

基于 ZigBee 网络的室内环境监测预警系统设计

王铭明^{1,2}, 陈涛¹, 王建立¹, 曹景太¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 针对传统室内环境监测系统布线困难、灵活性差的弊端, 设计了一种基于 ZigBee 无线传感器网络的室内环境监测预警系统; 该系统综合运用了 ZigBee 网络通信技术、嵌入式 Web 服务器技术和 GSM 通信技术, 利用终端节点对室内温湿度、一氧化碳体积分数、甲醛浓度等环境信息进行实时采集和监测; 用户可通过打开 Web 网页完成对室内环境的本地和远程监测, 当发生火灾或者煤气泄漏时, 用户会及时收到报警短信; 实验证明: 该系统具有工作稳定、使用简单、灵活性好的优点, 具有较高的实用价值与广泛的应用前景。

关键词: ZigBee; 环境监测; 嵌入式 Web 服务器; ENC28J60; GSM

Design of an Early-warning System Based on ZigBee Network for Indoor Environment Monitoring

Wang Mingming^{1,2}, Chen Tao¹, Wang Jianli¹, Cao Jingtai¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Considering the disadvantage of indoor environment monitoring system on wiring and flexibility, an indoor environment monitoring and early warning system based on ZigBee wireless sensor networks is designed. This system combines ZigBee network communication technology, embedded web server technology and GSM communication technology. Indoor temperature, humidity, CO volume fraction and formaldehyde concentration are collected and monitored real-time with terminal node. Users can realize local and remote monitoring of indoor environmental quality through the web page and receive alarm information in a timely manner when a fire or a gas leakage occurs. The experimental results show that the system has the advantages of stability, simplicity, flexibility, and has high practical value and a wide application prospect.

Key words: ZigBee; environment monitoring; embedded web server; ENC28J60; GSM

0 引言

随着时代的发展, 安全健康的生活环境成为越来越多人追求的目标。但随着经济的发展和人们生活水平的提高, 室内装饰材料带来的毒性气体含量超标等室内环境问题严重威胁人体健康。除此之外, 室内火灾、煤气泄漏等室内灾害也严重威胁着人们的生命财产安全。健康的室内环境与每个人的生活都息息相关, 所以一套灵活、实用、稳定的室内环境监测预警系统必将得到越来越多的应用。目前, 室内环境监测系统多采用有线方式, 这种方式需要大量布线, 系统维护成本也较高, 一个节点出现故障时会影响其他节点的工作, 系统的灵活性与稳定性都较差^[1]。而 ZigBee 是基于 IEEE802.15.4 标准的无线网络协定, 是一种短距离、低功耗的无线通信技术, 其特点是近距离、低复杂度、自组织、低功耗、低数据速率、低成本, 适合于室内环境监测网络的搭建^[2-4]。

本文利用 ZigBee 网络技术、嵌入式 Web 服务器技术和 GSM 通信技术, 设计了一种室内环境监测预警系统, 用户可利用手机电脑等上网设备完成对室内环境的本地和远程监测,

确保室内环境安全, 在环境异常时, 系统及时向用户发送报警短信。本系统克服了传统方式的局限性与区域性, 具有使用简单、灵活性强及实时性好等优点。

1 系统的总体结构

室内环境监测预警系统由信息监控中心、路由节点和终端节点 3 部分组成, 系统总体结构图如图 1 所示。信息监控中心与终端节点之间通过层次型设计构建信息传输网络, 终端节点将实时采集到的室内环境信息通过层次型网络传输到信息监控中心的 ZigBee 协调器节点。路由节点负责数据转发和网内路径维护; 终端节点是带有传感器的数据采集节点, 负责对室内环境参数(温湿度、CO 体积分数、甲醛浓度等)的实时采集, 并把采集到的数据发送至信息监控中心的 ZigBee 协调器节点; 信息监控中心将重要的室内环境信息存储在 SD 卡上, 并将最新的室内环境信息更新到 Web 服务器中, 用户远程可通过因特网打开 Web 服务器网页查看室内环境信息(用户拥有公网 IP), 在本地直接连接系统路由网络即可完成对室内环境的全面监测。当有环境异常时, 信息监控中心会通过 GSM 模块及时向用户发送报警短信进行预警。

2 系统硬件设计

ZigBee 无线传感器网络节点在硬件方面选择德州仪器公司的 CC2530F256 芯片作为处理核心。CC2530 是符合 ZigBee 标准的 2.4 GHz 片上系统, 适用于各种 ZigBee 和 ZigBee PRO

收稿日期:2013-08-09; 修回日期:2013-10-21。

基金项目:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所三期创新工程资助项目(065X32CN60)。

作者简介:王铭明(1987-), 男, 吉林长春人, 硕士研究生, 主要从事无线传感器网络、智能家居控制系统设计方向的研究。

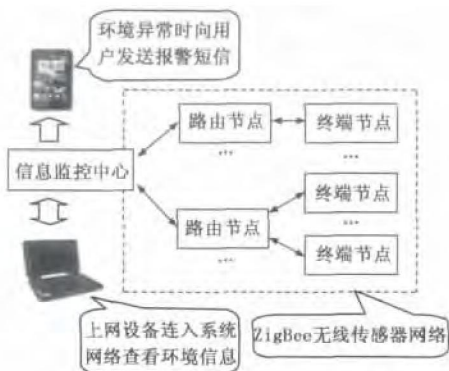
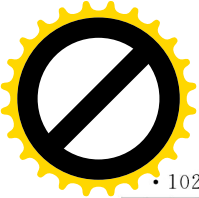


图1 系统总体结构图

的无线传感器网络节点,包括协调器、路由器和终端节点。CC2530F256集成了8051内核,256 KB系统可编程FLASH,8 KB RAM,具有丰富的外围设备,节点发射功率可达4.5 dB。在天线部分利用AN9520贴片天线,不仅保证了网络节点通讯的稳定性,而且大大减少了节点的体积,适合于家居室内网络的搭建。

2.1 终端节点硬件设计

终端节点是带有传感器的网络节点。主要包括节点核心CC2530、传感器模块和电源管理模块3个部分,终端节点硬件框图如图2所示。

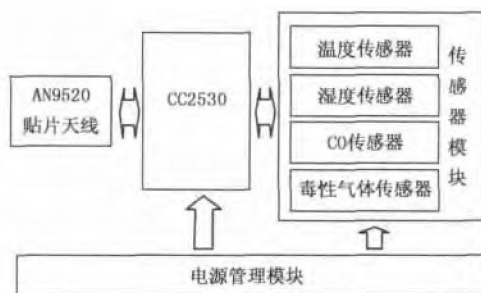


图2 终端节点硬件框图

传感器模块是终端节点重要组成部分,传感器的类型可以根据用户的实际需求来灵活决定,在本实验中,系统选用了SHT10数字温湿度传感器、MQ-7一氧化碳传感器和MQ-138毒性气体传感器。其中SHT10数字温湿度传感器采用全量程标定,两线数字输出^[5],CC2530可通过外设直接读取到室内的温湿度信息。气体检测模块由气体传感器和一个分压电阻及电压放大电路等组成^[6],CC2530通过A/D读取电压值,经多次测试设定阈值,当MQ-7一氧化碳传感器或MQ-138毒性气体传感器检测到有毒气体超标时,设定阈值超标,终端节点将该信息发送至信息监控中心处理。

2.2 信息监控中心硬件设计

信息监控中心主要由中央处理单元、存储单元、ZigBee协调器节点、以太网控制器模块、GSM模块和路由器组成,信息监控中心的硬件结构如图3所示。

信息监控中心的中央处理单元采用意法半导体的STM32F103RET6微控制器。STM32F103RET6采用ARM Cortex M3内核,最高工作频率可达72 MHz,内置512 KB闪存以及64 KB的SRAM,并且拥有强大的外设接口,是一款低价格、低功耗及高性能的微控制器解决方案^[7-8];信息监控

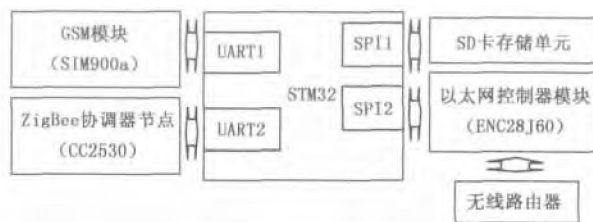


图3 信息监控中心硬件框图

中心采用SD卡作为存储单元,用来存储重要的环境数据;ZigBee协调器节点采用与路由节点以及终端节点相同的CC2530芯片,ZigBee协调器节点接收终端节点发送的室内环境信息,并将环境信息发送至中央处理单元STM32微控制器中;以太网控制器模块采用ENC28J60以太网控制器,ENC28J60是带有行业标准串行外设接口的独立以太网控制器^[9],符合IEEE802.3的全部规范,数据传输速率高达10 Mb/s,显示室内环境信息的Web服务器是通过在STM32中移植uIP1.0以太网协议栈实现的,通过ENC28J60以太网控制器可使Web服务器连入无线路由器网络,方便用户访问Web服务器页面监测室内环境;GSM模块采用SIM900A模块,SIM900A属于双频900/1800 MHz模块,可利用AT指令对其控制^[10-11],其性能稳定、性价比高,是短信报警模块的理想选择,系统启动时STM32通过串口向SIM900A发送AT指令“AT+CMGF=1+回车”,将SIM900A设置成TEXT模式,当需要发送报警短信时,STM32通过串口依次发送指令“AT+CMGS=手机号码+回车”,“短信内容”,“1A+回车”,完成报警短信的发送。

3 系统软件设计

基于通用性和便于开发的考虑,在终端节点、路由节点以及信息监控中心协调器节点的CC2530中均移植了德州仪器公司基于ZigBee2007的协议栈Z-Stack-CC2530-2.3.0,增强了无线传感器网络的稳定性与灵活性。

3.1 终端节点软件设计

终端节点带有检测室内环境的传感器模块,是室内环境监测预警系统重要的组成部分。为节约功耗,在终端节点成功连入ZigBee网络后,周期性的采集检测室内环境信息,在检测周期外,终端节点进入休眠状态,直到检测周期到达后再被唤醒。其工作过程为:首先进行终端节点设备初始化,然后将终端节点连入ZigBee网络,在到达检测周期后,终端节点采集传感器数据,将传感器数据发至信息监控中心的ZigBee协调器节点后继续进入休眠状态,终端节点的软件流程如图4所示。

3.2 信息监控中心软件设计

信息监控中心的ZigBee协调器节点主要接收终端节点发送的传感器数据,并将传感器数据发送到信息监控中心的STM32微控制器中。

信息监控中心以意法半导体STM32微控制器为核心,并在STM32中植入uIP1.0以太网协议栈建立Web服务器显示室内环境信息。其工作过程为:(1)进行STM32设备初始化;(2)初始化uIP1.0协议栈、Web服务器以及ENC28J60以太网控制器;(3)通过AT指令将SIM900a模块设置成TEXT短信接收模式,完成GSM模块的初始化;(4)启动ZigBee协调器节点,等待接收终端节点传感器采集的环境数

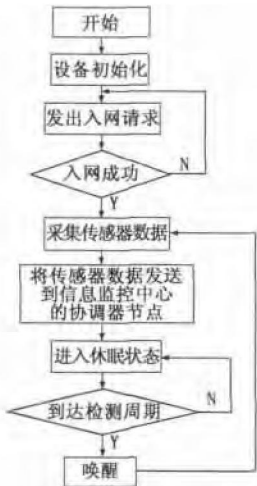
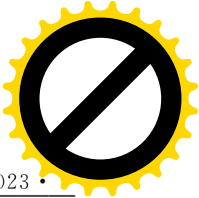


图4 终端节点的软件流程图

据,当接收到传感器数据后,首先更新 Web 服务器中的室内环境信息,然后将重要的环境数据存储在 SD 卡中以备用户查询,当环境数据超过警戒值时(如温度超过 40℃等),STM32 微控制器会向 GSM 模块发送 AT 指令及时向用户发送报警短信,STM32 程序流程图如图 5 所示。

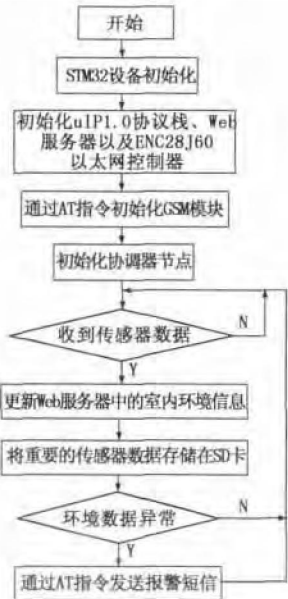


图5 STM32 的软件流程图

4 实验测试

为验证系统的实用性,建立基于 ZigBee 网络的室内环境监测预警系统。将信息监控中心布置在客厅,路由节点布置在两间卧室门口,对两间卧室的温湿度、一氧化碳和毒性气体(如甲醛)等环境信息进行监测预警。

在 2 号卧室用电烙铁升高温度传感器周围的温度,此时可登陆信息监控中心的 Web 服务器查看室内环境信息,如图 6 所示,经过 2 s 左右用户收到 GSM 模块发送的报警短信。

在一天范围内抽取 5 个时间点,分别记录两间卧室终端节点 1 和终端节点 2 的室内温湿度测量结果,并与室内标准温湿度计测量结果作比较,实验数据如表 1 和表 2 所示。



图6 Web 服务器中的室内环境信息

表1 节点 1 室内温湿度测试结果

节点 1 测得 温度(℃)	节点 1 测得 湿度(%RH)	温湿度计测得 温度(℃)	温湿度计测得 湿度(%RH)
26.7	44.3	27.0	45.1
28.1	45.2	28.3	45.3
25.9	49.8	25.8	50.4
23.9	55.3	24.2	55.8
23.0	61.1	23.3	62.0

表2 节点 2 室内温湿度测试结果

节点 2 测得 温度(℃)	节点 2 测得 湿度(%RH)	温湿度计测得 温度(℃)	温湿度计测得 湿度(%RH)
26.6	45.1	26.5	44.9
28.2	45.8	27.9	45.2
25.4	50.4	25.2	50.5
24.5	56.2	24.1	55.4
23.3	62.1	23.1	61.8

从表 1 和表 2 中可以看出:温度的测量精度在±0.5℃之内,相对湿度测量精度在±1.0%RH 之内,误差范围较小。实验证明:利用本系统用户可以对室内温度、湿度、一氧化碳和甲醛等有毒气体进行监测,当室内出现环境异常时(如火灾、煤气泄漏、甲醛超标等),用户可及时收到报警提示短信。

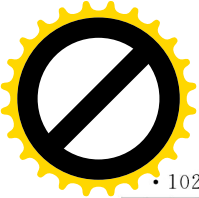
5 结论

本文介绍的室内环境检测预警系统利用 ZigBee 网络通信技术、嵌入式 Web 服务器技术和 GSM 通信技术实现了对室内温湿度、一氧化碳浓度、甲醛浓度等室内环境信息的实时监测预警。实验证明,本文介绍的环境监测预警系统具备一定的实用价值。是一套准确度高、实时性好、操作方便、易于拓展的室内环境监测预警解决方案。

参考文献:

[1] 解晓东,常超,胡颖,等.基于 WSNs 和 GSM 的室内环境监测预警系统设计[J].传感器与微系统,2011,30(6):141-144.
[2] 吕振,安吉勇.基于 ZigBee 无线传感器在居民供暖系统中的应用[J].计算机测量与控制,2012,20(5):1372-1378.
[3] 饶云华,代莉,赵存成,等.基于无线传感器网络的环境监测系统[J].武汉大学学报:(理学版),2006,52(3):345-348.
[4] 晏均,周群彪,谢晓阳.基于无线传感器网络室内火灾报警系统[J].中国民航飞行学院学报,2009,20(2):45-47.
[5] 贾玉雷,靳伍银,李鹏勃,等.基于 ZigBee 技术的智能车无线控制系统开发[J].传感器与微系统,2013,35(5):135-141.
[6] 赵勇.基于 ARM 和 ZigBee 的智能家居远程监控系统设计[J].测控技术,2012,31(11):52-55.
[7] 周永龙,雷金奎.基于 STM32 的数字舵机控制系统的设计[J].计算机测量与控制,2011,19(1):66-68.

(下转第 1026 页)



$$x_0 = \frac{k_1 b_2 + b_1}{1 - k_1 k_2}, \quad y_0 = \frac{k_2 b_1 + b_2}{1 - k_1 k_2} \quad (3)$$

3 实验结果分析

选用的 CCD 相机面阵大小为 $2\,592 \times 1\,944$, CCD 像元大小为 $2.2\,\mu\text{m} \times 2.2\,\mu\text{m}$, 物镜焦距 f 为 $300\,\text{mm}$, 经分析最大理论量程为 $\pm 980'' \times \pm 730''$, 实际标定有效量程为 $\pm 850'' \times \pm 600''$ 。

在超净间室温环境下, 采用 Moller 公司生产的 ELCOMAT 3000 自准直仪和多齿分度台对样机进行线性测试实验, 过程如下: 对 X 轴进行测试时, 调节装置使 Y 轴坐标为某一角度值 Y_0 , 在全量程范围内, 以 $10''$ 为步距角改变 X 轴的角度, 分别记录 ELCOMAT 3000 和样机测量得到的 X 轴角度值, 两组测量值相比较即可得到一条误差曲线。可改变 Y_0 重

复上述过程。同理, 采用同样的方法可对 Y 轴进行线性测试。线性实验的 X 、 Y 轴部分测量数据如表 1 所示, 其中“EL”代表 ELCOMAT 3000, “PT”代表本样机, “ER”代表误差。分析全量程线性实验数据可得, X 轴最大示值误差为 $0.3''$, Y 轴最大示值误差为 $0.26''$, 因此, 全量程最大示值误差为 $0.3''$ 。同时, 测量分辨率为 $0.01''$ 。

在进行稳定性实验时, 同样选取在超净间室温环境下, 样机预热 $30\,\text{min}$ 后开始每隔 $5\,\text{s}$ 且连续采样记录 X 、 Y 轴角度值 $2\,\text{h}$ 。分析实验数据可得, 样机 X 轴的最大稳定性误差为 $0.2''$, Y 轴的最大稳定性误差为 $0.18''$, 取二者中较大值作为样机最大示值漂移量, 即 $0.2''/2\,\text{h}$ 。

表 1 本样机与 ELCOMAT 3000 自准直仪 X 、 Y 轴部分测量数据

单位: ($''$)

$Y_0 = 100$						$X_0 = 100$					
PT X 轴	EL X 轴	ER	PT X 轴	EL X 轴	ER	PT Y 轴	EL Y 轴	ER	PT Y 轴	EL Y 轴	ER
152.43	152.35	0.08	-150.17	-150.08	-0.09	150.78	150.86	-0.08	-151.89	-151.96	0.07
141.21	141.23	-0.02	-141.35	-141.25	-0.10	141.54	141.61	-0.07	-142.13	-142.22	0.09
132.64	132.57	0.07	-131.23	-131.27	0.04	132.07	132.02	0.05	-132.44	-132.41	-0.03
120.27	120.19	0.08	-122.87	-122.80	-0.07	121.32	121.29	0.03	-123.36	-123.42	0.06
112.10	112.13	-0.03	-111.31	-111.23	-0.08	111.56	111.63	-0.07	-112.10	-112.18	0.08
104.16	104.20	-0.04	-102.13	-102.18	0.05	100.94	101.03	-0.09	-103.29	-103.25	-0.04
93.24	93.18	0.06	-93.89	-93.83	-0.06	91.06	91.04	0.02	-92.05	-92.02	-0.03
82.08	82.12	-0.04	-82.02	-82.04	0.02	81.33	81.40	-0.07	-81.93	-82.00	0.07
71.23	71.20	0.03	-72.04	-72.00	-0.04	72.18	72.22	-0.04	-71.38	-71.42	0.04
63.02	62.98	0.04	-61.91	-61.89	-0.02	63.09	63.15	-0.06	-60.91	-60.94	0.03
52.54	52.49	0.05	-52.01	-52.03	0.02	51.65	51.63	0.02	-51.77	-51.82	0.05
40.43	40.41	0.02	-41.17	-41.16	-0.01	41.34	41.37	-0.03	-42.16	-42.14	-0.02
31.21	31.22	-0.01	-32.98	-32.96	-0.02	30.31	30.35	-0.04	-33.27	-33.29	0.02
22.64	22.62	0.02	-21.94	-21.90	-0.04	21.79	21.76	0.03	-21.30	-21.32	0.02
11.08	11.07	0.01	-10.87	-10.88	0.01	10.27	10.28	-0.01	-11.39	-11.38	-0.01
0.16	0.14	0.02				0.31	0.33	-0.02			

另外, 经实验, 在无外接交流电源情况下, 平板电脑充满电, 该系统可工作 $1.5 \sim 2\,\text{h}$ 。此外, 人机界面上的所有功能均可通过手动触摸操作实现, 操控十分便捷。

4 结语

本文利用成熟的平板电脑技术、USB3.0 接口技术和光电探测技术实现了一种新型便携式 CCD 双轴自准直仪图像测量系统的设计与开发, 其显著特点: (1) 采用平板电脑 (9.7 英寸) 处理图像数据, 体积小, 便携性强, 且易于开发; (2) 人机界面上的所有功能均可通过手动触摸操控, 操作十分便捷; (3) 在无外接交流电源情况下, 平板电脑充满电, 可工作 $1.5 \sim 2\,\text{h}$, 实用性强。此外, 该系统还具有测量速度和精度高及测量自动化、二维化、数字化的特点, 整体上便携性和实用性强, 性价比高, 易于实现。

参考文献:

- [1] 瑚琦, 杨园园, 等. 基于面阵图像传感器的自动读值光电自准直仪 [J]. 仪表技术与传感器, 2011 (9): 20-22.
- [2] 白建明. 大视场光电准直仪的准直测量精度研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学物理与光电工程学院, 2010.
- [3] 徐凤茹, 林玉池, 等. 基于视觉跟踪式自准直仪的十字线提取技术 [J]. 激光与红外, 2011, 41 (11): 1211-1214.
- [4] 林润芝, 杨学友, 等. 面向大尺寸检测 CCD 图像中心提取精度的研究 [J]. 传感器与微系统, 2010, 29 (12): 51-53.
- [5] 吴文明, 高立民, 等. 利用三次样条插值提高自准直仪的准确度 [J]. 光子学报, 2007, 36 (8): 1561-1564.
- [6] 张艳锋, 严家明. 基于最小二乘法的压力传感器温度补偿算法 [J]. 计算机测量与控制, 2007, 15 (12): 1870-1871.

(上接第 1023 页)

- [8] 王永红, 徐炜, 郝立平. STM32 系列 ARM Cortex-M3 微控制器原理与实践 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.
- [9] 周晓阳, 程红, 张晓媛. 新型以太网控制器 ENC28J60 及其接口技术 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2006 (9): 15-19.

- [10] 孙丘伟, 余臻. 基于 GSM 的短信报警收发平台设计 [J]. 福州大学学报 (自然科学版), 2008, 36 (Z1): 44-48.
- [11] 翟顺, 王卫红, 张衍, 等. 基于 SIM900A 的物联网短信报警系统 [J]. 现代电子技术, 2012, 35 (5): 86-89.