

基于物联网技术的教学楼电器智能监控系统设计

李玉环, 秦文华, 周子力, 吴冬梅

(曲阜师范大学 物理工程学院, 山东 曲阜 273165)

摘要: 针对校园用电严重浪费问题, 为实现校园节能, 结合物联网和多种数据传输技术, 设计了一种对学校教学楼各教室内电器集中化、网络化和智能化的监控系统; 该系统以监控网关为自动控制中心, 对 ZigBee 网络的终端节点采集的每个教室光强、温度、人员活动以及所有教室常用电器开关状态等信息, 自动做出智能判断并向 ZigBee 网络终端下达开关常用电器以及门窗的指令; 同时, 连接至校园网的监控网关也作为服务器, 采用浏览器/服务器和客户端/服务器模式, 在 Windows 客户端、Android 手机客户端和 Web 浏览器实时远程查看每个教室用电器的工作状态, 并可以远程人为干预各教室门窗和用电器的开关; 该系统不但实现了远程人为控制用电器, 而且可根据各教室的光强、温度以及人员活动等情况, 自动智能控制每个教室内常用电器及门窗的开关; 实际测试表明, 该系统具有良好的可靠性和稳定性, 大大减少了校园的能源浪费。

关键词: 物联网; 智能教室; 教学楼; 监控网关; 网络监控系统

Design of Intelligent Monitoring System of Electrical Devices for Teaching Buildings Based on Internet of Things

Li Yuhuan, Qin Wenhua, Zhou Zili, Wu Dongmei

(College of Physics and Engineering, Qufu Normal University, Qufu 273165, China)

Abstract: Aiming at the waste of electric energy and reducing energy consumption in university, a centralized, network and intelligent monitoring system for the electrical devices in the classrooms in the teaching buildings of schools is designed in combination with the Internet of Things and various data transmission technologies. As the automatic control centre of the system, the monitor gateway can do intelligent judgments with the data sent from the terminal sensing unit concerning illumination intensity, temperature, activity of students and switch states of every electrical devices in all classrooms. Meanwhile, using the Browser/Server and Client/Server mode, the monitor gateway connected with campus network can act as server, and the operator can view the working states of every electrical devices and control the switch of every electrical devices, windows and doors in all classrooms in real time by the Windows client, Android client and Web browser. Not only can the electrical devices in one classroom in the teaching buildings of schools be controlled remotely with human intervention, but also can be controlled automatically and intelligently with the light intensity, temperature and human activity of this classroom by this system. Practical tests show that the system has good reliability and stability, greatly reducing the campus waste of energy.

Keywords: internet of things; intelligent classroom; teaching building; monitor gateway; network monitoring system

0 引言

节能环保目前越来越受到人们的关注, 而人们在节能减排之时往往忽略身边公共场所用电器的节能, 如: 学校教学楼内空调、电灯和风扇等电器的关闭往往被人们忽视, 或者教室门窗未关, 而空调却处于开启状态等现象, 造成能源的极大浪费。

假设有 10 座教学楼, 每座教学楼有 20 个标准教室, 每个教室有 2 个平均功率为 3 500 W 的立柜空调、20 个 45 W 的电灯和 10 个 70 W 的风扇。当每个教室三者全部同时工作时, 整个校园内每个小时, 仅教室内常用电器将消耗 $10 \times 20 \times (2$

$\times 3500 + 20 \times 45 + 10 \times 70) = 1\ 720\ \text{kW}$; 但是如果空调开启后不开启风扇, 整个校园内每小时将减少 $10 \times 20 \times 10 \times 70 = 140\ \text{kW}$; 如果电灯能及时关闭, 整个校园每小时将减少 $10 \times 20 \times 20 \times 45 = 180\ \text{kW}$; 如果在窗户均为关闭时, 室内达到相同温度时, 每个空调的平均耗能 will 增加 500 W, 此时, 整个校园内每小时将增加消耗 $10 \times 20 \times 2 \times 500 = 220\ \text{kW}$; 如果能够远程监控并且自动智能地管理这些用电器, 则可以减少不必要的能源消耗。

目前国内研究中, 文献 [1-3] 仅仅是对校园的照明进行监控, 而多数高校教室内还有空调、风扇等常用电器, 这些文献并未提出针对这些用电器智能控制的解决方案。文献 [1-2] 没有基于 Internet 的远程监控, 使得监控系统在使用时受到地域空间的限制, 而文献 [3] 中的控制系统虽借助了 Internet, 但是仅有 Web 界面, 使得控制方式有局限性。

针对这种情况, 将物联网技术应用到对教学楼各教室常用电器的控制中, 利用 ZigBee 协议将各教室用电器控制模块按照一定的拓扑结构互联起来, 结合传感器技术和多种数据传输技术, 借助校园网, 实现对教学楼每个教室的常用电器的智能化、集中化和网络化的监控管理, 达到节约能源的目的; 同时, 为使监控变得更加高效便捷, 设计了基于 Internet 的 3 种

收稿日期: 2015-09-01; 修回日期: 2015-09-25。

基金项目: 国家自然科学基金(61203301); 国家级大学生创新训练基金(201410446012); 山东省科技发展计划项目基金(2014GGX101027)。

作者简介: 李玉环(1992-), 男, 山东临沂人, 本科生, 主要从事无线通信、智能控制方向的研究。

周子力(1973-), 男, 山东济宁人, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事智能控制、大数据及语音控制方向的研究。

监控客户端: Windows PC 客户端、Android 手机客户端和 Web 客户端。

1 系统设计

系统的整体结构设计如图 1 所示,

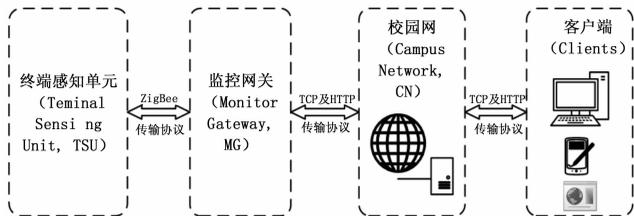


图 1 系统整体结构图

整个系统主要由各个教室内的终端感知单元 (TSU)、监控网关 (MG)、校园网 (CN) 和客户端 (Clients) 4 部分组成。

1.1 终端感知单元

终端感知单元主要是负责环境参数的检测和对教室内用电器及门窗的开关控制。此子系统采用低功耗、低成本和大容量的 ZigBee 无线自组网方式, 实现近距离、高可靠的双向无线通信^[4]。

每个教室的终端感知单元包括 5 个路由 (ZigBee Routers) 节点: 此教室的电源总开关路由节点、电灯路由节点、风扇路由节点、空调路由节点和门窗路由节点, 结构内容如图 2 所示。



图 2 教室内的终端感知单元 (TSU)

这 5 个路由节点除了包含: 温湿度检测传感器、可燃性气体检测传感器、烟雾检测传感器、红外热释电检测传感器、光照检测传感器、雨水检测传感器; 还根据不同的受控用电器或设备, 包含相关的控制模块。

电灯或风扇的路由节点还包含: 用电器运行状态检测模块、电灯或风扇开关控制模块; 空调路由节点还包含: 用电器运行状态检测模块、空调控制模块; 电源总开关路由节点还包含继电器模块; 门窗路由节点还包含: 雨水检测传感器、门窗开关状态检测模块、门窗开关控制器。

1.2 监控网关

监控网关 (MG) 部分包括 ZigBee 网络的协调器 (ZC) 和 Internet 服务器 (Server) 两部分, 其间通过 UART 串口进行实时的相互通信, 协调器负责向服务器传送所有路由 (ZR) 节点采集的教室环境参数, 并向相关路由节点下达服务器依据这些参数做出的控制指令, 该部分的结构如图 3 所示。

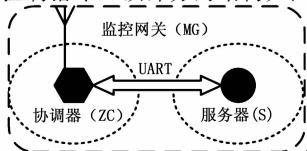


图 3 监控网关

服务器的主控芯片采用意法半导体 (STMicroelectronics, ST) 公司的 STM32F107VCT6^[5]。此芯片为互联型芯片, 支持以太网 (Ethernet、IEEE1588), 集成了 ARM Cortex-M3 32 位 RISC 内核, 最高工作频率为 72 MHz, 拥有 256KB 的 Flash、64KB 的 SRAM 和连接在 2 条 APB 总线的大量增强型 I/O, 具有高性价比、低功耗等特点, 完全满足此传统的设计需要。

1.3 客户端

为此系统设计了 3 种客户端: Windows PC 客户端、Android 手机客户端、WEB 网页客户端。用户借助各客户端的 UI 界面或网页界面, 可实时查看各教室用电器的的工作状态, 并且可以实时远程人为控制其开关。客户端对用电器控制的优先级高于监控网关中服务器的自动控制。

1.4 整体网络构建与传输

整个系统的网络构建如图 4 所示, 系统中的监控网关 (MG) 是整个异构融合网络的关键, 整个监控网关借助协调器的 ZigBee 收发模块与 ZigBee 网络中各个路由 (ZR) 通信, 同时借助服务器通过校园网 (CN), 使用数据无差错、不丢失、不重复, 并且按序到达的 TCP/IP 协议和 HTTP 协议与客户端 (Clients) 远程实时交互。

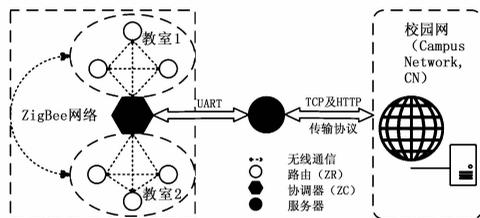


图 4 整体网络结构

由于路由 (ZR) 节点数量多, 且考虑到无线信号功率的穿墙损失, ZigBee 设备组网的拓扑结构采用网型结构 (MN)^[6], 并且路由节点具有数据转发功能, 可以保证 ZigBee 网络中数据传输的可靠性和系统的稳定以及低功耗。

2 硬件设计

硬件设计主要是路由 (ZC) 节点的设计。

2.1 路由节点总体设计

路由 (ZC) 节点是路由节点的主控芯片均采用德州仪器 (TI) 公司生产的 CC2530F256^[7], CC2530F256 与其他部分的连接如图 5。

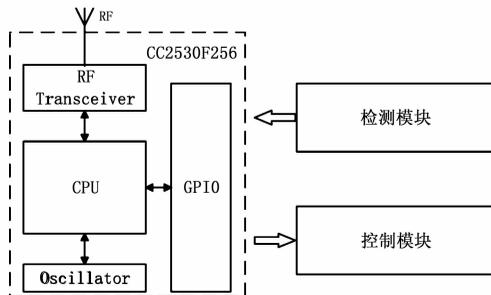


图 5 CC2530F256 与其他部分的连接图

路由节点中的温湿度、烟雾、可燃气体、光照、雨水等检测传感器使用现有的传感器模块, 其中红外热释电传感器采用

新型的更适合校园教室和图书馆的热释电开关^[8]，而非普通的靠近距离人体移动而触发的传感器；空调控制模块使用改造后的空调遥控器，这个无需改造空调本身，便于开发；门窗的开关状态检测模块使用接触式开关；门窗开关控制器使用现有的控制模块。

2.2 路由节点关键模块设计

电器开关控制模块和用电器运行状态感应模块是路由节点的关键模块。

2.2.1 用电器开关控制模块

为方便每个教室用电器因不同需要的使用，教室内的各用电器的开关由两级控制。例如每个教室所有灯的开关控制如图 6，当远程终端或者服务器打开了继电器模块时，可通过按键开关按需控制教室内的灯。

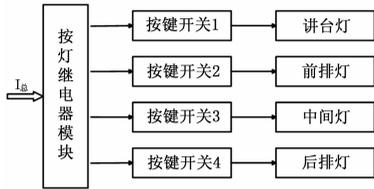


图 6 灯的二级开关模型

2.2.2 用电器运行状态感应模块^[9]

由于 CC2530F256 芯片无法直接测量 220V 交流工作电压的用电器工作状态，所以采用电流互感的方法，将互感器与教室内常用电器串联在 220V 交流电路中，使电路中的大电流互感成小电流，经过如图 7 所示电路，转换成 CC2530F256 可以直接测量的小电压信号。

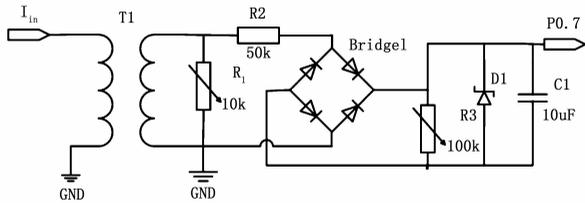


图 7 电器运行状态检测电路

假设图中互感器 T_1 的比例系数为 $n:m$ ，二极管 D_1 正向导通时两端电压为 U_d ，则对于电阻 R_3 两端的电压 U_3 有公式 (1)：

$$U_3 = (I_m \cdot \frac{n}{m} \cdot R_2 - 2 \times U_d) \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} \quad (1)$$

由于教室中不同用电器工作时电流不同，所以需要根据不同电器来调整电位器 R_1 和 R_3 使 D_1 处于击穿状态，从而在电阻 R_3 两端获得稳定电压 U_3 。

3 软件设计

软件设计包括三部分：ZigBee 网络程序设计、监控网关中服务器的程序设计和客户端程序设计。

3.1 ZigBee 网络程序设计

ZigBee 网络部分的程序设计包括两部分：路由 (ZR) 的程序设计和协调器 (ZC) 的程序设计。其使用 TI 公司提供的 ZStack-CC2530-2.5.1a 协议栈，在 IAR for 8051 的 8.10 版本上进行代码的编辑和编译；使用 ZStack 协议栈^[10]时，开发者只需调用 API 接口函数即可，可有效节省开发时间。

3.1.1 路由程序设计

每个路由 (ZR) 主要任务为网络的搜索与连接、采集和发送相关设备及环境的信息、控制相关设备，其工作流程如图 8。

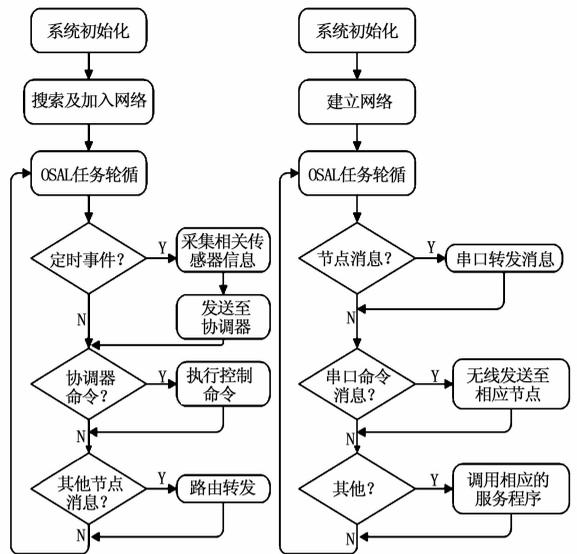


图 8 路由 (ZR) 程序流程图 9 协调器 (ZC) 程序流程

路由上电后，先进行系统初始化，再搜索并加入可用网络，之后进入 ZStack 协议栈操作系统 (operating system abstraction layer, OSAL) 的任务轮循。当有中断事件发生时，则判断事件类型：如果是定时采集本节点相关传感器信息的事件，则进行数据采集，并将采集的数据以规定的格式发送至协调器 (ZC)；若是收到协调器发送的控制命令，则执行相应的控制命令。

3.1.2 协调器程序设计

协调器 (ZC) 作为 ZigBee 网络的主控节点，负责网络的建立，节点的加入与管理和网络地址的分配；同时与服务器 (Server) 实时通信等。协调器的工作流程如图 9 所示。

协调器上电、系统初始化后，在某个空闲信道建立 ZigBee 网络；路由 (ZR) 节点认证后加入网络，同时协调器为其分配 ZigBee 一个网内唯一地址，并记录其地址信息，之后进入 OSAL 的任务轮循。当有中断事件发生时，对事件类型进行判断：如果是 ZigBee 网络路由发送过来的各教室检测信息，则将此消息以规定的格式通过串口发送至服务器 (Server) 进行分析处理；若是服务器发送的控制命令，则向相应节点发送相应控制命令。

3.2 服务器程序设计

监控网关中服务器 (Server) 程序设计包括两部分：客户端连接及控制程序设计、自动智能控制程序设计。

3.2.1 客户端连接及控制程序设计

服务器不仅负责接收、分析和处理协调器发送的数据，并向协调器下达智能处理结果即控制信息，还将相关的数据 (如：各教室用电器工作状态、温湿度等) 使用 TCP/IP 协议及 HTTP 协议分别传输到 PC 或 Android 客户端和 Web 网页客户端；而且还接收各客户端的控制命令，并向协调器发送客户端的控制命令。

此部分服务器的工作流程如图 10 所示。

服务器上电后，先进行系统初始化，并建立 TCP 和 Web

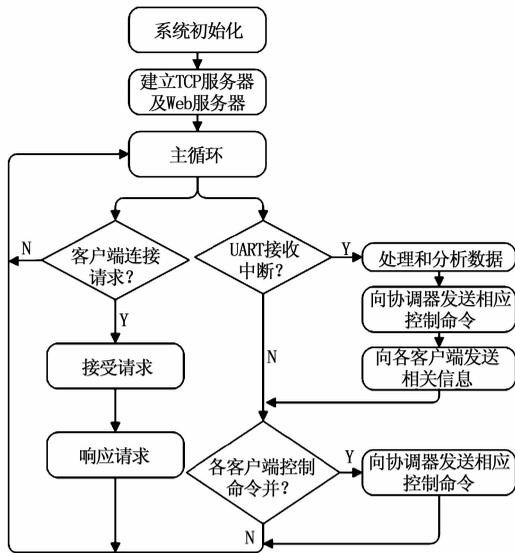


图 10 服务器程序流程

服务器, 之后进入 main 函数主循环, 检查是否有中断发生; 当有中断发生后, 判断中断类型, 此部分主要有 3 个中断源: 各客户端连接请求中断、UART 接收中断和各客户端的发送的控制命令。如果是各客户端 (Clients) 的连接请求, 接受并响应请求; 若是 UART 接受中断, 则是协调器 (ZC) 发送的采集信息, 对这些信息处理和判断后, 将相应的控制命令发送给协调器, 并将各用电器状态发送给各客户端; 如果是各客户端使用 TCP 协议发送的控制用电器开关的命令, 则向协调器转发此控制命令。

3.2.2 自动智能控制程序设计

服务器不仅完成整个系统的实时双向数据传输, 更重要的是能根据 ZigBee 网络终端感知系统的检测信息, 对各教室的各用电器进行智能控制:

- 1) 当检测到某教室光线较暗时, 服务器下达开灯命令;
- 2) 当收到某教室的烟雾或可燃性气体传感器发出异常信号后, 服务器将通过协调器发送关闭此教室总电源, 以保证用电安全;
- 3) 当收到某节点检测到雨水的信号时, 服务器将判断此教室窗户开关状态, 并发送关闭未关闭的窗户的信号; 以保证雨天因窗户未及时关闭而造成重要仪器和设备的受潮;
- 4) 当某教室空调开启后, 服务器将向此教室的终端发送关闭门窗和风扇的命令, 同时根据温湿度检测信息, 智能控制空调, 比如: 当检测到室内温度高于 20°C 时, 若当前模式是制热, 则减弱制热, 以节能;
- 5) 当某个教室所有的人体传感器 (PIR) 在一定时间 (例如 20 分钟) 内未检测人员时, 服务器下达关闭此教室所有用电器的命令; 当检测到有人时, 根据此教室其他传感器信息, 服务器发送开启相关用电器的命令等等。

3.3 客户端设计

该系统支持 3 种客户端: PC、Android 手机和 Web 网页客户端。在各客户端 (Clients) 均可实时查看整个教学楼内各教室用电器的的工作状态及工作时间, 并通过各客户端 UI 界面上的控制按钮, 控制各用电器的开关。

其中 PC 及 Android 手机客户端可使用 Qt5 开发环境开

发。Qt5 可编写跨平台的 GUI (graphical user interface), 简单方便。Web 网页客户端可使用 CGI (common gateway interface) 技术和 KDE (kool desktop environment) 环境进行设计, 在无法使用 PC 及 Android 手机时, 可使用 Web 网页客户端对系统进行查询与控制。

4 系统功能测试

在实际测试中, 用 3 个相距较远的教室的用电器控制代替整个教学楼的用电器控制。每个教室所控制的电器有 2 个空调、20 个电灯、10 个风扇和此教室的 1 个总开关, 还包括 4 个窗户开关控制器。

4.1 测试准备

首先将电器运行状态检测电路、各 ZigBee 模块与电器连接, 值得注意的是对不同用电器需要调整电位器 R1 和 R3 使 D1 处于击穿状态, 否则远程检测到的用电器状态不准确。

在对每个 ZigBee 模块烧写程序时, 需要修改 ZStack-CC2530-2.5.1a 协议栈 SimpleApp 下的 SimpleApp.c 中的 MY-ID 变量的值, 实现每个设备都有唯一的有规律的编号, 以便在客户端 (Clients) 区别不同教室的 ZigBee 设备, 实现集中化数据处理。

使用 STM32f107VC 开发板作服务器, 将服务器和 ZigBee 协调器通过 UART 串口连接, 在服务器 (Server) 程序下的 void InitNet (void) 函数中修改可接入校园网 (CN) 的 IP 地址, 由于在 STM32 开发板上无法简单的验证 IP 地址是否有效, 可以先将连接至校园网的电脑的 IP 修改为即将使用的 IP 来验证其是否可用。将程序编译后下载至 STM32 开发板, 接入网线后启动电源, 当 STM32 开发板上液晶显示:

IP 地址:10.10.84.244

路由地址:10.10.83.1

OK!

表示已经成功接入校园网并且设备已经初始化完成。

打开所有设备的电源, 检查所有的 ZigBee 节点设备 LED1 指示灯是否常亮, 常亮表示已经加入 ZigBee 网络, 并完成了初始化, 若未常亮, 需要重启协调器 (ZC), 使设备重新加入 ZigBee 网络。

4.2 客户端测试

将 Qt 编写的 UI 客户端程序在不同系统下的 Qt 编译环境中编译, 并生成相应系统下的 UI 客户端。

打开客户端后, 若客户端成功连接至服务器, 则弹出“连接成功”通知窗, 否则需检查服务器是否配置合理。在抽屉类的主界面上点击要监控的教室的按钮, 会弹出此教室所有用电器工作的时间和状态控制按钮, 若此设备已打开, 则“打开”按钮变灰, 将不可点击, 相应的“关闭”按钮可以点击, 在 UI 界面中不同用电器旁的 LCD 将显示此用电器的工作时间; 而在点击后相应教室的用电器将关闭, 同时 UI 界面的“关闭”按钮失能, “打开”按钮使能。退出客户端时, 将会清除相应的内存, 避免多次打开客户端时系统崩溃。

4.3 服务器自动控制测试

1) 将某个教室窗帘全部拉下, 此教室的灯全部自动打开, 并且客户端中此教室的灯的“打开”按钮变灰, 同时灯的运行时间开始计时;

2) 当在某教室制造烟雾时, 此教室总电源自动关闭, 并且客户端中此教室总开关处于关闭状态;

(下转第 140 页)