

# 基于 ZigBee 技术的智能楼宇环境监测系统的设计\*

赵文静, 秦会斌\*, 吴建锋, 胡炜薇  
(杭州电子科技大学 电子信息学院, 浙江 杭州 310018)

**摘要:** 为了实现节能、可靠的楼宇环境监测, 提出了一种基于混合式拓扑结构的 ZigBee 无线网络系统, 设计了以无线射频芯片 CC3430 为核心的传感器节点, 使用阈值触发和休眠机制实现了节能, 并对终端节点的电池使用时间进行了估算。实验结果表明, 该楼宇环境监测系统的通信可靠, 节点功耗低, 能满足长时间工作的要求。

**关键词:** ZigBee; 环境监测; 智能楼宇

中图分类号: TN919.72

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)08-0114-04

## Design of intelligent building environmental monitoring system based on ZigBee

ZHAO Wen-jing, QIN Hui-bin, WU Jian-feng, HU Wei-wei  
(School of Electronics Information, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Aiming at robustness and energy conservation of intelligent building environmental monitoring, an ZigBee wireless network system using a mixing topology structure was presented. The sensor node was designed on the basis of RF CC2430. The energy-saving was achieved by mechanisms of threshold-values trigger and node sleeping. The battery using time of terminal node was estimated. The test results indicate that, depending on low-power nodes and stabilized communication this system can meet the requirement of long time stable working.

**Key words:** ZigBee; environmental monitoring; intelligent building

## 0 引 言

楼宇自动化管理系统由各类相关又相对独立的子系统构成, 最基本的子系统是能源控制管理子系统和安防管理子系统。能源控制管理系统的功能主要是对空调、照明、供水等应用的管理, 以使在控制成本的基础上实现楼宇内舒适的工作环境; 安防系统的功能主要是防范火警和盗窃等事件<sup>[1]</sup>。

系统功能的实现需要获得大量环境数据作为调控基础, 现阶段这些数据主要依靠各种功能的传感器获得。随着环境监测功能的增多, 所需的传感器数量也急剧增加。使用有线传感器组成的监测网络布线量大、安装和维护费用高、可靠性差, 并且在复杂建筑物中的某些地方无法布线。而无线传感器监测网络具有

耗资小、安装和维护方便、运行和更新费用低等优势<sup>[2]</sup>, 相对于有线传感器网络, 在楼宇内的环境监测方面具有更好的应用前景。

本研究结合无线传感器网络技术和 ZigBee 无线协议技术, 设计一种楼宇环境监测系统。该系统通过获取建筑中温湿度、光强和红外等环境参数, 为楼宇管理系统提供可靠信息。

## 1 设计方案

### 1.1 监测参数选择

建筑物环境信息监测的参数种类有很多, 结合能源控制管理子和安防系统的功能, 本系统选择温(湿)度、光强、红外参数进行监测<sup>[3]</sup>。

温度和湿度采集为空调控制提供了房屋环境的详

收稿日期: 2009-12-02

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(Y1080589)

作者简介: 赵文静(1986-), 女, 山东泰安人, 硕士研究生, 主要从事新型电子器件设计与应用方面的研究. E-mail: zhweijing@hotmail.com

通信联系人: 秦会斌, 男, 教授. E-mail: qinhuibin@sina.com

细信息,使其可以根据时段、区域等因素,采用合理的自控调节及一定的手动调节来实现对温湿情况的调节控制,满足建筑节能要求。例如,建筑物内部由于日照的关系,温、湿度分布多不均匀,北面房间相对湿冷,在接受到终端节点采集的数据后,管理系统可通过改变不同风口的送风量进行调节。系统还可通过温度数据的采集防范火灾险情。

光强采集模块能采集房间内的光线强度,红外模块能判断是否有人停留于房间中,两种参数结合,为管理系统调整室内的照明模式提供依据。如在非工作时间室内照明未关闭时,可在判断无人的情况下提醒控制系统关闭照明。此外红外数据的采集还可起到防盗作用。

## 1.2 系统架构

整个环境监测系统由监控主机和 ZigBee 网络组成,如图 1 所示。

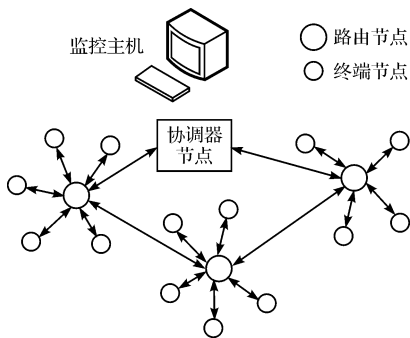


图1 系统结构示意图

ZigBee 定义了3种设备类型:协调器、路由节点和终端节点,其中终端节点不具有路由功能,在不发射和接收数据时可以休眠。以此为基础,ZigBee 网络构建了3种拓扑结构:星型拓扑、网状(mesh)拓扑和树状拓扑。星型拓扑中,所有终端节点都和唯一的路由节点通信,终端节点之间的通信需要通过路由节点的转发;树形拓扑是多个星形拓扑地集合;Mesh 拓扑中,任意两个设备在有效通信距离内都能直接互相通信,节点有多条路径到达其他节点,有自组织、自修复的能力,当某条链路发生故障时,节点能寻找到其他路径进行传输,但星状网络功耗较大,因为节点需要不断监听网络路径信息,长时间处于工作状态<sup>[4]</sup>。

为延长节点的使用寿命和简化网络复杂性,系统终端节点和路由节点之间采用星型拓扑,而路由节点和协调器节点间采用 mesh 拓扑。

由于室内无线通信信道不同于室外信道,建筑物布局、建筑材料和其他干扰源会严重影响信号传输。在微波波段,砖和厚混凝土墙对信号有显著的吸收作

用,大的金属障碍物会使信号衰减,而无线电话、蓝牙、Wi-Fi 设备也会产生干扰。根据实验,户外收发距离达120 m以上的模块,在室内进行测试时,有一层普通砖墙阻碍时的收发距离是 10 m,有一层混凝土墙阻碍时收发距离仅有 5 m 左右。为使传感器网络能较好地覆盖整个监测区域,需要合理安排传感器节点的数量和位置。

系统节点布置的一个示意图如图 2 所示。考虑到室内传输距离,易在每个房间内皆设置路由节点,整栋楼宇的路由节点组成一个 mesh 网络,与唯一的协调器相连。由于办公房间隔墙多是砖墙,楼层之间为钢筋混凝土,在同一楼层内通信的路由节点距离可布置较远,在不同楼层间通信的路由节点距离需布置较近。在本系统中,红外传感器设置在房间中心位置的节点上,远离温度变化频繁的区域,与非涅尔透镜配套使用;光强传感器设置在窗户附近;温、湿度传感器设置在剩余节点上。

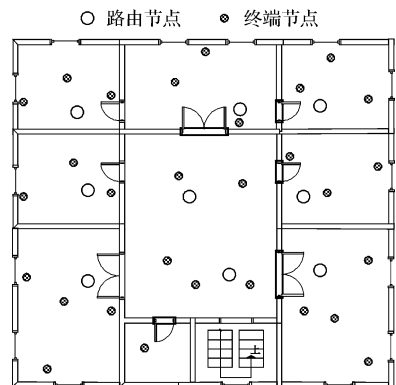


图2 楼层节点放置示意图

## 2 系统实现

### 2.1 电路设计

为了调试方便,节点的 RF 模块与数据采集模块分开设计,它们之间以排针的形式插连在一起。RF 模块采用 TI 公司的 CC2430 芯片<sup>[5]</sup>,它包含了一个 CC2420 射频收发器和一个 8051 微处理器内核。数据采集模块主要负责监测区域内信息的采集,将各种传感器采集的信号转变为数字信号并传送给 RF 模块<sup>[6]</sup>。

路由器节点和终端节点硬件结构相似,由相同的数据采集模块和射频模块组成,但终端节点通过电池供电,路由器使用 USB 供电和交流供电。路由器电源模块如图 3 所示。

直流电源插座通过二极管连接到电源开关,另一

路 5 V 电源来自于 USB 接口,也通过二极管连接到开关。电源开关连接后,5 V 直流电压首先通过发光二级管 LED1,标志电源导通。再经滤波电容到达低压降线性稳压器芯片 TPS79933,该芯片将 5 V 直流电压转化为稳定的 3.3 V 直流电压输出供电<sup>[7]</sup>。

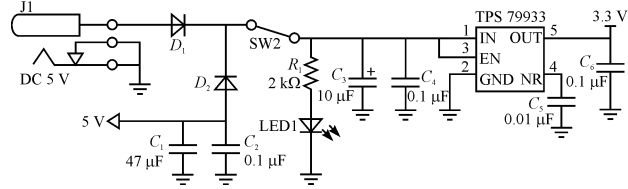


图 3 路由器电源模块原理图

人体红外监测模块选用的传感器是热释电红外传感器。热释电红外传感器能将检测到的人或动物的红外线转换成电信号输出。其原理为:当一些晶体受热时,在晶体两端会产生数量相等而符号相反的电荷,这种由于热变化产生的电极化现象就是热释电效应。人体都有恒定的体温,会发出 10 μm 左右特定波长的红外线,被动式红外探头就是探测人体发射的红外线而进行工作的。本系统使用型号为 RE200B 的红外传感器,输出电压为 1 mV 左右,需要对输出信号进行处理。对传感器输出信号的处理系统中选用了红外热释电处理芯片 BISS0001,配以热释电红外传感器和少量外接元件构成被动式的热释电红外信号处理电路。

人体红外监测模块的电路原理如图 4 所示,CC2430 的 P0.1 端口通过一个电阻与 BISS0001 芯片的第 2 脚 VO 相连。当模块监测到有人体活动的时候,VO 输出高电平,否则都为低电平。配置 CC2430 的 P0.1 口的 I/O 外部中断功能,有上升沿脉冲来临的时候,外部中断唤醒,进行相应的数据处理,并将数据发给路由器节点。

光强采集模块采用硫化镉型光敏电阻 JY5516,它是一种光电导器件,具有光电导效应,受到光辐射以后,电导率会发生变化,引起其电阻值发生相应的变化,入射光变强,则电阻变小。光强采集电路如图 5 所示。

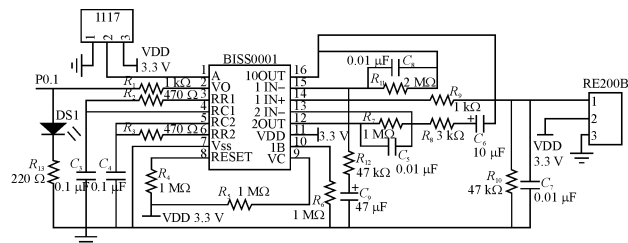


图 4 人体红外监测模块原理图

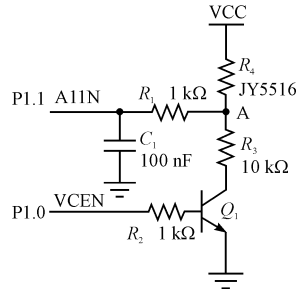


图 5 光强采集模块电路图

图 5 中,VCEN 为控制端,接至 CC2430 单片机上的 P1.0 口。当 P1.0 输出为高电平时, Q<sub>1</sub> 三极管 2SC9013 饱和导通,此时随着外界光强变化,A 点电压亦发生变化。A11N 连接到 CC2430 单片机的 P1.1 口,A 点光强信号所对应的特定电压信号,经 R<sub>3</sub> 与 C<sub>14</sub> 组成的消抖、低通滤波电路后送入 P1.1 口,再由 CC2430 启动内部 ADC 转变为数据信号。当 P1.0 输出为低电平, Q<sub>1</sub> 三极管 2SC9013 工作于截止状态,此时 R<sub>4</sub> 与 R<sub>5</sub> 中无电流流过,可起到适当节能的作用。

温度传感器节点使用 DS18B20 数字式温度传感器,封装选用 3 引脚方式,将数字信号输入/输出端 DQ,连接到 CC2430 的 P0.0 口,根据 DS18B20 时序图,对应写入其控制命令,就可完成温度的测量。

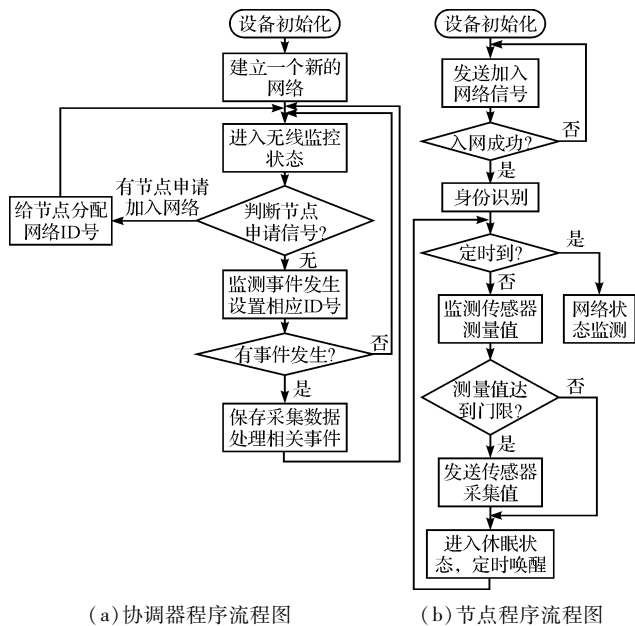
在本研究中,湿度传感器选用变容式相对湿度传感器 HS1101。该传感器湿敏电容的电容值会随着环境湿度的变化而发生相应的变化,从而使 555 振荡电路的输出频率也发生相应的变化。555 的引脚 3 的输出脉冲送到 CC2430 模块的 T0 脚,在设计该模块时,笔者将 T0 设为计数器,进行计算外部脉冲波形个数,将 T1 设为定时器,进行 1 s 计时。当单片机实现了 1 s 对脉冲波形的计数后,就得到了相应脉冲波形的频率。根据频率湿度对应表,就可计算出湿度值。

## 2.2 软件设计

整个系统的软件开发是在 TI 公司 Z-Stack 的基础上进行的。程序主流程图如图 6 所示。

网络协调器开始初始化,选择一个合适的信道。如果应用层已经确认了 PAN ID 参数,网络层将确保所给定的个域网标识符 PAN ID 不会与所选择的现有网络 PAN ID 参数产生冲突。一旦合适的信道和个域网标识符 PAN ID 确定后,网络管理实体将选择 0x0000 作为 16 位的短 MAC 地址,并且告知 MAC 层<sup>[8-9]</sup>。

节点上电之后会自动地加入网络,如果需要设备在加入网络之前先处理其他事件,可定义 HOLD\_AU-TO\_START 来实现。为了保持节点接入网络可靠性,节点将定时进行网络状态检查,将状态数据上报协调



(a) 协调器程序流程图

(b) 节点程序流程图

图 6 程序主流流程图

器,如果发现与上级设备连接丢失,节点将启动重新入网机制,从而再次加入网络,保证与协调器之间的联系稳定可靠。

为在不更换电池情况下延长节点使用寿命,在程序设计中笔者采用了休眠唤醒机制和阈值触发机制。休眠机制是降低节点功耗的常用手段,节点大部分时间都处于休眠状态,此时理论功耗小于  $1 \mu\text{A}$ ,通过定时唤醒或外部异常情况唤醒,采集数据并进行发送,发送完成,又重新进入休眠模式。本系统的监测性质使得终端节点可以周期性地工作和休眠,设定成  $1 \text{ s}$  唤醒一次。阈值触发机制是指是否发送监测数据取决于采集到的数据与触发门限的比较结果,当采集数据超出设定阈值时节点才发送数据。无线通信功耗是整个节点功耗的重要部分,而监测参数往往在异常情况下才有实用价值,如烟雾浓度的剧烈增加、温度的大幅下降等。合理安排数据传输能有效地降低节点功耗。

本系统的终端节点都是静态节点,位置固定,因此可以将某个节点采集到的数据与该节点位置一一对应起来,方便楼宇管理系统调控环境。Zigbee 网络设备有两种网络地址:一个是 64 位的 IEEE 地址;另一个是 16 位的短地址。64 位长地址是全球惟一的地址,并且终身分配给设备;短地址是当设备加入 Zigbee 网络时被协调器分配的。通过 TI 公司提供的 Smart RF Flash Programmer 软件修改网络设备的 IEEE 地址,可得到 IEEE 地址与单个传感器的对应关系。

### 3 实验结果

经过室内隔墙测试,本设计中的两个 ZigBee 射频

模块在距离  $9 \text{ m}$  内可以实现稳定传输,通信成功率达到  $97.8\%$ ,能够满足室内监测系统的组网要求。组网测试中,系统组网良好,子节点在上级路由节点失效时可成功转移到相邻的路由节点下。

在无数据传输时,终端节点两次休眠间工作时长为  $7.3 \text{ ms}$ ,平均电流约为  $18.1 \text{ mA}$ ;有数据传输时,节点两次休眠间隔为  $20.7 \text{ ms}$ ,平均电流约为  $23.9 \text{ mA}$ ;休眠时的电流仅为  $1.3 \mu\text{A}$ 。节点每秒采集 1 次数据,约 1 小时传输 1 次有效数据,每日能耗为:

$$\text{工作能耗: } (7.3 \text{ ms} \times 18.1 \text{ mA} \times 3\,599 \times 24) + (20.7 \text{ ms} \times 23.9 \text{ mA} \times 24) = 3.173 \text{ mAh}$$

$$\text{休眠能耗: } 1.2 \mu\text{A} \times (1\,000 \text{ ms/s} \times 300 \text{ s} \times 12 - 7.3 \text{ ms} \times 11 - 20.7 \text{ ms}) \times 24 = 0.028\,77 \text{ mAh}$$

使用容量为  $1\,200 \text{ mAh}$  的电池可供电 11 个月以上,满足了系统的低功耗需求。

### 4 结束语

目前,大规模地在智能建筑中使用无线传感器网络时面临着网络连通性和能量效率的问题。本研究设计的系统充分考虑了楼宇监测系统自身特性,通过选择混合拓扑网络,使用休眠机制和阈值触发机制,在保证良好鲁棒性的基础上,将系统功耗降到较低水平,极大地延长了终端节点的电池更换周期。进一步的研究可将监测系统与控制系统结合起来,根据监测数据自动进行控制。

### 参考文献 (References):

- [1] 王娜,王俭,段晨东. 智能建筑概论[M]. 北京:人民交通出版社,2002.
- [2] 白建波,张小松. ZigBee 技术及其在楼宇自动化系统中应用的思考[J]. 智能建筑与城市信息,2006(1):102-104.
- [3] 汪小龙,方潜生. 基于 WSN 的智能建筑综合控制系统研究[J]. 计算机发展与技术,2009,19(7):48-51.
- [4] ZigBee Alliance. ZigBee Specification v1.0[M]. America: ZigBee Alliance,2004.
- [5] JONSRUD G E. Folded dipole antenna for CC2400, CC2420 and CC2430[EB/OL]. [2006-03-10]. <http://www.ti.com>.
- [6] 吴键,袁慎芳. 基于 ZigBee 技术的无线传感器网络及其应用研究[J]. 测控技术,2008,27(1):13-15,20.
- [7] Texas Instruments. Low-dropout voltage regulators with integrated delayed reset function(TPS79933)[EB/OL]. [2005-02-10]. <http://www.ti.com/wireless>.
- [8] 董海涛,屈玉贵. ZigBee 无线传感器网络平台的设计与实现[J]. 电子技术应用,2007(12):124-126.
- [9] EDGAR H, CALLAWAY J. Wireless sensor networks: Architectures and Protocols[M]. America: Auerbach Publications,2003.

[编辑:李辉]