

基于 ZigBee 的智慧教室节能系统研究

李兆泽^{1, 2, 3}, 高波^{1, 2}, 彭程^{1, 2}, 张检亮^{1, 2}, 刘燧森^{1, 2},
甄李^{1, 2}, 李灿^{1, 2}, 杨志超^{1, 2}

(1. 河北水利电力学院 电力工程系, 河北 沧州 061001;

2. 河北省高校水利自动化与信息化应用技术研发中心, 河北 沧州 061001;

3. 内蒙古科技大学 信息工程学院, 内蒙古 包头 014010)

摘要: 针对高校教室电能浪费问题, 设计一种基于 ZigBee 的智慧教室节能系统; 系统以 STM32 作为主控单元, 由 ZigBee 协调器和终端节点形成的局域网络构成感知执行层, 并通过 Wi-Fi 网络和云平台, 实现控制中心对教室用电设备的状态感知和智慧控制; 同时针对温控设备功率有限以及室内复杂的温度干扰环境而导致室内温度无法稳定保持在合适范围, 基于 KNN 算法构建 NARX 神经网络温度预测模型, 实现利用已有环境数据预测下一时刻温度, 以达到对教室内温度的准确控制; 最后, 对系统功能和改进预测算法进行了实验验证, 运行结果表明该系统可以稳定运行, 并可以达到精确控制用电设备实现节约电能的目的。

关键词: 智慧教室; ZigBee; 远程监控; 云平台; STM32; NARX 神经网络

Research on Intelligent Classroom Energy Saving System Based on ZigBee

LI Zhaoze^{1, 2, 3}, GAO Bo^{1, 2}, PENG Cheng^{1, 2}, ZHANG Jianliang^{1, 2}, LIU Yimiao^{1, 2},
ZHEN Li^{1, 2}, LI Can^{1, 2}, YANG Zhichao^{1, 2}

(1. School of Power Engineering, Hebei University of Water Resources and Electric Engineering, Cangzhou 061001, China;

2. The Automation and Information Application Technology R & D Center of Water Conservancy in the University of Hebei Province, Cangzhou 061001, China;

3. School of Information Engineering, Inner Mongolia University of Science & Technology, Baotou 014010, China)

Abstract: Aiming at the problem of energy waste in college classrooms, a smart classroom energy saving system based on ZigBee is designed. The system takes STM32 microprocessor as the main control unit, and the local area network formed by ZigBee coordinator and terminal nodes constitutes the perception and execution layer. Through Wi-Fi network and cloud platform, the control center realizes the state perception and intelligent control of electrical equipment in the classroom. At the same time, aiming at the limited power of temperature control equipment and the complex temperature interference environment in the classroom, the indoor temperature cannot be stably maintained in an appropriate range. Based on KNN algorithm, an NARX neural network temperature prediction model is constructed to predict the temperature at the next moment by using existing environmental data, so as to achieve the accurate temperature control in the classroom. Finally, the system function and improved prediction algorithm are verified by the experiments. The running results show that the system can run stably and achieve the purpose of accurately controlling the electrical equipment and saving energy.

Keywords: intelligent classroom; ZigBee; remote monitoring; cloud platform; STM32; NARX neural network

0 引言

在这个信息日新月异的时代, 各种信息技术如同雨后春笋, 以太网、大数据、物联网等新生事物相继出现, 这些技术无时无刻都在影响着人们的生产生活^[1]。随着当前教室现代化的不断发展, 用电设备不断增加。高校教室普遍存在设备无人使用但常开的现象, 这类现象不仅造成大

量的电能浪费而且个别用电设备过度使用会缩短电器的使用寿命, 为教室的管理工作带来不必要的麻烦^[2]。

近年来国内外的学者都对智慧教室进行研究。文献[3]提出可以自动对学习者的工作习惯进行记忆的学习系统模型, 使学习系统能够根据学习者的学习习惯、兴趣爱好、个性化需求推送更为有效的学习资源。文献[4]提出智慧学习环境的基础应用是信息通讯技术, 主要是以学习

收稿日期: 2022-09-19; 修回日期: 2022-10-26。

基金项目: 国家级大学生创新创业项目(202210085008); 河北省大学生创新训练项目(S202210085024、S202210085025); 河北省大中学生科技创新能力培育专项项目(22E50420D); 河北省高等学校科学研究计划项目(QN2020187); 河北省沧州市科技项目(183104001); 河北水利电力学院基本科研业务费专项资金资助(SYKY2108, SYKY2109)。

作者简介: 李兆泽(1999-), 男, 河北晋州市人, 硕士研究生, 主要从事能源动力和电气工程方向的研究。

通讯作者: 高波(1989-), 男, 河南信阳人, 硕士, 讲师, 主要从事电气工程及其自动化相关领域方向的研究。

引用格式: 李兆泽, 高波, 彭程, 等. 基于 ZigBee 的智慧教室节能系统研究[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(1): 215-221.

者为中心且具有一定特征的环境，能够适应不同学习者的学习生活需要和学习生活风格，这个环境可以为学习者随时学习提供有力的支持和极具人性化的服务。文献 [5] 提出使用智能软件对学习环境和学习对象进行检测，并利用 Multiagent 对智慧学习环境进行建模，以此达到强化智慧学习环境体验的效果。文献 [6] 提出一款算法复杂度低、硬件要求低的智慧教室网关，通过 ZigBee 协议与 TCP/IP 协议的转换，借助于 putty 串口实现智能教室的远程管理和无线传输。文献 [7] 提出并设计的智能教室下的协作学习模式，充分发挥智能教室高效的人机互动、学习痕迹保留的优势。根据当时的传统教室中的种种问题，构建智能教室下的协作学习模式。文献 [8] 提出并设计的教学楼智能照明节能控制系统，使用传感器对教室内的人数和光照强度进行信息采集，并通过 ZigBee 自组局域网传输数据。同时为方便老师和同学们查找空教室，还设计了薄膜晶体管液晶显示器 (TFTLCD, thin film transistor liquid crystal display) 显示信息。虽然智能教室构想不尽相同，但其总体的发展目标都是以人为本，通过物联网技术、无线传感器网络、无线通讯技术、嵌入式技术、计算机技术等，将环境、资源、人和教学活动有机结合，建设一个舒适节能、绿色环保、交互广泛、功能完善的教学环境^[9-11]。

然而，传统智慧教室只对教室内部分用电设备进行单一的控制。虽然能保证每部分能够正常工作，但是环境舒适度较差。因此，基于 ZigBee 的智慧教室节能系统研究利用 ZigBee 自组局域网作为底层构架，通过温湿度传感器、光敏传感器、人体红外感应和继电器等对教室环境进行智能化、网络化监控。主控制器通过串口实现与 ZigBee 自组局域网的通讯，并通过 Wi-Fi 模块实现与后台管理界面的数据交互^[12-14]。同时，系统利用带有外部输入的非线性自回归神经网络 (NARX, nonlinear auto-regressive model with exogenous inputs) 构建温度预测模型，避免温控设备功率有限以及室内复杂的温度干扰环境而导致室内温度无法稳定保持在合适范围^[15-16]。

1 系统结构及原理

系统包括物联网感知执行层、网络层和应用层 3 层架构。利用 CC2530 芯片组建 ZigBee 自组局域网作为感知执行层的主要部分。其中 ZigBee 终端节点配备各种传感器和继电器监控教室用电设备，ZigBee 协调器通过串口将自组局域网采集的数据发送至主控制器^[17-20]。利用 STM32F103ZET6 作为主控制器，利用 ESP8266 Wi-Fi 模块构建网关，搭载云平台作为系统网络层，云平台会实时存储系统传输的数据并供应用层查看，同时也可接收应用层下达的指令发送至感知执行层。利用后台管理界面作为该系统物联网的应用层，可以实时进行数据接收和指令下达。智慧教室节能系统总体架构如图 1 所示。

该系统正常工作时，系统可对教室环境和用电设备进行精细化、分区域监控。用户可通过应用层后台管理界面

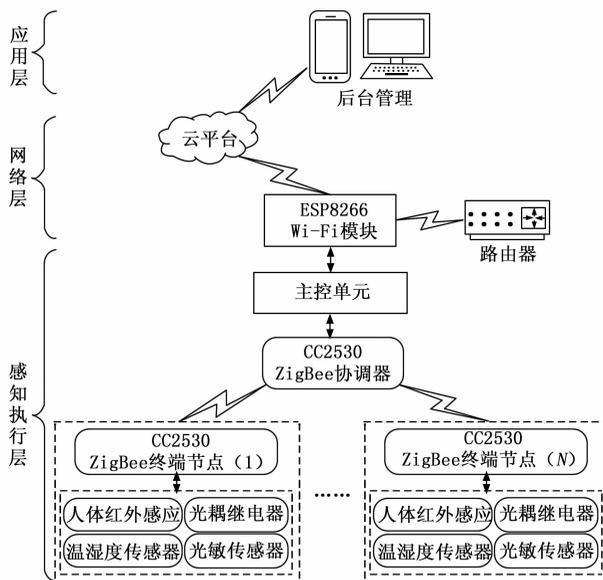


图 1 智慧教室节能系统总体架构

远程查看教室内温湿度、用电设备工作情况等信息，还可使用后台管理界面对感知执行层下达指令，进而控制用电设备启停。

2 系统硬件设计

2.1 主控单元设计

系统采用 STM32F103ZET6 芯片作为主控制器，主控制器配备最小系统电路、串口模块、电源电路和执行模块作为主控单元的核心。STM32F103ZET6 芯片的 32 位微型控制器可以满足各个行业的需求，其基于 ARM Cortex_M3 核心拥有 112 个 I/O 口和高达 72 MHz 的时钟频率。STM32F103ZET6 的内部还包含 512 kB 的 FLASH 和 64 kB 的 SRAM，并且拥有 5 个串口。STM32 目前支持 16 个内核中断和 68 个外部中断，以及 16 级可编程中断优先级。

最小系统电路包括晶振电路和复位电路。晶振电路为主控制器执行各种命令和与运行提供基本的时钟信号。复位电路的作用是使主控制器在重新上电后，由初始状态开始工作。主控制器选择的是掉电复位，当复位后，所有数据（除备份区）都将复位。

主控单元结构图如图 2 所示。

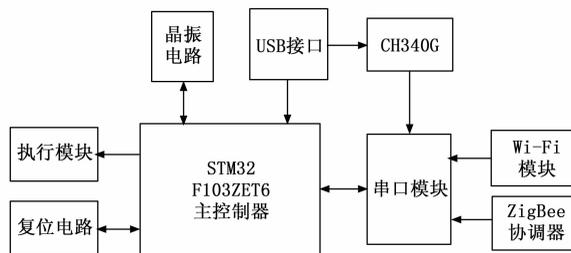


图 2 系统主控单元结构图

利用通用串行总线 (USB, universal serial bus) 给系统提供 5 V 的供电电压。系统使用 STM32F103ZET6 的 5 个串口实现不同功能。串口连接 Wi-Fi 模块进行数据透传, 完成主控单元与云平台的信息交互。串口连接 ZigBee 协调器, 通过串口中断函数接收传输来的数据。使用 USB 接口通过 CH340G 电路连接串口, USB 接口的第 2 引脚和第 3 引脚分别接 CH340G 的第 5 引脚和第 6 引脚, 由 CH340G 的第 2 引脚 RXD 和第 3 引脚 TXD 连接芯片的串口, 通过这个 USB 转串口电路可以对主控制器进行程序下载和调试。CH340G 原理图如图 3 所示。

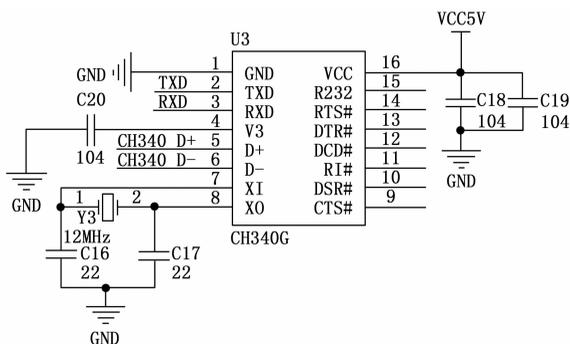


图 3 CH340G 原理图

2.2 Wi-Fi 模块的设计

消息队列遥测传输协议 (MQTT, message queuing telemetry transport) 是 IBM 发布的构建于 TCP/IP 协议之上的协议, MQTT 协议是基于发布/订阅 (Pub/Sub, publish/subscribe) 模式的“轻量级”通讯协议。其最大优点是远程设备提供稳定且实时的消息服务时, 只需要少量的程序代码和有限的带宽。这个优点能够弥补嵌入式系统运算能力有限和带宽薄弱的不足。该系统使用 Keil MDK 5 开发环境, 将 MQTT 协议移植入 STM32 主控制器上, 配备 ESP8266 Wi-Fi 模块作为系统网关, 通过家用路由器连接云平台实现远程通讯。

ESP8266 具有强大的片上处理、储存能力, 其共有 16 个 GPIO 引脚, 可通过固件分配不同引脚的功能。正常工作时, 分别将 ESP8266 对应的 RXD 和 TXD 引脚连接到主控制器同步/异步收发器上进行数据传输。主控制器的开发板要为 ESP8266 的核心板提供持续稳定的 5 V 电压, 经过 RT9193-33 稳压模块将电压稳定到 3.3 V 并连接到供电引脚, 以保证 ESP8266 芯片正常工作。同时还要将 ESP8266 的 RESET 引脚与 VCC 相连, 经 R9 接高电平以保证芯片在正常运行时不会被置位。ESP8266 电路如图 4 所示。

2.3 ZigBee 自组局域网的设计

ZigBee 自组局域网支持 3 种拓扑结构: 星型、树状和

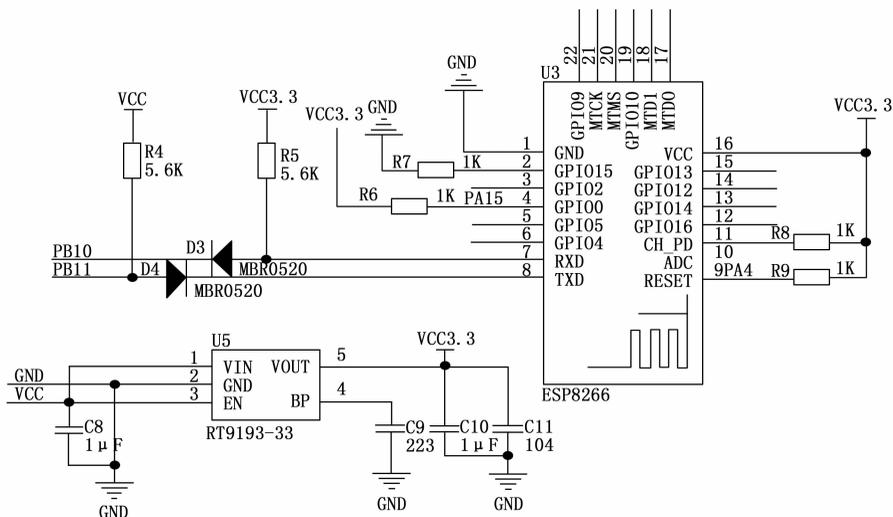


图 4 ESP8266 电路原理图

网状。通过对这 3 种网络结构比较, 星形网络通讯在数据传输范围内不需要添加 Router, 更适合单点、传输距离相对较近的应用。该系统指定一个 ZigBee 节点为协调器负责与主控制器传输数据, 其余节点为终端节点, 终端节点配备传感器和继电器, 实现对用电设备的智能监控。终端节点对教室的温湿度、光照强度、是否有人、用电设备运行状况等信息监控, 并实时发送数据至协调器。自组局域网中协调器是全网络的信息汇集中心, 所有终端节点都要将数据汇集到协调器。协调器按组网时分配终端节点的地址依次对其进行通讯, 并将数据通过串口发送至服务器。星型拓扑结构如图 5 所示, 均由 CC2530 作为 ZigBee 协调器和终端节点。

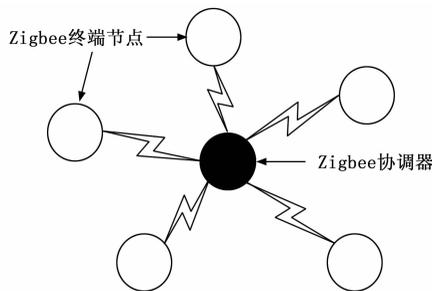


图 5 ZigBee 自组局域网星型拓扑结构

CC2530 使用的是 8051 中央处理器 (CPU, central processing unit), 具备 2.4 GHz IEEE802.15.4 的射频收发器, 抗电磁干扰能力强, 并有较高的灵敏度。CC2530 内部拥有 18 个中断源, 还拥有有一个低功耗的 8-KB SRAM 具备在各种供电方式下的数据保持能力。

ZigBee 终端节点利用传感器和继电器对教室进行分区域智能化、网络化控制。由 GL5516 光敏传感器采集室内的光照强度, 利用 DHT11 温湿度传感器采集室内温湿度, 由 HC-SR501 人体红外感应采集人员信息。每次的数据采集都是由 ZigBee 终端节点发起, 大约持续 4 ms。定义 CC2530

的端口为输出模式，通过控制量输出端口输出高电平控制继电器开关用电设备。终端节点将数据传输给协调器，再由串口连接 STM32，以传输终端节点采集的信息数据。

2.4 PWM 驱动模块

主控单元的执行模块负责执行后台管理界面下达的命令，STM32 芯片通过继电器控制用电设备的开关。其中灯具利用人体红外传感器和 PWM 配合控制，达到节能和提高舒适度的效果。由于教室内人员位置不确定性，人来灯开、人走灯关的传统控制方法并不适用于教室内的灯具控制。当有人进入教室时，光照强度没有达到规定的阈值，教室内所有的灯会打开，并进入延时。当教室内人员确定好自己的位置后，待延时结束，有人的位置灯具继续保持，没有人的位置灯具就会由主控制器的 PA0 引脚输出不同占空比的 PWM 控制灯光逐渐的暗下来，并保持让人感觉舒适的亮度。PWM 控制电路如图 6 所示。

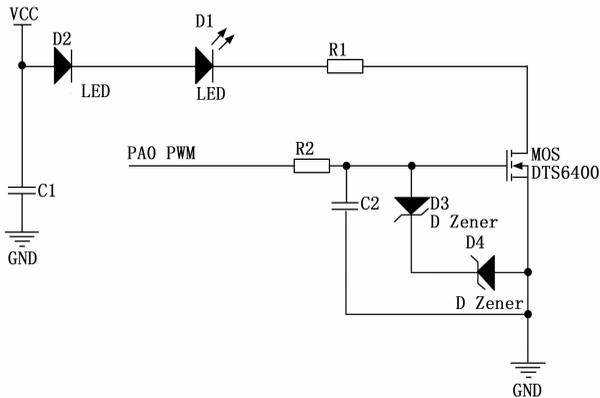


图 6 PWM 控制电路

3 温度预测算法及系统软件程序设计

3.1 教室温度预测模型算法的构建

一般情况下教室内的温控设备功率有限并且室内温度干扰环境复杂。实时的设备开关控制难以使室内温度长期稳定的保持在合适的范围。系统利用 NARX 神经网络构建温度预测模型对教室的温度进行预测控制，使室内温度稳定保持在舒适范围内。

3.1.1 异常数据剔除与修补

系统采集环境因素的准确性是系统执行控制命令的先决条件。为避免环境因素在采集和传输过程中由于干扰造成的数值错误，为此系统建立环境因素样本 $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_N\}$ 用来剔除异常数值，以保证系统运行。样本数组中的样本由短期采集的 N 个环境因素组成，当有新的数据被采集，样本中最先采集到的数据将会被挤出样本，以此达到样本的实时更新。通过拉依达准则对新数值进行分析，计算样本数组的标准差为：

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

新数值的剩余误差为：

$$e = |x_N - \bar{x}| \quad (2)$$

因短期的环境因素不会发生大的波动，新数据若满足 $e > 3\sigma$ ，则新数据被判定为坏值，系统在执行控制命令时将不在调用被判定为坏值的数据。坏值被剔除后，采用 K 最近邻算法 (KNN, k-nearest neighbor) 修补缺失的数据。KNN 被称为基于实例的学习模型，在一个样本空间里，测试样本同与其距离最近的 K 个邻近样本在绝大多数情况下属于同类别。利用 KNN 分类算法，首先将样本根据环境因素对系统的影响进行分类，其次计算出各个样本与测试样本间的欧氏距离， a 和 b 之间的欧氏距离可以表示为：

$$Dist = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2} \quad (3)$$

再次给测试样本赋予 K 个邻近样本中的最多数样本代表的类。然后对缺失的数据点进行修补，修补的数值为：

$$x_n = \frac{p_1 x_{11} + p_2 x_{22} + \dots + p_K x_{Kk}}{p_1 + p_2 + \dots + p_K} \quad (4)$$

式中， $p_j (j = 1, 2, \dots, K)$ 为权重。

3.1.2 NARX 温度预测模型

NARX 是一种有记忆能力的带外源输入的非线性自回归神经网络。NARX 神经网络通过定时器记录外部的输入和输出，具有动态储存功能和较强的记忆体系，以此模拟人脑。其学习能力、预测精度、收敛速度等性能与传统的循环神经网络相比效果更为显著。因此，在具有复杂映射关系的时变非线性系统的预测中被广泛应用。NARX 神经网络结构图如图 7 所示。

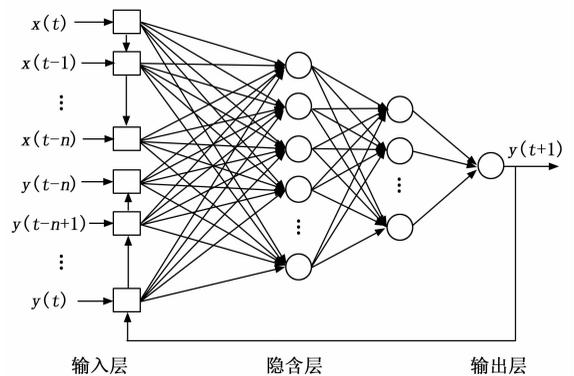


图 7 NARX 神经网络结构图

NARX 神经网络包含输入层、隐含层、输出层三层神经网络结构。使用 NARX 预测教室温度时，需要考虑到教室内的温湿度、光照强度、人员分布、部分用电设备的使用情况等信息。输入量 $\{x(t), x(t-1), \dots, x(t-n)\}$ 是对应时刻的温湿度、光照强度、各种用电设备的工作状态等数据，输入量 $\{y(t), y(t-1), \dots, y(t-n)\}$ 是对应时刻神经网络的自身输出，输出量 $y(t+1)$ 是对应时刻的模型预测值。NARX 神经网络含有输出层到输入层的反馈路径，能够充分的利用历史数据，模型预测值 $y(t+1)$ 取决于模型外部输入量 $\{x(t), x(t-1), \dots, x(t-n)\}$ 和自输入量 $\{y(t), y(t-1), \dots, y(t-n)\}$ 以及输入量的滞后阶数 n_x 和 n_y 。其表达式为：

$$y(t+1) = f(x(t), x(t-1), \dots, x(t-n_x), y(t-n_y), y(t-n_y+1), \dots, y(t)) \quad (5)$$

NARX 神经网络在正常预测之前需要将实际测量的大量数据作为外部输入进行预测模型训练。为使预测模型能够预测不同环境条件下的温度, 故训练数据的选取应包括不同环境条件。考虑执行模块的动作周期过短会导致操作频繁, 动作周期过长执行机构反应慢则会使预测模型失去作用。因此, 设定预测模型的预测间隔为 10 min。

3.2 软件程序设计

3.2.1 主控制器运行流程和程序设计

主控制器是整个系统的核心部分。利用 Keil MDK 5 开发环境对 STM32 主控制器进行程序编写, 流程如图 8 所示。

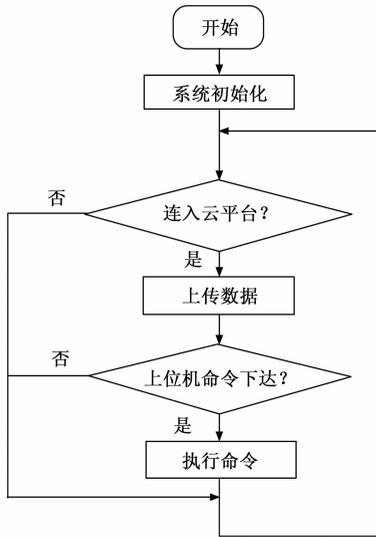


图 8 主控制器运行流程图

完成系统初始化后, 利用 ESP8266 Wi-Fi 模块连入云平台。若成功连入, 则主控制器将数据发送给 Wi-Fi 模块, 并上传数据, 否则进入下次循环。当连入云平台后, 若后台管理界面有命令下达, 则马上执行相关命令, 执行完成后或没有命令下达, 则进入下次循环。系统使用主控制器内部的定时器实现精准的定时, 控制时间节点。其中使用 TIME_Init() 函数配置定时器, 设定合适的自动重装值、时钟预分频系数和分频因子, 根据公式: $Time = ((a+1) * (b+1)) / c$ 计算定时器溢出时间。当计数器达到规定计数值后, 进入定时器中断函数, 从而进行精准延时, 控制 Wi-Fi 模块通讯间隔。执行模块由光耦继电器组成, 通过定义 Control_Init() 函数设置主控制器引脚为推挽输出, 连接相应的光耦继电器 IN 端, 根据后台管理界面的指令下达点定义 data_t 结构体和 EventProcess() 函数实现远程通断电控制。

主控制器通过串口中断实现数据接收, 串口中断执行流程如图 9 所示。

当有 ZigBee 协调器向 STM32 发送数据时, 触发中断程序, 进入串口中断函数, 串口中断函数接收数据, 对接收到的数据进行处理, 并通过 Wi-Fi 模块上传到云平台。定义

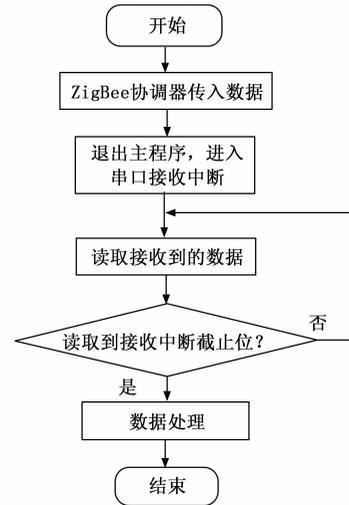


图 9 串口中断执行流程图

STM32 串口中断函数 Uart Init() 对主控制器的引脚、USART 和中断控制器 (NVIC, nested vectored interrupt controller)。其中利用 GPIO Init 结构体函数定义 TX 端为推挽输出, RX 端为浮空输入。利用 USART Init 结构体函数定义 USART 串口的波特率、停止位和收发模式等。利用 NVIC Init 结构体函数配置 NVIC 抢占优先级、子优先级、中断请求 (IRQ, interrupt request) 通道及初始化相应寄存器。定义 USART IRQ() 函数接收数据, 当有数据发送来, 执行串口中断, 把数据储存在数组 USART_C[] 中, 直至接收到“0x0D 0x0A”停止接收。并将 BCD 码转换成十进制数值, 修补异常数值后赋值给相应的全局变量, 方便传输数据时调用。每当接收到新的数据, 全局变量表示的数据也会实时更新。

3.2.2 自组局域网运行流程及软件设计

系统上电后, ZigBee 协调器进行星型网络构建。若协调器构建网络超过一定的次数就会被判定为网络建立失败, 则此协调器无法构建自组局域网; 若构建成功则允许 ZigBee 终端节点加入自组局域网。成功入网后协调器在每个周期内与不同地址的终端节点进行点对点通讯。

自组局域网中的节点使用点对点通讯方式是实现数据传输, 利用 afAddrType_t 结构体函数配置自组局域网点播通讯。终端节点利用 Send_P2P_Message() 函数配置传感器和控制器, 并通过 AF_D_R() 向协调器发送数据, 完成对教室的智能监控及数据传输。协调器利用 SampleApp_MessageMSGCB() 函数接收终端节点传输的数据并存储至 cmd_receiveData 函数, 由串口发送函数 UARTWrite() 发送给主控制器, 完成由自组局域网到主控制器的数据传输。ZigBee 自组局域网工作流程如图 10 所示。

4 实验效果分析

4.1 组网及功能实验效果分析

ZigBee 自组局域网的自组网速度和传输稳定性在系统中最为重要, 系统上电后, 需要对组网的时间进行详细的

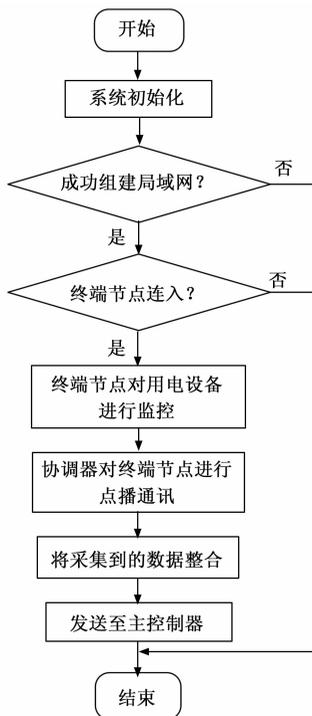


图 10 ZigBee 自组局域网工作流程图

测试记录, 根据组网的时间来判断自组局域网的性能。组网时间越短, 表示自组局域网的性能越优越。组网速度测试时, 首先系统上电, 进行初次组网, 其次终端节点进行掉电再上电, 测试其终端节点的入网速度, 然后使协调器进行掉电再上电, 测试其协调器的组网速度, 如表 1、2、3 所示。经过测试, 初次组网的时间约为 5 000 ms, 终端节点入网时间约为 2 000 ms, 协调器组网的时间约为 4 000 ms, 自组网正常。

表 1 初次组网所需时间记录表

组网情况	测试设备	时间/ms
系统上电进行初次组网	所有 ZigBee 设备	5 021
	所有 ZigBee 设备	4 906
	所有 ZigBee 设备	4 991
	所有 ZigBee 设备	5 009

表 2 终端节点再组网所需时间记录表

组网情况	测试设备	时间/ms
ZigBee 终端节点掉电再上电	ZigBee 终端节点	2 040
	ZigBee 终端节点	2 094
	ZigBee 终端节点	2 006
	ZigBee 终端节点	1 979

表 3 协调器再组网所需时间记录表

组网情况	测试设备	时间/ms
ZigBee 协调器掉电再上电	ZigBee 协调器	4 028
	ZigBee 协调器	4 043
	ZigBee 协调器	4 002
	ZigBee 协调器	4 004

用 LED 灯带模拟教室的日光灯, 用两个 LED 分别模拟温控设备和多媒体。后台管理界面打开灯、温控设备和多媒体的总开关, 当白天温度为 24 °C 时, 由于光照和温度没有达到开灯和温控设备的要求, 所以灯和温控设备不会工作, 达到节能的目的。当红外人体感应模块感应到有人, 同时将光敏传感器遮蔽, 灯就会打开。待关闭后台管理界面中灯、温控设备和多媒体的总开关之后, 相应的用电设备停止工作。LED 灯除正常开关控制, 还测试使用 PWM 控制灯具亮暗。通过控制电压占空比变化实现了灯具亮度的平滑变化。

4.2 数据处理及预测模型实验效果分析

由于在自然情况下环境温度在短时间内不会大幅度变化, 通过人为升高和降低传感器周围温度, 模拟采集或传输过程中的异常数据。当数据被判定为坏值后, 系统会通过 KNN 算法进行修补, 修补后的数值尽可能的符合实际情况。由实验结果得到算法处理的数据均可正常使用, 实验过程中经 KNN 分类算法修补前后的数据对比如图 11 所示。

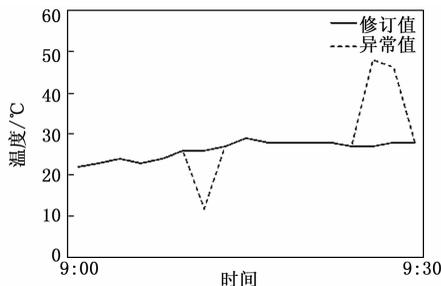


图 11 异常数据修补前后对比

系统将 2022 年 5 月 30 日至 2022 年 6 月 5 日实验阶段一周内六天中的环境数据用于模型训练, 第七天的数据用于模型测试, 验证模型预测的准确性。NARX 神经网络的外端输入需要考虑到教室内外的温湿度、光照强度、人员分布、部分用电设备的使用情况等信息, 因此输入层外部输入节点数设定为 4, 自输入节点数设定为 2, 输出层节点数设定为 1, 输入量滞后阶数设定为 2。结果证明预测值曲线与实际值曲线的最大绝对误差为 2 °C, 误差在允许范围内。当预测值达到温控设备开启或关闭条件后, 设备会提前开启或关闭。因此, 算法能够满足预测需求, 预测值可以用于系统对温控设备进行预控制, 从而使室内温度稳定保持在合适的温度区间, 降低设备能耗。NARX 预测模型经过训练后得到的预测值和实际值对比如图 12 所示。

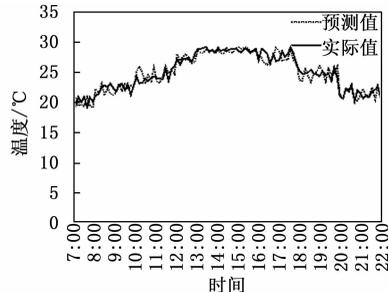


图 12 室内温度预测与实际对比

5 结束语

为解决教室用电设备电能浪费问题, 基于 ZigBee 设计一套智慧教室节能系统, 通过 Wi-Fi 模块搭载云平台实现教室的远程监控。为保证温控设备更智能地适应室内复杂环境对温度的干扰问题, 本文提出一种基于 KNN 算法的 NARX 神经网络构建温度预测模型, 实现室内温度智能预测控制。实验表明, 智慧教室节能系统可以稳定运行, 实现了对教室内用电设备的远程智能监控和智慧节能控制。

参考文献:

- [1] 史利东. 基于数据融合的智能家居环境监测系统研究与设计 [D]. 太原: 太原科技大学, 2021.
- [2] 王海珍, 廉佐政, 谷文成, 等. 基于 ZigBee 的智能家居系统安全通信研究 [J]. 电子测量技术, 2021, 44 (18): 78-84.
- [3] MOSHER. The influence of mobile contents on the learner's learning satisfaction in the smart learning environment [J]. Journal of the Korea Society of Digital Industry and Information Management, 2013, 9 (4): 56-61.
- [4] KIM CHANG HEED. The Influence of Mobile Contents on the learner's learning satisfaction in the Smart Learning Environment [J]. Journal of the Korea Society of Digital Industry and Information Management, 2013, 9 (4): 12-18.
- [5] SANCHEZ. Conceptualizing the emerging field of smart learning environments [J]. Smart Learning Environments, 2014, 1 (1): 120-136.
- [6] 羊 栋. 基于 ZigBee 技术的智能教室网关的设计与实现 [D]. 南京: 东南大学, 2018.
- [7] 侯晓康. 基于智能教室的协作式学习模式的实践研究 [D]. 青岛: 青岛大学, 2021.
- [8] 汤克明. 基于物联网的教学楼节能系统设计 [D]. 长春: 吉林大学, 2013.

(上接第 214 页)

- [10] MARK SANDLER, ANDREW HOWARD, et al. MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks [J]. IEEE/CVF 2018; 4510-4520.
- [11] TOM MERTENS, JAN KAUTZ, FRANK VAN REETH, et al. Exposure fusion [Z]. In PCCGA, 2007, 4.
- [12] TOM MERTENS, JAN KAUTZ, FRANK VAN REETH, et al. Exposure fusion: A simple and practical alternative to high dynamic range photography [J]. Computer Graphics Forum, 2009, 28 (1): 161-171.
- [13] GERSHON BUCHSBAUM, et al. A spatial processor model for object colour perception [J]. J. Franklin Institute, 1980, 310 (1): 1-26.
- [14] MINFOAM SAH, BASTANFARD A, et al. TRCLA: A Transfer Learning Approach to Reduce Negative Transfer for Cellular Learning Automata [J]. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2021; 1-10.

- [9] OMPAL, VISHNU MOHAN MISHRA, ADESH KUMAR. Zigbee Internode Communication and FPGA synthesis using mesh, star and cluster tree topological chip [J]. Wireless Personal Communications, 2021, 119 (2): 1321-1339.
- [10] REHMAN AMJAD, HASEEB KHALID, FATI SULIMAN MOHAMED, et al. Reliable Bidirectional Data Transfer Approach for the Internet of Secured Medical Things Using Zig-Bee Wireless Network [J]. Applied Sciences, 2021, 11 (21): 120-136.
- [11] 梁海洁, 陈娇英, 陈延明. 基于嵌入式 ARM 构架的智能家居控制系统设计 [J]. 广西大学学报 (自然科学版), 2021, 46 (1): 144-149.
- [12] 丘 源, 经本钦, 李精华. 基于 ESP8266WiFi 模块和 MQTT 协议的物联网传感节点设计 [J]. 物联网技术, 2019, 9 (6): 24-26, 29.
- [13] 吴 鹏, 李 冶. 基于 ESP8266 的单片机网络实验系统 [J]. 沈阳师范大学学报 (自然科学版), 2022, 40 (4): 310-313.
- [14] 张恒强, 安 霆, 王乙涵, 等. 基于 ESP8266 的物联网技术应用研究 [J]. 仪表技术, 2022 (3): 26-29.
- [15] 王雪菲, 李 勇, 余国晓, 等. 基于 DMD-NARX 模型的短期电力负荷预测方法 [J]. 黑龙江大学自然科学学报, 2022, 39 (3): 307-316.
- [16] 姜宇航, 王 伟, 邹丽芳, 等. 基于粒子群一变换模态分解、非线性自回归神经网络与门控循环单元的滑坡位移动态预测模型研究 [J]. 岩土力学, 2022, 43 (S1): 601-612.
- [17] 王 健. 基于 ZigBee 协议的智能家居系统研究 [D]. 南京: 东南大学, 2019.
- [18] 张天恒, 刘小枫, 瞿宝华, 等. 基于 ZigBee 的温室大棚环境远程监控系统设计 [J]. 重庆理工大学学报 (自然科学), 2020, 34 (6): 200-204.
- [19] 邓 昀, 李朝庆, 程小辉. 基于物联网的智能家居远程无线监控系统设计 [J]. 计算机应用, 2017, 37 (1): 159-165.
- [20] 张伟楠, 孔维宾. 基于 STC89C52 智能教室灯光控制系统设计 [J]. 长江信息通信, 2021, 34 (1): 147-149.
- [15] 赵 珊, 刘子路, 郑爱玲, 等. 基于 MobileNetV2 和 IFPN 改进的 SSD 垃圾实时分类检测 [J]. 计算机应用, 2022, 42 (S1): 106-111.
- [16] 汤 浩, 朱泓宇, 谢 超. 低照度图像增强方法综述 [J]. 林业机械与木工设备, 2022, 50 (7): 4-10.
- [17] 王延年, 杨恒升, 刘妍妍, 等. 基于改进 Retinex-Net 的低照度图像增强算法 [J/OL]. 西安工程大学学报: 1-82022-10-11.
- [18] 吴凡丁. 基于深度学习的非均匀光照和夜间低照度图像增强算法研究 [D]. 杭州: 浙江工商大学, 2022.
- [19] 陈 文. 基于深度学习的低照度图像增强算法研究 [D]. 赣州: 江西理工大学, 2022.
- [20] 万 方, 雷光波, 徐 丽. 基于阶跃滤波器的低照度图像边缘增强算法 [J]. 计算机仿真, 2022, 39 (5): 220-224.
- [21] 李 藤, 刘凯雷. 基于深度学习的矿井下低照度图像增强算法研究 [J]. 电子测试, 2022, 36 (9): 51-53, 134.
- [22] 杨镇雄. 基于生成对抗网络的低照度图像增强算法 [D]. 广州: 广东工业大学, 2022.