

# 基于 PLC 与 ZigBee 的室内环境监控系统设计

李 路, 何新霞, 孔祥飞, 李 旋

(中国石油大学(华东)信息与控制工程学院, 山东 青岛 266580)

**摘要:** 环境监测点位具有分布范围广、点位多等特点, 建立一套基于无线传感网络的环境实时监控系統, 实现对区域内环境要素的在线监控, 对及时掌握环境状况及有效控制环境污染的扩散有着直接而重要的作用; 以 CC2530 芯片为核心构建 ZigBee 无线传感网络, 并通过主控制器 PLC 将采集的数据进行分析与处理; 利用主协调器及 PLC 将接收的监测数据传至上位机进行实时显示, 由监控平台, 结合红外收发器完成对外部设备的远程控制; 上位机采用 Wincc 组态软件, 结合西门子精智面板提供优异的人机交互界面体验; 通过实验测试表明, 该系统可实现大范围的室内环境参数的采集和传输以及远距离监控功能, 且具有安装方便、扩展性强等特点, 适用于需进行统一管理的智能楼宇建筑。

**关键词:** PLC; ZigBee; CC2530; 物联网

## Design of Indoor Environmental Monitoring and Controlling System Based on PLC and ZigBee

Li Lu, He Xinxia, Kong Xiangfei, Li Xuan

(College of Information and Control Engineering, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China)

**Abstract:** Environmental monitoring sites have the characteristics of wide distribution and multi-points, it has an important role in timely grasping the environmental situation and effectively controlling the spread of environmental pollution by establishing a real-time monitoring and controlling system based on Wireless Sensor Network, and realizing online monitoring of environmental factors within certain regions. The collection and transmission of the parameters of indoor environment in a large range are realized through building a wireless sensor network based on ZigBee communication protocol using CC2530 chip, the collected data are analyzed and processed by the main controller PLC. Monitoring data received are transmitted to the host computer for real-time display through the master coordinator and PLC, remote control of indoor equipment is realized by the monitoring platform, combined with infrared transceiver. WinCC configuration software is used as the host computer, and SIEMENS smart panel is configured to provide an excellent human-computer interaction experience. The experimental results show that, the acquisition and transmission of indoor environment parameters as well as remote monitoring function in a wide area can be achieved by this system. It has the features of convenient installation and strong extensibility, which is suitable for all intelligent buildings which has a need for unified management.

**Keywords:** PLC; ZigBee; CC2530; internet of things

### 0 引言

随着生活水平不断提高和环境污染日益严重这一矛盾的突出, 人们对室内环境提出了更高的要求。目前, 市场上各类针对环境问题的智能单品层出不穷, 然而此类单品彼此间互不关联, 独立运行, 部分单品功能重复造成资源浪费。鉴于此, 本文提出了一种分布式采集与执行、集中式管理的楼宇环境实时监控系統设计方案, 旨在将各类数字化产品“孤岛”<sup>[1]</sup>集于一体, 统一管理, 形成联动, 避免资源浪费, 达到节能效果。

本文的主要工作包括底层硬件设计, ZigBee 网络的建立, 上位机监测和控制界面的设计, 协调器与 PLC 之间的通信, 系統对各设备的自动控制, 以及 GSM 远程监控系统。

### 1 环境监控系统总体构成及原理

在物联网领域, 系統结构主要分为应用层、网络层以及感知层<sup>[2]</sup>。本文中, 应用层主要是 HMI 人机交互界面, 网络层主要是 ZigBee 无线传感网络, 感知层主要包括环境参数传感

器和相应的设备控制器, PLC 作为系统的中枢, 实现对整个系统的监测与控制。

通信功能基于 ZigBee 通信协议<sup>[3-4]</sup>实现, 采用分布式网络结构, 配置少数协调器和多个路由器及终端, 协调器负责汇总分布于不同空间位置的路由器和终端信息, 同时, 分布于各个节点的路由器互为中继器, 从而实现大范围的数据传输。协调器通过西门子 CP340 串口通信模块与 PLC 进行通信, 将无线传感器网络的数据传输到 PLC 进行分析处理<sup>[5]</sup>。

汇总后的信息由 PLC 进行综合判断和处理, 通过 CP340 或西门子 I/O 口发出使能信号。其中, CP340 发出的串口信息, 通过 ZigBee 无线网络发送至相应路由器, 进而控制红外线、继电器或无线电等设备输出控制信号, 远程实现对室内设备的联动控制; 而 I/O 口发出的控制信号主要负责主机附近的设备, 基于此设计思路, 在控制环节形成了以串口信息控制为主, I/O 控制为辅的一种方案, 具备大范围远程控制、小范围灵活控制的特点。

上位机以 MPI 通讯方式完成与下位机 PLC 的通讯连接, 一方面, PLC 可将处理后的数据信息实时显示在精智面板上, 由精智面板提供良好的人机交互体验。另一方面, PLC 也可将上位机发出的控制信号进行处理, 按照用户需求完成对网络

收稿日期: 2016-11-17; 修回日期: 2016-12-23。

作者简介: 李 路(1990-), 女, 重庆人, 硕士研究生, 主要从事电力电子与电力传动方向的研究。

中的各设备的自动控制。系统总体结构框图如图 1 所示。

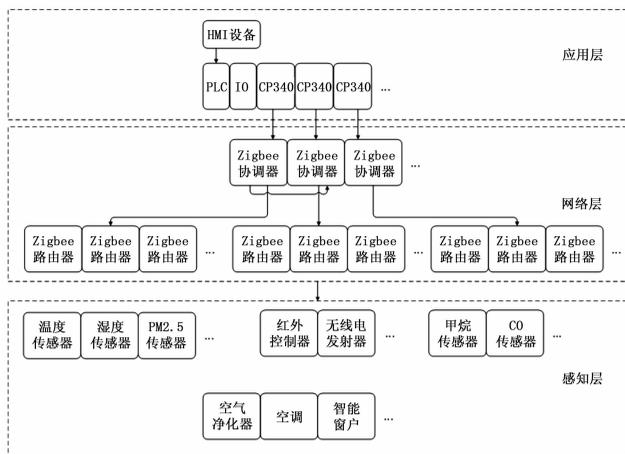


图 1 系统总体网络结构图

ZigBee 模块主要分为中心节点和终端节点两大类<sup>[6]</sup>, 中心节点作为协调器负责建立 ZigBee 无线网络, 终端节点作为路由器主动扫描网络并申请加入, 两者建立无线链路后即可进行点对点的数据通信。

传感器采集的信息暂存于 CC2530, 通过自定义的环境参数请求协议实现环境参数的采集和处理, 即仅在主机主动请求环境参数时路由器才将信息发送给协调器, 网络才被占用, 无环境参数请求时, 网络无数据传输, 这样可大大节省网络占用率, 同时达到节能效果。

### 2 硬件系统设计

市场上的传感器和控制器千差万别, 为实现模块化功能, 即各个传感器和控制器具备独立挂载于任何路由器下的特性, 方便维护和管理, 需将各类传感器和控制器的收发信息格式进行统一转换。

选用 TI 公司生产的 CC2530 芯片实现 ZigBee 网络通信, CC2530 结合了领先的 RF 收发器的优良性能, 集成了 51 单片机内核。同时 CC2530 具有不同的运行模式, 使得它尤其适用于超低功耗要求的系统<sup>[7]</sup>。

结合 CC2530 芯片的特点, 本文信息类型主要有 3 种: 串口信息、模拟量、开关量。对于串口信息, 统一设置波特率为 9600; 对于模拟量量程, 统一设置为 0~3.3 V; 对于开关量, 统一设置为 0 和 3.3 V 电平。通过单片机和运算放大电路, 实现信息格式的转换。

温度和湿度传感器选择型号为 DHT11, 该传感器采用单总线数字通信方式, 选用 STC 11F02E 单片机的 IO 口模拟单串口, 与 DHT11 进行单总线通信, 再将该信息经过处理, 使用波特率为 9600 的串口通信方式发送给 ZigBee 路由器, 信号传递流程图如图 2 所示。

通常甲烷传感器和一氧化碳传感器的输出类型为电压型模拟量, 由于 ZigBee 的硬件模块 CC2530 具有 0~3.3 V 的 AD 采样功能, 所以对甲烷传感器和一氧化碳传感器输出的模拟量经过电压跟随器、0~3.3 V 调理电路、0~3.3 V 限幅保护电路处理后输入至 CC2530 的 AD 引脚, 电路原理图如图 3 所示, 再将 AD 转换的值暂存于 CC2530 中。

定义输入电压为  $V_{in}$ , 输出电压为  $V_o$ , 根据原理图可得到

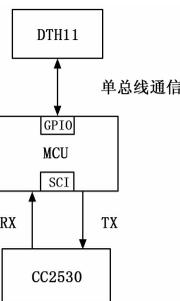


图 2 温湿度信号传递流程图

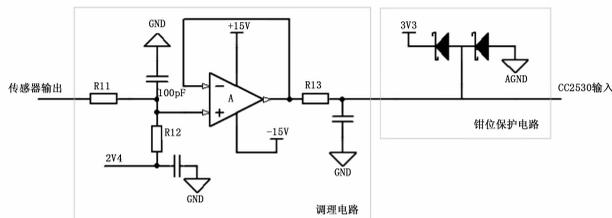


图 3 信号调理和保护电路

二者关系:

$$V_o = \frac{R_{12} V_{in} + 2.4 R_{11}}{R_{11} + R_{12}}$$

根据以上表达式可知, 通过合理设计  $R_{11}$  和  $R_{12}$  可以将传感器输出调理至 CC2530 允许的输入范围, 同时, 设计时应使电流尽量小, 以减小电阻上的能量损耗。本文选用的传感器输出为 0~4 V, 故设计参数如下:

$$R_{11} = R_{12} = 10 \text{ k}\Omega$$

此时, 输出范围为 1.2~3.2 V, 满足 CC2530 的 AD 输入范围。

PM2.5 传感器选用夏普公司的一款传感器, 该传感器输出是波特率为 2400 的串口信号, 其中包含 PM2.5 的测量值信息, 但 CC2530 芯片的串口通信波特率统一设置为 9600, 故使用两个 STC 11F02E 单片机设计波特率转换器, 原理图如图 4 所示, 将单片机 1 串口通信波特率设置为 2400, 用于接收 PM2.5 传感器发出的串口信号; 将单片机 2 的串口通信波特率设置为 9600, 用于和 CC2530 进行通信, 并将 PM2.5 的测量值暂存于 CC2530 模块中。而单片机 1 和单片机 2 之间通过 9 个 IO 口进行通信, 理论精度可达到 2<sup>9</sup>, 即 512, 满足通常情况下 PM2.5 的测量精度要求。

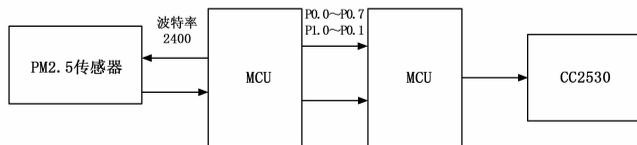


图 4 PM2.5 信号波特率转换器

此外, 配备了红外控制器, 负责模拟设备的红外线遥控功能, 红外线收发器通过单片机进行控制, 而单片机接收来自 ZigBee 的串口信息, 并在单片机内对该串口信息进行判断, 控制红外线的收发。

### 3 软件系统设计

本文设计的系统基于 PLC 进行控制、Zigbee 进行无线网

络传输, PLC 与 CC2530 之间通过 CP340 模块通过主从模式进行串口通信。

设计适用于本系统的主从通信协议, 在 CC2530 中预先定义串口命令, 再通过 PLC 经由 CP340 发出预先定义的命令, CC2530 进行识别后, 再将已储存的环境参数经过 CP340 上传给 PLC。

CC2530 可设置三种工作方式: 协调器模式、路由器模式和终端模式。协调器主要负责建立和配置网络, 是 Zigbee 网络中的第一个设备; 路由器主要作用是加入协调器所建立的网络, 并辅助终端进行数据通信; 终端不负责维护整个网络, 对于本文设计的系统, 终端与路由器扮演的角色没有很大区别, 但终端可以睡眠并随时等待被唤醒, 可有效节能。本文通过设计主从通信方式, 即由 PLC 控制 CP340 发出串口信息, 主动通过 ZigBee 协议经由协调器向各个路由器或终端发出环境信息请求指令, 当路由器或终端接到信息请求指令后, 判断对象是否为本路由器或终端下挂载的传感器或控制器, 若是, 则相应路由器或终端会将信息发送至协调器, 协调器再通过西门子 CP340 模块将参数传输至 PLC 进行处理, 达到了节能的效果, 尤其在大范围监控的应用中, 工作于终端模式的 CC2530 甚至可以用普通电池进行供电。但作为中继器的 CC2530 需工作在路由器模式下, 通过合理布局, 在关键节点位置合理设置中继器, 使其工作于路由器模式即可。

红外控制作为一种无线、非接触控制技术, 广泛应用于工业控制、家电行业等各个领域<sup>[8]</sup>。收集大量的设备遥控器代码, 内置于 PLC 的数据块中, 用户可根据个人使用的品牌, 在上位机上进行选择, 从而实现了对空调等设备的自动控制。但是由于实际中各类设备品牌繁杂, 且每个品牌的遥控器代码均不同, 不易收集完整, 并且设备更新速度较快, 仅仅通过内置代码可能无法满足要求, 为解决此问题, 提出了一种基于 PLC 的遥控代码学习功能, 作为功能补充, 弥补个别设备因无遥控代码数据库而无法控制的缺点。经过大量的调查得出, 目前遥控器基本采用 NEC 编码实现, 鉴于此, 根据 NEC 编码规则, 设计了遥控器学习功能, 即通过上位机提供设置向导, 由 PLC 发出红外接收等待指令, 此时将设备原装遥控器对准红外接收装置并按下, 该按键的 NEC 编码通过 ZigBee 网络上传至 PLC 主机, 并进行储存, 完成学习功能。当需要使用该按键功能时, 再由 PLC 将已经储存的代码通过 ZigBee 网络传给红外发射器, 进而实现控制功能。基于 PLC 的红外学习向导流程如图 5 所示。

## 4 监控系统设计

### 4.1 基于 WINCC 的监控系统的设计

SIMATIC 操作面板是全集成自动化 (TIA) 的一部分, 广泛地应用于自动化系统中。由于 TIA 集成的独一无二的技术, 可以帮助工程设计人员大量减少组态时间<sup>[9]</sup>。SIMATIC WinCC 用于组态 SIMATIC HMI 操作面板, HMI 人机交互界面的主要功能是对整个系统的当前状态进行实时监测以及用户在界面上直接操作。WinCC 监控界面如图 6 所示。

以一栋六层的建筑楼为例, WinCC 监控界面主要分为主界面和子界面, 主界面选择进入某一房间, 子界面主要显示房间内部的具体情况。如图 6 所示, 为 101 号房间的环境监控子界面, 该界面主要包括 4 个部分, 环境参数显示, 阈值设定,

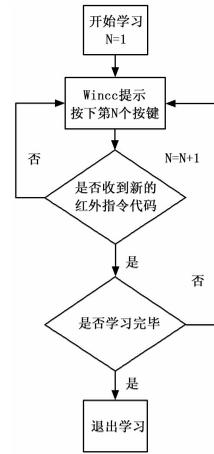


图 5 遥控器学习向导图



图 6 基于 Wincc 的监控界面

设备状态, 设备选择, 包含手动和自动模式, PLC 将采集的数据信号进行处理分析后, 将处理后的结果在该界面进行显示, 也可手动控制各执行机构动作, 满足特定需求。其他房间类似, 但显示的参数和控制的设备视具体情况而定。

### 4.2 基于 GSM 的远程监控系统设计

基于 GSM 模块实现危险气体报警功能。GSM 模块型号选择 SIM900A, 该模块能够提供符合 GSM07.05 协议规范的命令接口和标准 AT 指令集, 具备 RS-232 通信方式<sup>[10]</sup>, PLC 与 GSM 模块之间通信的传输数据和指令符号均采用 ASCII 码形式。

本环节需要实现 PLC 和 GSM 模块之间的通信, 将 GSM 的 AT 指令存于 PLC 的数据块中, 主要包括发送和接收短信的手机号码和发送的短信内容等信息。使用串口发送 AT 指令以实现发送报警短信功能, 主要包括以下步骤:

- 1) 设置为文本模式, 指令为:  
AT+CMGF=1;
- 2) 设置文本参数, 指令为:  
AT+CSMP=17, 167, 2, 25;
- 3) 设置编码类型为 UCS2, 指令为:  
AT+CSCS="UCS2";
- 4) 设置接收短信的手机号码, 接收短信号码通过上位机进行设置, 然后通过插入 0 的方式转换为 SIM900A 可以识别的 AT 指令, 再将转换后的包含手机号码的 AT 指令通过串口发送至 SIM900A, 例如系统将报警短信发送至 13012345678, 发送指令如下:

1) 系统控制初始化 OLED、初始化温度处理部分, 清除计数值;

2) 红外测温传感器接收红外信号;

3) 红外测温传感器解算红外信号转换电信号传输给单片机;

4) 单片机处理温度值;

5) 单片机将测量温度进行处理后的温度值, 显示在 OLED 上;

6) 当测量温度大于 100℃ 时, 报警系统灯亮;

7) 当按下复位键时, 启动复位功能。

主程序的部分代码如下所示:

.....

```
void MLX90614_Init(void)
{
    RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_GPIOA, ENABLE);
    _SCL_IO();
    _SDA_OUTPUT();
    SCL(0);
    delaysms(3); // 转换 PWM 模式到 SMBUS 模式
    SCL(1);
}
void MLX90614_Read(MLX90614 * p)
{
    // u8 slaveaddress;
    u32 DATA;
    // slaveaddress = MEM_READ(0x00, 0x2E);
    // 在 EEPROM 上存储从地址 "0Eh"
    // DATA[4] = MEM_READ(0x00, 0x20);
    DATA = MEM_READ(0x00, 0x07);
    // 从 MLX90614 RAM 07h 阅读对象的温度
    p->obj_tmp = CALTEMP(DATA);
```

(上接第 114 页)

AT+CMGS=

" 00310038003000310032003300340035003600360038"

5) 最后, 将需要发送的内容通过串口传给 SIM900A, 例如本文发送“烟雾报警”四个字到接收短信的手机, 需将这四个字转换成 Unicode, 指令如下:

70DF96FE62A58B66。

当系统监测出危险气体含量超标时, 需要发出报警短信。首先, PLC 内置以上 AT 指令, 并将上位机设置的手机号码加入 AT 指令, 需要报警时, PLC 通过 CP340 将短信报警的 AT 指令发送给 GSM 模块, 从而实现短信报警功能。

## 5 总结

本文设计了基于 ZigBee 和 PLC 的建筑和楼宇室内环境实时监测与控制系统, 系统可以对室内各环境参数进行准确的采集与传输, 进而根据预设的参数来调节和控制室内环境。目前市场上多数同类控制器为成套装置, 扩展新设备比较困难, 本装置增加了学习功能, 使其具有更强的通用性, 终端模块化可使用户可根据实际需求灵活选择。经过测试运行表明, 该系统具有组网灵活, 实用性强, 可靠性高, 通用性好以及低功耗等特点, 无线通信方式也可以很好地解决布线麻烦和维护困难等缺点, 在环境检测行业领域具有良好的市场前景和应用价值。

.....

## 3.3 试验结果与分析

坦克射击时往往伴随着强烈震动等恶劣工作环境, 因而给测试仪器的正常工作增加了一定难度。在实车测试中, 火炮反后坐装置温度自动测量记录装置能够完成对应的测试功能, 与人工测量相比, 它能够实现对火炮反后坐温度更加精确的自动化测量。下一步应当继续改进其总体结构, 在加装防护壳的同时, 使其更加紧凑, 更加容易安置于坦克内部。

## 4 结束语

通过提出一种温度自动测量技术及其控制方法, 利用红外辐射测温装置, 能够显示火炮反后坐装置温度, 同时具备存储温度数据功能, 从而可通过大量的数据研究其后坐规律, 更好地维修保养火炮反后坐装置; 当火炮后坐温度超过预设值时, 装备具有报警功能, 提高装备的使用寿命; 利用温湿度传感器对环境湿度进行检测, 进而修正了测量误差, 实现了火炮后坐装置温度的精准测量, 对射手正确操作使用也起到了监督和安全作用, 在未来装备使用和保障上将具备较大的应用价值。

### 参考文献:

- [1] 王国辉. 装甲车辆武器系统 [M]. 北京: 装甲兵工程学院, 2014.
- [2] 高跃飞. 火炮反后坐装置的设计 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
- [3] 谢克瑜, 袁伟群, 徐蓉, 等. 电磁轨道发射系统后坐力研究及反后坐装置设计 [J]. 弹道学报, 2014, (4): 98-101, 106.
- [4] 杜中华, 狄长春. 某火炮复杂反后坐装置工作特性仿真分析 [J]. 机械工程师, 2011, (2): 96-99.
- [5] 郁有文. 传感器原理及工程应用 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000.
- [6] 猛立凡. 传感器原理与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [7] 杨代华. 单片机原理及应用 [M]. 北京: 中国地质大学出版社, 2003.

### 参考文献:

- [1] 赵玉民. 数字家庭的应用业务及其系统设计研究 [J]. 电视技术, 2013, S1: 21-30.
- [2] 陈立伟, 杨建华, 曹晓欢, 等. 物联网架构下的室内环境监控系统 [J]. 电子科技大学学报, 2012 (2): 265-268.
- [3] 何雪勤. ZigBee 技术在智能家居系统中的应用研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2015.
- [4] 尹纪庭, 袁佳, 焦志曼, 等. 基于 ARM 和 ZigBee 的智能家居控制系统研究与开发 [J]. 计算机测量与控制, 2013 (9): 2451-2454.
- [5] 张琰, 李吴松, 张荆沙, 等. 物联网环境下基于 PLC 的远程控制系统设计 [J]. 微电子学与计算机, 2016 (2): 130-134.
- [6] 王风. 基于 CC2530 的 ZigBee 无线传感器网络的设计与实现 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012.
- [7] 刘毅力, 焦尚彬. 基于 CC2530 无线传感网络系统的设计 [J]. 现代电子技术, 2013 (3): 43-46.
- [8] 李瑾瑞. 学习型红外控制器的设计与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2014.
- [9] 杨路明, 雷亚军. 组态软件 WinCC 在自动监控系统中的应用 [J]. 计算技术与自动化, 2003 (4): 21-24.
- [10] 刘主链, 宋跃, 何志辉, 等. 无线模块与 GSM 实现的智能远程家居控制系统 [J]. 计算机测量与控制, 2011 (9): 2133-2135.