ 。通过反推可以得到铂电阻的阻值, 再根据铂电阻分度表可得到温度值。

由于温度采集模块是在进水口和出水口两处测

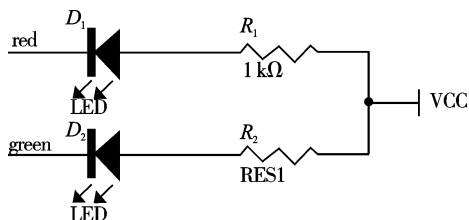


图 4 二极管区分电路

取温度值, 本研究为区分温度采集电路, 选择采用红绿发光二极管进行判断。二极管区分电路如图 4 所示。

该系统采用的温度采集模块所需的成本价格低廉, 精度高。

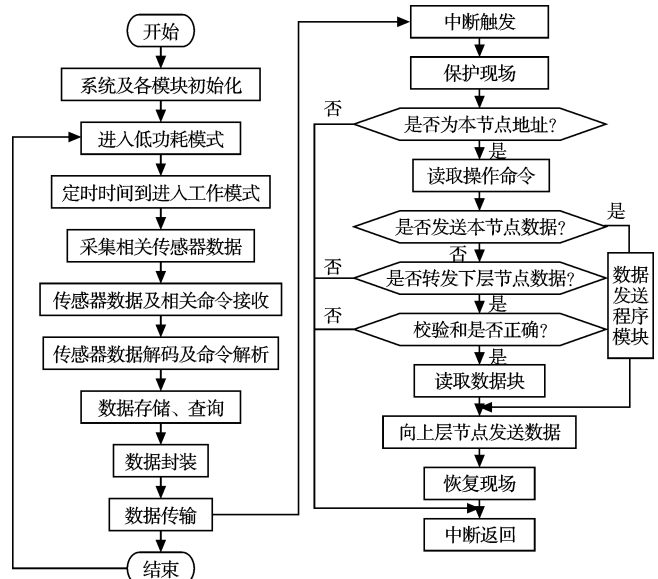


图 5 传感器节点的工作程序流程图

2.5 软件设计

传感器节点的工作程序流程图如图 5 所示。

系统首先初始化, 然后进入休眠状态, 工控中心定时发送指令给各节点传感器让传感器采集数据, 待数据采集完毕, 将温度信息的模拟量转换为数字量, 发送至网络路由器, 路由器负责数据存储、查询、封装。中断触发, 区域控制中心网络协调器等上层节点进行路由搜索, 接收路由请求命令帧, 等待接收各路由的回应, 如果 ID 匹配, 则发送读取命令, 等待路由节点发送数据应答包。路由节点此时将温度信息发送至上层, 部分路由节点下面也有节点, 这时要做转发下层节点的工作。待数据应答包完全传送至上层节点(如协调器), 中断返回。

本研究通过 ZigBee PRO 无线网络传送数据到区域控制中心协调器后, 进行温度的数据解析, 将数字量转换为原来的模拟量再进行积算。由于采样的是离散点, 采用牛顿差值计算的方法设给定 n 个插值结点 $x_0, x_1, \dots, x_{n-1}$ 及其对应的函数值 $y_0, y_1, \dots, y_{n-1}$, 为了用 m 点插值公式计算 x 点的函数值 $y(x)$, 从给定的 n 个插值结点中选取最靠近 x 且尽量使 x 位于其中心的 m 个插值结点: $x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+m-1}$ 。具体地, 就是确定 i , 使得:

$$|t-(x_i+x_{i+m-1})/2| = \min_{0 \leq p \leq n-m} |t-(x_p+x_{p+m-1})/2| \quad (2)$$

构造差商表, 可以得出:

$$\left\{ \begin{aligned} f[x_{i+k}, \dots, x_{i+k+\delta}] &= \frac{f[x_{i+k+1}, \dots, x_{i+k+\delta}] - f[x_{i+k}, \dots, x_{i+k+\delta-1}]}{x_{i+k+\delta} - x_{i+k}} \\ l &= 1, \dots, m-1; k=0, \dots, m-1 \end{aligned} \right. \quad (3)$$

再利用差值公式:

$$N(t) = f[x_i] + f[x_i + x_{i+1}](t - x_i) + \dots + f[x_i, \dots, x_{i+m-1}](t - x_i) \dots (t - x_{i+m-1}) \quad (4)$$

得出连续的函数 $N(t)$, 再进行积分运算, 得出冷量的曲线 $Q(t)$ 。之后, 区域控制中心将运算之后的数据通过互联网发送至工控中心。

3 实验结果

经过以上步骤, 本研究使用基于 ZigBee PRO 协议构建的中央空调计费系统就可以运行了, 将协调器节点连接到监控 PC 的串端, 打开越级终端, 读取由协调器节点汇集的来自路由器和终端设备的温度数据, 实时地读取到各个监控节点的唯一的 16 位短地址, 用以判断每个节点数据的唯一性。实验中采取了 4 个节点, 运行的数据结果如表 1 所示。

表 1 各个节点的温度数据信息

地址	进水口水温/℃	出水口水温/℃
0x796F	9.0	14.0
0x7970	10.0	14.5
0x7971	43.0	38.5
0x7972	45.0	40.0

选取节点 1 在 3.5 min 中的 7 组数据如表 2 所示。

表 2 节点 1 的温度采集数据

地址	进水口温度/℃	出水口温度/℃
0x796F	9.0	14.0
0x796F	10.0	14.5
0x796F	9.0	14.0
0x796F	9.0	14.0
0x796F	9.5	14.0
0x796F	9.5	14.5
0x796F	9.0	14.0

根据中央空调运行参数可设流量为 $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$, 即 100 kg/s , 由冷量计算公式, 可以得出:

$$N(t) = \frac{5x^4}{132} - \frac{169x^3}{396} + \frac{383x^2}{264} - \frac{8431x^3}{5544} + \frac{359}{132} \quad (5)$$

根据冷量公式, 能量积算结果为:

$$Q(t) = \frac{7350x^5}{11} - \frac{207025x^4}{22} + \frac{469175x^3}{11} - \frac{1475425x^2}{22} + \frac{4843650x}{11} \quad (6)$$

4 结束语

该方案采用无线传感器网络和互联网相结合的方法, 省去了现有的能量积算仪及用于计费所需的线路的全部费用, 大大减少了在设备初期投资和维护的开支, 同时实行区域控制与总控相结合, 优化了管理, 扩大了监控计费范围, 实现了整个系统无线化计费, 并美化了环境, 节省了空间。目前, 该中央空调计费系统已经在小范围内试点, 取得了不错的效果。

参考文献(References):

- [1] 孙海胜. 我国建筑能耗的现状与解决对策研究[J]. 中国新技术新产品, 2009, 4(9): 153.
- [2] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能 2007 年度发展研究报告[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [3] 李志生, 李冬梅, 梅 胜, 等. 夏热冬暖地区办公建筑能耗模拟与分析[J]. 节能技术, 2006, 24(6): 483-486.
- [4] 赵迪虎. 浅谈中央空调计费系统的应用 [C]// 全国暖通空调制冷 2008 年学术年会. 重庆: [出版者不详], 2008.
- [5] 龚荣盛, 张阿卜. 基于 RS-485 总线的中央空调计费系统[J]. 自动化仪表, 2002, 23(9): 51-52.
- [6] HAFEZ A A, DESSOUKY M A, RAGAI H F. Design of a low-power ZigBee receiver front-end for wireless sensors [J]. **Microelectronics Journal**, 2009, 40(11): 1561-1568.
- [7] TEDESCHI M, LISCIDINI A, CASTELLO R. Low-power quadrature receivers for ZigBee (IEEE 802.15.4) applications [J]. **IEEE Journal of Solid State Circuits**, 2010, 45(9): 1710-1719.
- [8] 李文仲, 段朝玉. ZigBee2007/PRO 协议栈实验与实践[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009.

[编辑: 李 辉]