

一种基于NB-IoT的远程温度控制系统设计

刘伟炜¹, 张 慧¹, 杨 鑫¹, 胡 峥¹, 冯纪娜¹, 蔡 幸², 蒋善超²

¹盐城市计量测试所, 江苏 盐城

²盐城工学院电气工程学院, 江苏 盐城

收稿日期: 2025年7月10日; 录用日期: 2025年8月11日; 发布日期: 2025年9月5日

摘 要

温度控制被广泛应用于工业生产和科研实验中, 是许多工艺流程与实验成功的关键, 在全球工业规模的不断扩张下, 它的地位愈发重要。然而, 传统的温度控制方式落后, 往往存在效率低下、精度不够、自动化程度低等问题, 且易受外界环境干扰, 影响控制效果, 从而制约着整个工业生产的运行效率与成本。为此, 本文引入了单片机技术, 设计了一种低成本、高效率的基于NB-IoT的远程温度控制系统。该系统选用了功能强大且丰富的STM32系列单片机作为主控单元, 采用了型号为DS18B20的传感器来监测实时温度, 通过OLED屏幕进行显示, 通过按键设定目标温度, 当温度低于目标值时, 结合PID算法控制MOS管, 以驱动继电器1进行加热升温; 当温度高于目标值时, 直接控制继电器2进行模拟制冷, 从而达到恒温效果。同时, 系统利用NB-IoT无线通信技术, 将单片机连接到云平台, 实现数据的上发, 提供可视化的终端显示界面, 以适应不同的应用场景。

关键词

单片机, 温度采集, PID, NB-IoT

Design of a Remote Temperature Control System Based on NB-IoT

Weiwei Liu¹, Hui Zhang¹, Xin Yang¹, Zheng Hu¹, Jina Feng¹, Xing Cai², Shanchao Jiang²

¹Yancheng Institute of Measurement and Testing, Yancheng Jiangsu

²School of Electrical Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng Jiangsu

Received: Jul. 10th, 2025; accepted: Aug. 11th, 2025; published: Sep. 5th, 2025

Abstract

Temperature control is widely used in industrial production and scientific research experiments, and is the key to many process flows and successful experiments. With the continuous expansion of

文章引用: 刘伟炜, 张慧, 杨鑫, 胡峥, 冯纪娜, 蔡幸, 蒋善超. 一种基于 NB-IoT 的远程温度控制系统设计[J]. 仪器与设备, 2025, 13(3): 411-421. DOI: 10.12677/iae.2025.133050

global industrial scale, its position has become increasingly important. However, traditional temperature control methods are outdated and often suffer from problems such as low efficiency, insufficient accuracy, and low degree of automation. They are also susceptible to external environmental interference, which affects the control effect and thus restricts the operational efficiency and cost of the entire industrial production. Therefore, this article introduces microcontroller technology and designs a low-cost and high-efficiency remote temperature control system based on NB-IoT. The system uses the powerful and rich STM32 series microcontroller as the main control unit, and adopts a sensor model DS18B20 to monitor real-time temperature. The temperature is displayed on an OLED screen, and the target temperature is set through buttons. When the temperature is lower than the target value, the PID algorithm is used to control the MOS transistor to drive relay 1 for heating and warming up; When the temperature is higher than the target value, directly control relay 2 to simulate cooling, thereby achieving a constant temperature effect. At the same time, the system utilizes NB-IoT wireless communication technology to connect the microcontroller to the cloud platform, enabling data upload and providing a visual terminal display interface to adapt to different application scenarios.

Keywords

Single Chip, Temperature Collection, PID, NB-IoT

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在全球工业化的浪潮与科研实验中，温度的精确控制是许多工艺流程和实验成功的关键。例如在化工、制药、食品加工等行业中，特定的化学反应、材料合成或产品品质检测往往需要在特定的温度条件下进行，其重要性不言而喻[1]-[3]。然而，伴随着全球工业规模不断扩张、科研实验不断地精益求精，对生产实验的效率也提出了更高的要求，这也让传统温度控制方式的问题逐渐暴露。首先，传统温度的控制方式比较落后，主要采用简单的温控开关，在其精度调节与响应速度方面有着一定程序的限制，难以适应日益复杂的工业和实验环境，尤其是在精密制造、高速自动化生产线等领域，从而引发出能耗增加、效率低下、产品不良等衍生问题；其次，由于传统的温度控制方式存在弊端，导致其在运行的时候产生的能耗较高，且缺乏有效的能源管理策略，无法充分利用，造成能耗浪费，不仅增加了工业生产和科研的运营成本，还加剧了环境的污染；最后，传统的温度控制设备在作业的时候通常会产生较大的机械振动与噪音，且会出现较大的波动。这不仅会干扰到周围其余设备的正常运行，还会导致工业或者科研产品的品质下降[4][5]。与此同时，信息化和智能化高速发展，物联网技术的出现，让人们的生活得到快速改变。物联网(Internet of Things)旨在构建一种网络，以各种终端平台为媒介，将任何物品与互联网连接，让物品与物品之间能够进行信息交换与通信，从而实现对物品的各种监控与管理。因此，物联网被广泛应用于各个行业，包括但不限于工业、物流、教育、家居、交通、医疗、电力等，这让工业设备的智能化、网络化成为趋势[6][7]。在这样的背景下，合理地将物联网运用在温度控制中已经刻不容缓，本文提出一种低成本、高效率的基于 NB-IoT 的远程温度控制系统。通过改进控制方式的设计，引入了先进的控制算法和传感器技术，实现了温度的实时监测与调控，为工业生产、科研实验以及家庭的运作提供了有效的数据支撑，有助于能源节约，推动全球绿色发展。

2. 控制系统总体设计

本文所设计系统包括单片机模块、温度采集模块、显示模块、按键模块、执行模块以及通信模块，各个模块之间的关系如图 1 所示。在整个系统中，单片机模块作为核心，可以对温度采集模块中获取的数据以及用户输入指令(按键输入指令)进行接收、计算处理、存储、判断，且根据数据的变化，结合控制策略，当实时温度低于目标温度时，通过 PID 控制器输出 PWM 信号进行温度调节，实时温度越低，输出的 PWM 信号占空比越大，MOS 管加热速度；当实时温度高于目标温度时，驱动继电器进行模拟降温，从而实现温度的恒温调控。

此外，系统将数据通过通信模块上发至云平台进行监控，相关人员能够通过手持终端或者电脑 PC 端对温度的实时情况与历史检测记录进行查询。

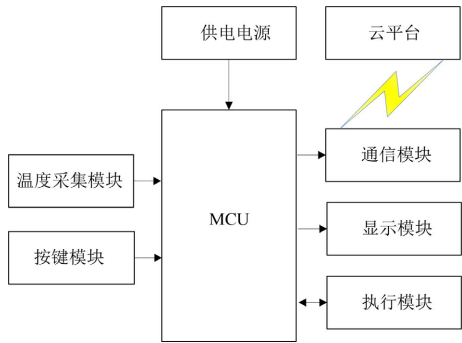


Figure 1. Overall block diagram of control system
图 1. 控制系统总体框图

3. 硬件模块设计

3.1. 单片机模块电路设计

本文单片机模块选择 STM32 单片机，具体型号为 STM32F103C8T6。STM32F103C8T6 单片机在外形结构上小巧简单，集成了各式各样的电路与芯片，包括 CPU、RAM、ROM、GPIO 以及中断系统等，其电气原理图电路如图 2 所示[8]。

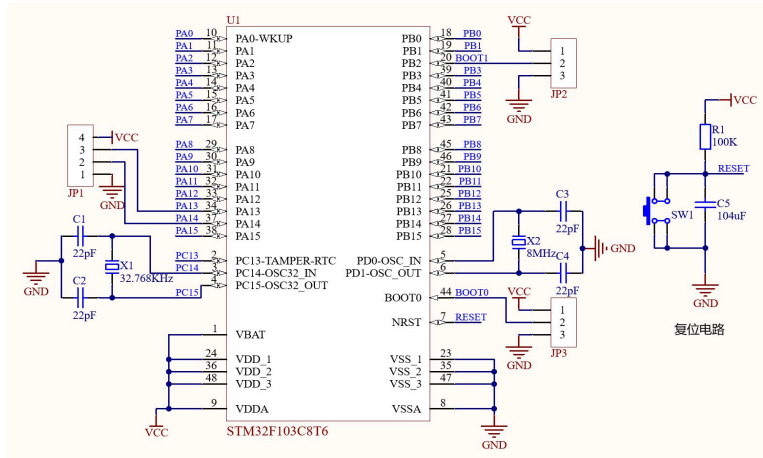


Figure 2. Single chip microcontroller module
图 2. 单片机模块

3.2. 温度采集模块电路设计

选择 DS18B20 传感器来监测实时温度[9] [10], 其电路设计如图 3 所示, 引脚 3 为传感器的电源正极, 接入 5 V 的供电电压, 引脚 1 为传感器的电源负极, 而引脚 2 为数字引脚, 支持数据的双向传输, 单片机的 PB9 口通过读取该引脚的数据得到具体的温度。

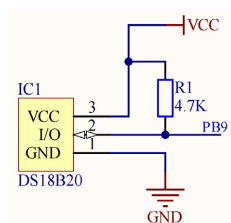


Figure 3. DS18B20 sensor circuit design

图 3. DS18B20 传感器电路设计

3.3. 显示模块电路设计

本文的显示模块选择了型号为 0.96 寸的 OLED 显示屏[11], 可以将实时的温度数据、目标温度等信息清晰、动态地显示出来, 其电路设计如图 4 所示。该模块由 4 个引脚构成, 除了电源的正负极引脚之外, 还包括了时钟引脚和数据引脚, 分别与单片机的 PA5、PA4 口连接, 实现交互, 以 I2C 的通信方式, 可以控制数据的传输速率, 让数据按照一定的时序进行显示。

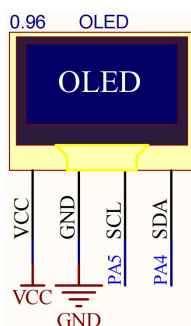


Figure 4. LCD circuit design

图 4. 显示模块电路设计

3.4. 按键模块电路设计

按键通常作为一种外部输入设备, 可以为硬件应用的操作人员提供一个输入渠道, 能够设置温度的阈值, 其电路设计如图 5 所示。

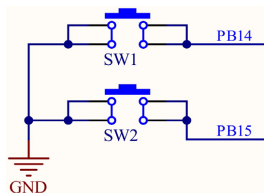


Figure 5. Button module

图 5. 按键模块

3.5. 执行模块电路设计

本文为实现温度的控制，所设计的加热设备与制冷设备分别由一个 MOS 管和一个继电器进行模拟，其电路设计如图 6 所示。引脚 3 是 MOS 管的控制电极，当实时温度低于目标温度时，微控制器的 PA6 口向 MOS 管的栅极引脚输入 PWM 信号，导电通道打开，从而改变通道中的电子浓度，允许电流从源极(S)流向漏极(D)，而 MOS 管的引脚 1 为漏极，可以输出特定的功率给加热继电器，从而实现升温任务，在这个过程中，如果实时温度越低，则输出的 PWM 占空比越高，MOS 管输出功率越大，加热速度越快。同理，当实时温度高于目标温度时候，微控制器的 PB13 口向 MOS 管的栅极引脚输入 PWM 信号，导电通道打开，从而改变通道中的电子浓度，允许电流从源极(S)流向漏极(D)，从而实现降温任务。

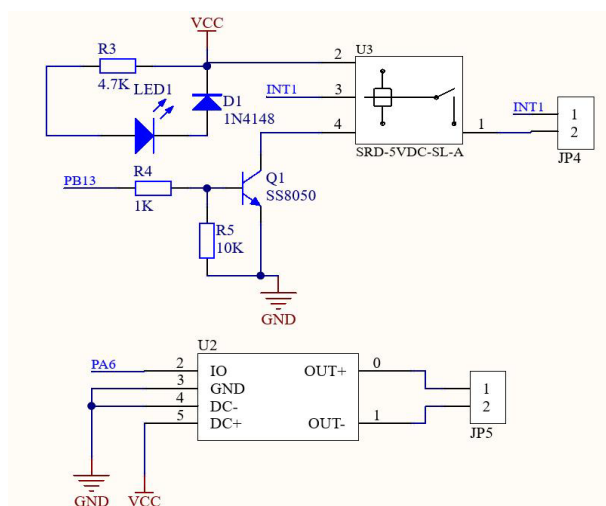


Figure 6. Execution module
图 6. 执行模块

3.6. 通信模块电路设计

本文通信模块使用 NB-IoT 通信技术[12]，通过基站接入核心网，支持独立部署或与 LTE 网络共存，复用现有基站资源，可以将监测的数据实时地发送给服务器，通过手机终端或者 PC 端进行显示，远程获取温度的监控数据，以 UART 进行通信，其电路设计如图 7 所示。通过该通信模块，所有环境数据包括实时温度、温度状态、目标温度会上发给云平台，以手机终端或者 PC 端的形式进行可视化展示。

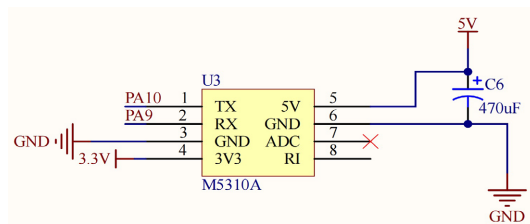


Figure 7. Communication module
图 7. 通信模块

4. 软件设计

本文的主程序设计流程为：在 main.c 文件中去运行整个程序，不仅可以对所有模块进行初始化，以

及初始化所有 I/O 口，还可以启动各个模块处于工作状态，NB-IoT 模块连接至云平台，DS18B20 传感器开始采集环境温度，由单片机的 GPIO 口读取 DS18B20 传感器中的数据，且将数据进行处理、运算，将所监测得到的数据与设定的目标温度进行比较。如果异常，结合 PID 控制算法，会由单片机向执行程序发送控制信号，进行温度恒温调控。此外，在传感器的监测过程中，操作人员可以通过按键模块执行中断，能够改变温度阈值，单片机会读取且识别按键的状态，再执行对应的操作。在设置阈值的时候，会将该参数的阈值存储在变量中，让监测数据与该变量进行判断比较。因此，主程序流程设计如图 8 所示。

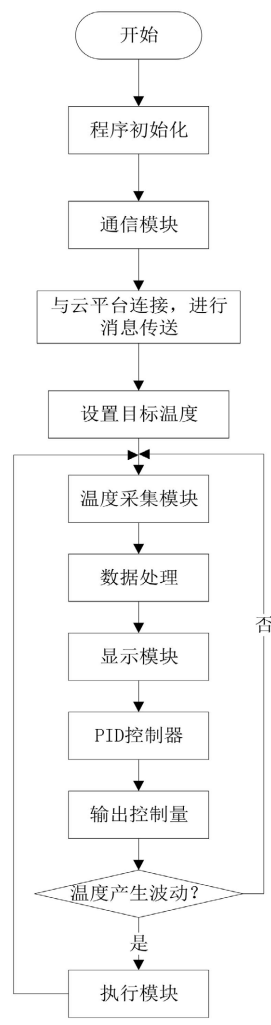


Figure 8. System programming process
图 8. 系统程序设计流程

4.1. 初始化程序

系统初始化程序主要包括 delay_init()、OLED_Init()、uart1_init(9600)、LED_Init()、KEY_Init()、DS18B20_Init()、M5310A_Init()、network_init()、PWM_TIM3_Init()等初始化函数。其中 delay_init()实现延时的初始化；OLED_Init()实现显示模块的初始化；uart1_init(9600)实现串口 1 初始化为 9600 波特率；LED_Init()实现 LED 控制的初始化；KEY_Init()实现按键电路的初始化；DS18B20_Init()实现温度传感器模块的初始化；M5310A_Init()实现 NB-IOT 模块的初始化；network_init()用于实现网络服务器的初始化；

PWM_TIM3_Init()实现定时器 TIM3 的初始化。

4.2. 温度信息采集处理

在温度信息采集处理 DS18B20_Get_Temp()的过程中, 控制器 STM32 先对 DS18B20 发送复位命令; 发送“跳过 ROM”(0xCC)命令; 选择传感器后, 发送功能命令, 如“开始转换”(0x44), 命令 DS18B20 开始温度转换; 转换完成后, 发送“读取存储器”(0xBE)命令; 控制器接收到温度数据后, 进行 CRC 校验。校验正确后将读取数据移入温度暂存器, 根据数据的符号位, 可以确定温度是正数还是负数。正温度直接转换为十进制值, 负温度需要进行补码转换后再处理。至此, 温度信息采集处理过程完成, 流程如图 9 所示。

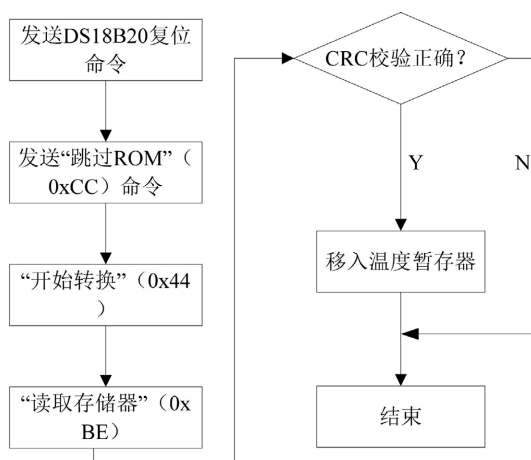


Figure 9. DS18B20 program flowchart

图 9. DS18B20 程序流程图

4.3. 信息显示

本文采用 OLED_ShowCH 完成信息的显示。如, OLED_ShowCH(16,0,“远程温控系统设计”)用于在 OLED 屏幕上显示中文字符串“基于单片机的远程温控系统设计”即本课题题目; OLED_ShowCH(0,2,“温度:”)用于在 OLED 屏幕上中文字符串“温度:”; sprintf(display_string,“%.1f℃”,CurrentTemp)用于完成 CurrentTemp 实测温度以“%.1f℃”格式完成实测温度转为字符串 display_string; OLED_ShowCH(40,2,(u8*)display_string)用于完成将 CurrentTemp 实测温度转变的字符串 display_string 在“温度:”显示。从而, 信息显示程序完成课题题目、实测温度以“温度: X℃”的实时显示。

4.4. 信息的分析与控制

在信息的分析与控制过程中, 采用 Temp_Filter()进行温度的滑动平均滤波从而降低温度瞬时波动或者误测对测量结果的影响, 具体代码如下所示。

```

void Temp_Filter(void) {
    float sum;
    int i;
    static uint8_t index = 0;
    // 更新缓冲区
    temp_buffer[index] = DS18B20_Get_Temp()/10.0;
}
  
```

```

    index = (index + 1) % FILTER_LEN;
    // 计算平均值
    sum = 0.0f;
    for( i=0; i<FILTER_LEN; i++) {
        sum += temp_buffer[i];
    }
    CurrentTemp = sum / FILTER_LEN;
}

```

在 Temp_Filter()中 temp_buffer[index]用于存储 DS18B20_Get_Temp()获得的温度数据; FILTER_LEN 决定着平均滤波的长度,通过设置 FILTER_LEN 的数值更新缓冲器的 temp_buffer 的数据串内容及长度; 进而通过平均取值的方式获取系统实测温度 CurrentTemp, 并完成信息显示的 OLED_ShowCH 中 CurrentTemp 数值的更新。

按键电路主要用于控制温控阈值加减的操作, 其程序具体如下:

```

if(KEY1_add==0) //加
{
    if(set_temp<200)
        set_temp++;
        SET_TEMP=(float)set_temp+0.6f;
        display_Set_parameters();
        delay_ms(100);
}
if(KEY1_del==0) //减
{
    if(set_temp>0)
        set_temp--;
        SET_TEMP=(float)set_temp+0.6f;
        display_Set_parameters();
        delay_ms(100);
}

```

上述程序中参数 KEY1_add 对应按键电路中的 SW1, 参数 KEY1_del 对应按键电路中的 SW2。当 SW1 按下时, 参数 KEY1_add 取值为 0 完成设定温度的加 1 操作; 当 SW2 按下时, 参数 KEY1_del 取值为 0 完成设定温度的减 1 操作。

在控制模块 STM32 对制冷模块及加热模块控制过程中, 采用 PID 控制的方式对温度的增加、降低进行快速稳定的控制。以 PID 比例参数 Kp 的选择为例讲述 PID 在本课题中的应用。

```

error = SET_TEMP - CurrentTemp;
if(error > 5.0)
{
    pid.Kp = 6.0; // 大偏差时增强响应
} else {
    pid.Kp = 3.5; // 小偏差时保持稳定
}

```

}

在上述程序中 error 用户获取设定温度 SET_TEMP 与实测温度 CurrentTemp 之间的误差。当误差大于一定数值时, 在本课题中取值 5.0, Kp 的取值为 6.0 从而增强 PID 控制作用; 否则, Kp 的取值为 3.5 从而 PID 实现较为稳定的控制。

4.5. 信息的远传

本文中 M5310A_Init()、network_init() 完成实现 NB-IOT 模块及网络服务器的初始化。代码 strx=strstr((const char*)RxBuffer,(const char*)"CGATT:1"), 返还 1 时表明注网成功。此时, 信息显示 OLED_ShowCH(0,6,“M5310A 联网 OK”), 从而完成 NB-IOT 模块联网成功。进而 network_init()完成网络初始化及网络服务器等待连接成功。ing_record()完成发送数据给 WIFI 模块进而转发到云平台, 至此完成信息的远传, 如图 10 所示。在完成信息的远传中, 通过参数 alarm1 完成温度远程的预警设置。当参数 alarm1 取值 0 时, 显示“正常”; 当参数 alarm1 取值 1 时, 显示“过低”; 当参数 alarm1 取值 2 时, 显示“过高”。

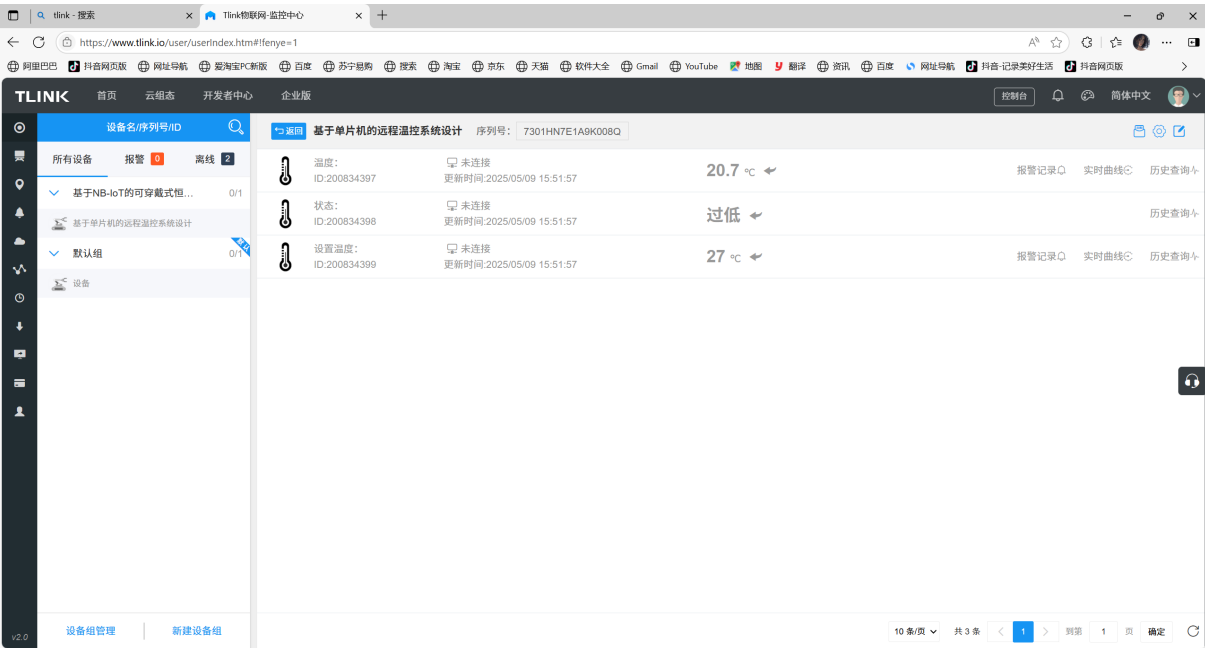


Figure 10. Cloud platform
图 10. 云平台

5. 实物测试及分析

一种基于 NB-IoT 的远程温度控制系统设计完成后成品如图 11 所示。其中包括 STM32F103C8T6 单片机, NB-IoT 信号传输模块, 核辐射检测模块, 蜂鸣器报警模块和 OLED 显示模块。

使用电源充电板给系统供电, 供电后对程序进行复位处理, NB-IoT 模块自动连接到云平台服务器中, 用户在云平台选择客户端(单片机硬件平台)进行配置连接即可创建系统与云平台之间的通信, 实现消息传送。

此时, 单片机向 DS18B20 传感器发送控制指令, 开始采集环境温度, 此时 OLED 屏幕显示出实时变化的温度数据, 当温度异常的时候, 调用 PID 控制算法, 并驱动对应的继电器进行温度调控, 对应的继

电器状态指示灯亮起，OLED 屏幕会显示出温度的实时调控情况。实物运行效果如图 12 所示。

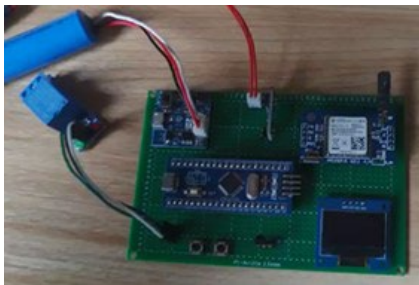


Figure 11. Physical picture of the system
图 11. 系统实物图



Figure 12. System operation effect diagram
图 12. 系统运行效果图

同时，通过 TLINK 软件打开云平台，选择设备，可以查看到当前的实时温度，温度状态以及设置的目标温度，如图 13。



Figure 13. Remote data interface
图 13. 远程端数据界面

由上述系统实物测试结果可得：本文所设计系统选用了功能强大且丰富的 STM32 系列单片机作为主控单元，采用了型号为 DS18B20 的传感器来监测实时温度，通过 OLED 屏幕进行显示，通过按键设定目标温度，当温度低于目标值时，结合 PID 算法控制 MOS 管，以驱动继电器 1 进行加热升温；当温度高于目标值时，直接控制继电器 2 进行模拟制冷，从而达到恒温效果。同时，系统利用 NB-IoT 无线通信技术，实现数据的上发，提供可视化的终端显示界面，实现温度的远程控制与显示。

6. 结论

通过改进控制方式的设计，引入了先进的控制算法和传感器技术，实现温度的实时监测与调控，可为工业生产、科研实验以及家庭的运作提供了有效的数据支撑。为实现上述目的，本文提出一种低成本、高效率的基于 NB-IoT 的远程温度控制系统，包括单片机模块、温度采集模块、显示模块、按键模块、执行模块以及通信模块。此外，系统将数据通过通信模块上发至云平台进行监控，相关人员能够通过手持终端或者电脑 PC 端对温度的实时情况与历史检测记录进行查询。软硬件设计完成后通过统一调试，若有故障则需修改后继续调试，并通过实物测试后得出：本文基于 NB-IoT 的远程温度控制系统功能正常方案可行性较高。

基金项目

江苏省市场监督管理局科技计划项目(KJ2025083)。

参考文献

- [1] 潘云. 食品干燥设备恒温控制系统设计[J]. 中国食品工业, 2022, 28(17): 112-116.
- [2] 张科强, 池雄飞. 食品干燥设备恒温控制系统设计[J]. 食品工业, 2021, 42(7): 188-190.
- [3] 舒望, 陈光伟. 基于铂电阻和硬件闭环控制的食物干燥设备恒温控制系统[J]. 食品与机械, 2020, 36(7): 104-108.
- [4] 胡晓峰. 食品干燥设备自动控制系统设计[J]. 食品工业, 2019, 40(12): 215-218.
- [5] 陆秋, 程小辉, 蒙务天. 基于单片机的恒温箱节能控制设计[J]. 计算机测量与控制, 2012, 20(6): 1565-1568.
- [6] 王银玲, 孙涛. 基于单片机的恒温箱控制系统设计[J]. 农机化研究, 2011, 33(9): 103-106.
- [7] 杜沐青. 基于预估模糊 PID 的恒温箱温度控制系统优化设计[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南林业科技大学, 2022.
- [8] 张良智, 张吉卫, 刘美丽. 单片机原理与应用[M]. 中国铁道出版社: 2022: 272.
- [9] 王敬安. 基于 FPGA 的铷原子气室高稳定温度控制系统设计[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2024.
- [10] 赵瑞宁. 自动化大规模蛋鸡养殖舍环境控制方法研究[J]. 畜牧业环境, 2024(3): 17-18.
- [11] 罗一, 石艳, 廖映华, 李宗骞. 基于 NB-IoT 的窖池环境监控系统[J]. 制造业自动化, 2023, 45(8): 22-27.
- [12] 赵学东, 朱宸萱, 齐飞, 李浩, 施正香. 奶牛饮水温度控制系统的设计及应用效果分析[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(7): 215-223.