

基于 ZigBee 技术的温湿度监测系统

周海鸿¹ 周嘉奉²

(1. 桂林市无线电二厂 桂林 541004; 2. 桂林电子科技大学 桂林 541004)

摘要: 为解决工厂中温湿度测量的问题,设计了一种基于 ZigBee 技术的无线监测系统,解决了传统有线监测系统的成本高、组网复杂、网络覆盖范围小等问题。采用 LabVIEW 编写了 PC 平台操作界面,采用 CC2530 组建无线传感网络,使用 TSYS01 温度传感器与 HTU21D 湿度传感器作为传感节点建立整套温湿度监测系统,介绍了该系统的构成原理,协调器以及终端节点的硬件电路和软件设计方案。系统使用线性拟合算法将传感器测量到的温度与湿度数据与标定数据进行误差补偿,达到较高测量精度。实验结果表明,该系统温度测量误差小于 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$,湿度测量误差小于 $\pm 2\% \text{RH}$,能精确测量工厂内温湿度。

关键词: 温湿度; ZigBee 技术; 监测系统; 虚拟仪器

中图分类号: TP216⁺.1 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8040

Temperature and humidity monitoring system based on ZigBee technology

Zhou Haihong¹ Zhou Jiafeng²

(1. Guilin Radio Factory Two, Guilin 541004, China; 2. Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: To solve the problem of temperature and humidity measurement in factory, this paper designs a wireless monitoring system based on ZigBee technology. It solves the question of high-cost, established network more complex, small network coverage compare with the traditional wired system. This paper programmed operation interface of PC platform using LabVIEW language, adopting CC2530 to establish wireless sensor networks, and utilizing TSYS01 temperature sensor and HTU21D humidity sensor as a node to set up the whole temperature and humidity monitoring system. This paper also introduces the fundamental principle of this system, the circuit design and software solution of coordinator, as well as the terminal node. In order to get higher accuracy, the monitoring system obtains temperature and humidity data from sensors, then uses linear fitting to do error compensation between standard data and sensors-received data. The experimental result shows that only the temperature measurement error of this system is less than 0.1°C , and humidity measurement error is less than $2\% \text{RH}$, it can measure the temperature and humidity precisely.

Keywords: temperature and humidity; ZigBee technology; monitoring system; LabVIEW

1 引言

随着科技水平的进步和市场对工业产品要求的不断的提高,现代化工厂中工艺精度高,环境要求严格的的产品占市场比重越来越大。生产环境很大程度上影响了产品精度和使用性能,所以对厂区厂房的环境监测就显得尤为重要。环境指标参数中以温度和湿度两项指标的监测最为常见,一些厂区和车间需要严格控制温度和湿度的具体范围。例如:纺织厂细纱车间要求夏季温度 $30^{\circ}\text{C} \sim 32^{\circ}\text{C}$,湿度 $55\% \sim 60\% \text{RH}$,冬季温度 $26^{\circ}\text{C} \sim 28^{\circ}\text{C}$,相对湿

度 $50\% \sim 55\% \text{RH}$;贴膜车间温湿度标准为温度 $19^{\circ}\text{C} \sim 23^{\circ}\text{C}$,湿度 $55\% \sim 65\% \text{RH}$,小麦储藏厂区温湿度为温度 $8^{\circ}\text{C} \sim 15^{\circ}\text{C}$,湿度 $12\% \text{RH}$ 以下。

传统温湿度的测控系统通常需要进行人工实时测量,或从监测区域铺设电线到监测室进行监测,这种方式成本高、布线烦琐、费时费力且可扩展性差。监测网络选择有线网络,成本会因监测范围,监测节点的增加而不断上升。长时间使用,线路容易受到虫鼠影响,可靠性下降,导致网络故障,测量工作受到影响。

2 ZigBee 技术简要介绍

致力于无线个域网(WPAN)中无线协议的物理层(PHY)和媒体访问层(MAC)的标准化,为个人操作空间内互相通信的设备之间提供统一的通信标准,IEEE802.15.4工作组制定了相关标准,ZigBee 是基于此标准的一种无线通信方式^[1-4]。

IEEE 802.15.4 标准定义了物理层和媒体访问控制层。ZigBee 联盟在 IEEE802.15.4 标准的基础上定义了网络层和应用层构架。应用层构架包含应用支持子层和 ZigBee 设备对象以及制造商需要的应用对象组成。ZigBee 是突出特点为低成本、低功耗、低复杂度、低时延,近距离,双向传输的一种无线通信标准。国内 ZigBee 工作频段为 2.4 GHz,欧洲与美国分别工作在 868 MHz 与 915 MHz。

ZigBee 组网支持星形、树形和网络状拓扑结构,无线网络由一个协调器启动和控制,网络工作时协调器接收由终端节点发送来的数据,并发送给上位机。网络可以由路由器进行扩展,终端节点打包的数据由路由器转发给协调器。

3 系统总体设计

3.1 ZigBee 测控单元

ZigBee 测控单元采用德州仪器公司的 CC2530 作为控制核心,网络节点包括协调器和路由节点,终端节点。其中路由节点被设计为带数据采集功能,节点本身可以测量温度和湿度信号,同时可以转发其他终端节点发送的温度湿度信号。网络采用树形拓扑结构,设计为多测量节点的无线传感网络^[5]。终端节点安装在监测区域,一定间隔时间完成温湿度的实时测量并将数据打包发送给协调器。协调器接收到数据后,通过 RS485 总线将各区域终端节点采集到的数据发送给数据分析单元。协调器接收到上位机发送的数据测量请求后广播测量命令,网络下各测量节点将测量到的数据返回给协调器。

3.2 数据分析单元

数据分析单元主要设计为接收处理整个传感网络发送的数据,起着数据展示与网络控制的功能,由上位机与协调器组成。上位机接收到协调器发送的数据后以图表的方式展示温湿度信号,系统可查找任何时期的测量记录,通过图表对温湿度做简单预测,工作人员可设定合理温湿度工作区间,系统将采集到的数据与设定区间进行对比,超过区间时进行报警,通知工作人员对该区域做相应处理。

3.3 系统整体方案

系统主要由 2 个结构单元组成:ZigBee 测控单元和数据分析单元。系统采用分区域组网,不同区域由不同协调器组建网络,最终协调器通过 RS485 总线与上位机通信,此设计将系统网络覆盖范围极大增加,可使工厂内单位面积温湿度测量覆盖率更高。ZigBee 无线传感网络覆盖工厂内部,网络终端节点使用数字温湿度传感器,将检测到

的数据打包后发送给协调器,协调器接收到数据包拆分后,发送给上位机^[6]。整个系统总体设计如图 1 所示。

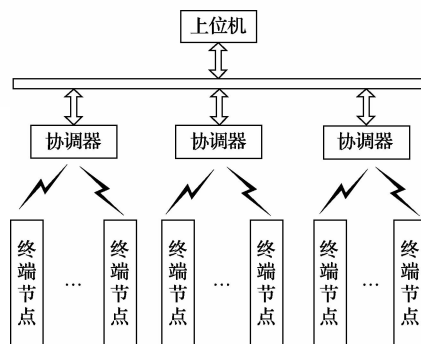


图 1 系统总体设计

4 系统硬件实现

4.1 核心控制器

处理器核心使用德州仪器公司生产的 CC2530F256 芯片。该芯片兼容 IEEE 802.15.4 标准,在单个芯片上整合了射频收发器,是一款能够以单周期访问 SFR、DATA、和主 SRAM 的低成本、低功耗单片机。单片机基于 8051 内核,支持德州仪器公司的 Z-Stack 协议栈,可以构成处理能力强大的网络节点。该单片机拥有 256 KB 闪存,保证了设备运行间数据的存储与恢复,设备掉电后网络不需要完整的启动,搜索,加入过程。拥有丰富的接口设计,极大的方便了用户外围电路的扩展设计。

4.2 协调器节点硬件设计

协调器节点设计包括 CC2530 最小电路和 RS485 总线控制以及按钮和指示灯电路。上位机发送请求命令数据包给指定协调器,协调器广播给监测区域的终端节点。终端节点收到数据请求命令后将测量到的温湿度信号发送给协调器,协调器通过 RS485 总线将温度信号回传给上位机实现数据的完整传送。RS485 总线是几十米到上千米的远距离通信时广泛采用的总线标准,具有高灵敏度,满足工厂内监测系统的稳定性要求。协调器电路包含指示灯,用来提醒操作人员是否有终端节点加入网络或提示协调器有数据包正在处理。当有上位机或终端节点的数据包发送至协调器时,协调器指示灯会有相应的闪烁。协调器硬件如图 2 所示。

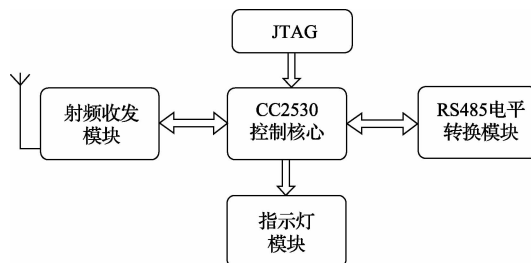


图 2 协调器硬件

4.3 路由节点与终端节点硬件设计

路由节点的电路设计本质上是在终端节点上加上了路由功能,两者硬件电路相同,只是在软件上略加区别,本文只介绍终端节点的电路设计。终端节点主要包含以下3个部分:传感器部分、通信控制核心 CC2530、数据显示部分组成。终端节点主要实现数据测量与数据发送。

温度传感器选择 TSYS01 数字传感器,该传感器将温度测量、A/D 转换、信号放大调理全部集中在一个芯片内,且芯片体积小响应速度快,精度和分辨率高在常温下温度测量误差小于 0.1°C 。通信总线提供 IIC 与 SPI 2 种通信方式,使用方便快捷。TSYS01 数字温度传感器默认的分辨率为 24 位,可通过编程降至 16 位,传感器提供了出厂校准系数方便对测量数据校准。湿度传感器选择 HTU21D 数字传感器,该传感器采用高性能湿度感应原件制成,输出方式多样,工作电压范围宽,低功耗,响应速度快,非常小的温度效应,抗结露特性。该传感器在常温下最大误差的典型值为 $2\%\text{RH}$,保证了湿度的精准测量。

为了直观的展示当前温湿度数据,方便终端节点附近工作人员读取数据,系统为终端节点加入了 OLED 显示屏。屏幕响应时间短、体积小、抗振性好、适应振动等恶劣环境。几乎没有视角限制,可视角度可以达到 170° 。驱动电压低,普通 5 V 电压即可驱动。当测量温湿度数据完毕后,更新屏幕示值,展示给工作人员。终端节点硬件如图 3 所示。

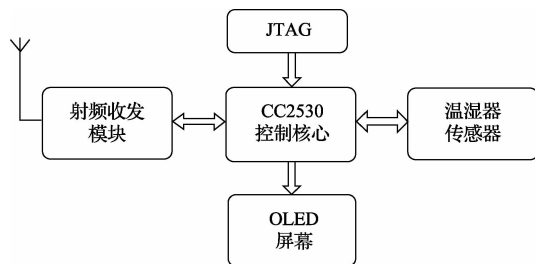


图3 终端节点硬件

5 软件程序设计

5.1 Z-stack 协议栈

该文中系统软件设计主要基于德州仪器公司 Z-Stack 协议栈进行开发,Z-Stack 协议栈引入了 OSAL(操作系统抽象层)的概念。整个协议栈运行在这个抽象的操作系统中,OSAL 利用了操作系统的概念和思想,提供了如下功能:任务注册、初始化、开始;任务间的消息交换;任务同步;时间管理;内存分配^[7]。OSAL 通过轮循处理事件的机制,形成了简单的多任务操作系统。当同时有多个任务需要处理器处理的时候,操作系统判断事件优先级,逐次解决^[8-9]。

5.2 ZigBee 无线传输程序设计

无线传输程序主要包括协调器软件设计和终端节

点软件设计 2 部分。其中协调器部分工作时一直在等待数据的接收,上位机通过 RS485 总线发送数据请求命令,协调器判断命令地址,当所数据请求的地址与自己的地址相符合时触发数据请求事件,将命令以相同的时间间隔发送给在该协调器下的不同节点。命令发送后后等待接收网络节点回传的数据,收到数据后将终端节点的地址打包在数据包内然后通过 RS485 总线回传给上位机。

终端节点在固定的时间间隔中测量环境中的温湿度数据,将数据更新在终端节点的屏幕上。协调器会通过广播的方式发送数据包给终端节点。网络中的每一个节点都可以接收到数据包,数据包中包含了需要回传数据的地址,终端节点将自己的地址与数据包中的地址进行比对,如果与自己的地址相同则会触发任务事件,将测量到的数据信息与自己的地址打包发送给协调器。软件流程如图 4 所示。

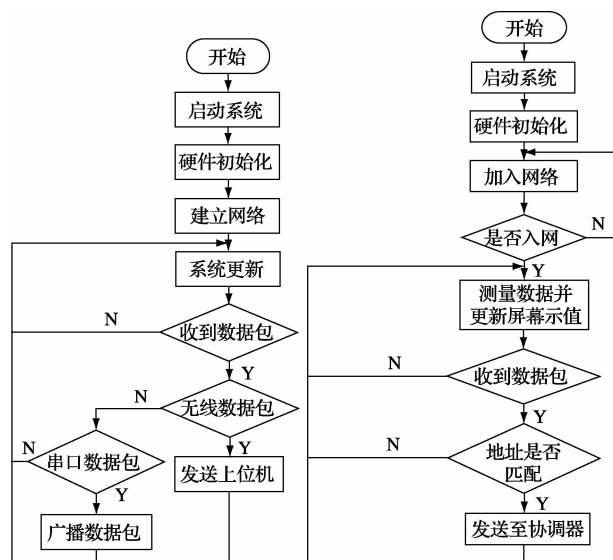


图4 协调器程序和终端节点程序流程

5.3 LabVIEW 人机交互平台程序设计

LabVIEW 是一种虚拟仪器开发平台,一种图形化的编程环境。上位机软件采用 LabVIEW 完成人机交互,上位机数据发送与提取,命令请求,数据显示^[10]。LabVIEW 通过对串口的读取和写入来完成与协调器之间的通信。系统运行时在温湿度值超过设定值后报警。接收到温湿度信号后绘制波形图,并以文件的格式保存接收到的数据。

5.4 传感器漂移补偿

数字温度传感器长时间未使用或长时间使用后会发生线性的偏移,导致系统测量精度下降,考虑到此原因本系统设计了对于传感器进行线性补偿的软件设计。传感器经过与标准温度计比对后记录测量误差,上位机设置了 3 种不同的线性拟合算法,上位

温度为 25℃,以 10%RH 为间隔测量,同一湿度值测试 10 次,表 3 为 25℃下湿度测量数据。测量完毕之后标定环境湿度为 60%RH,以 10℃间隔改变温度再进行测量,同样在不同温度值测量 10 次。表 4 为 60%RH 时的温度测量数据。

表 3	25℃ 下湿度测量值	RH%
-----	------------	-----

标定温度/RH%	测量平均值/RH%	随机误差/RH%
10	11.2	1.6
20	21.8	1.5
30	29.1	1.6
40	41.4	1.5
50	51.7	1.2
60	61.8	1.9
70	69.5	0.5
80	79.2	1.1
90	88.1	1.9

表 4 环境标定湿度 60%RH 时不同温度测量值 RH%

标定温度/℃	测量平均值/RH%
10	60.5
20	61.6
30	61.6
40	61.8
50	61.9
60	62.5
70	63.3
80	64.2
90	65.9

温度测量的随机误差与系统误差均小于 0.1°C , 温度测量可以满足系统设计要求。湿度测量在环境温度超过 50°C 时测量值随着温度升高准确度下降, 稳定性下降, 当系统工作在超过 50°C 的环境时测量值明显高于环境标定值, 系统的测量误差会超过 $2\%\text{RH}$, 但本系统设计使用环境为常温环境, 固系统满足设计要求。

恒温箱温度	测量平均值	随机误差	系统误差
5.00	5.00	0.06	0.00
10.00	10.01	0.08	0.01
15.00	15.02	0.06	0.02
20.00	20.01	0.08	0.01
25.00	25.02	0.08	0.02
30.00	30.00	0.03	0.00
35.00	35.02	0.06	0.01
40.00	40.01	0.05	0.01
45.00	45.01	0.06	0.01
50.00	50.00	0.03	0.00

本文以 CC2530 为核心设计了硬件平台,使用 LabVIEW 开发平台设计了上位机人机交互系统,结合 ZigBee 无线网络实现对工厂中温湿度数据的监测与记录,与传统的有线温湿度测量系统相比很好的利用了 ZigBee 短距离的组网技术,克服了传统温湿度测量中布线烦琐,网络延展性差,成本高,维护升级难的缺点,具有网络维护简单,传感器更换方便,可靠性强等优点,温度误差小于 0.1°C ,相对湿度误差小于 $2\% \text{ RH}$,达到多数工厂温湿度测量的需求。系统已应用于多处工厂中,运行稳定,在工厂温湿度测量领域有较好的应用前景。

中国科技核心期刊

参考文献

- [1] 张大伟,陈佳品,冯洁,等.面向准危重病病人的区域化无线监护系统研制[J].仪器仪表学报,2014,35(1):74-81.
- [2] 夏立方,蔡娇,赵升,等.基于 ZigBee 技术的智能无线调光系统设计[J].电子测量技术,2013,36(10):109-114.
- [3] 裴永召,朱蕴璞.基于 ZigBee 的智能扬声器系统设计[J].国外电子测量技术,2014,33(2):45-48.
- [4] 焦尚彬,宋丹,张青,等.基于 ZigBee 无线传感器网络的煤矿检测系统[J].电子测量与仪器学报,2013,27(5):436-442.
- [5] 汪燕. ZigBee 组网的温度数据采集器的设计[J].计算机与现代化,2012(8):101-104.
- [6] 陈章进,姚真平,张建峰.基于 ZigBee 技术的城市智能公交系统设计[J].电子测量技术,2014,37(4):38-42.
- [7] 王春香,纪松波.采用 ZigBee 技术的温室环境监控系统

统设计[J].电子测量技术,2014,37(12):120-122.

- [8] 奇华,李铮,刘军.基于 ZigBee 的污水监测系统节点软件设计[J].国外电子测量技术,2014,33(12):26-27.
- [9] 汪玉凤,尹靖康,刘翹楚,等.新型煤矿安全检测系统的设计[J].计算机测量与控制,2013,21(4):939-941.
- [10] 曲丽蓉,胡荣,范寿康. LabVIEW、MATLAB 及其混合编程技术[M].北京:机械工业出版社,2011.

作者简介

周海鸿,1962 年出生,1984 年 7 月毕业于。参与设计过广播系统、楼宇智能对讲系统、数字电视分支分配器等,并发表过多篇论文。

周嘉奉(通讯作者),1991 年出生,在读研究生。主要研究方向为集成电路测试理论。

E-mail:309162822@qq.com

(上接第 54 页)

- [4] 何璇. LED 室内照明关键技术的研究[D]. 广州:暨南大学,2013.
- [5] 刘娜. 红外通讯技术与蓝牙区别解析[J]. 信息系统工程,2012(1):26.
- [6] 何惠森. 基于 AC-DC 开关电源系统的电磁兼容设计及稳定性研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2012.
- [7] 赵慧荣. LED 驱动电路的电磁噪声研究及其改进[D]. 西安:陕西科技大学,2012.
- [8] 胡力元,闫斌,刘廷章. 大功率 LED 灯具的单级 PFC 恒流驱动及模拟调光技术的研究[J]. 电力电子技术,2014(13):93-97.

- [9] 刘秉安. 照相手机的 LED 闪光灯驱动电路设计的改进[J]. 电子测量技术,2013,36(4):24-27.

- [10] 耿富平,谈恩民. 基于 S3C6410 的 Android 系统移植[J]. 国外电子测量技术,2014,33(4):76-80.

作者简介

邓术,1990 年出生,硕士研究生。主要研究方向为智能调光系统与控制信号传输和开关电源技术。

E-mail:15578398562@163.com

何志毅(通讯作者),1965 年出生,教授,博士。主要研究方向为 LED 无线光通信、光电显示与图像技术研究。

E-mail:hezhiyi@guet.edu.cn

(上接第 74 页)

- [8] 安宪军,黄尔烈,贾少锐,等. 基于 Delphi7.0 的上位机与 PLC 的通信[J]. 现场总线技术应用,2007,23(3):47-48.
- [9] 廖常初. S7-200 SMART 与 S7-200 的比较[J]. 电工技术,2013(11):52-53.
- [10] 刘明,郑敏. 基于 ModBus RTU 通讯协议在西门子 PLC S7-200 的应用[J]. 科技传播,2014(13):224-225.
- [11] 蔡森. ModbusRTU 协议中字节型 CRC-16 算法分

析与实现[J]. 物联网技术,2015(3):35-36.

作者简介

单星,1989 年出生,硕士研究生。主要研究方向为数据通信与计算机网络。

E-mail:1053363656@qq.com