

# 基于 STM32 的智慧农业大棚 温湿度监控系统的设计

张 维<sup>1,2</sup>, 强 华<sup>1,2</sup>

(1. 陕西工业职业技术学院 电气工程学院, 陕西 咸阳 712000;

2. 陕西高校青年创新团队, 陕西 咸阳 712000)

**摘要:**为解决农业大棚温湿度智能化监测与控制的需求, 前沿性地提出了一种基于嵌入式芯片 STM32 的温湿度监控系统。该系统借助高精度的温湿度传感器 DHT11, 实现了对大棚内温湿度的精准采集与调控。核心处理器采用 STM32 单片机, 不仅实现数据的高效采集, 同时具备智能判断、精细处理、安全存储、直观显示以及即时报警等全方位功能。系统通过蓝牙模块将数据传输至手机端, 用户可通过手机进行实时控制。该设计充分利用了 STM32 最小系统的优势, 并创造性地融入了 PWM 控制技术以及人性化的人机交互界面。整个系统功能全面且高度集成, 结构紧凑而简洁, 而且在可靠性与实用性方面表现出色, 使智慧农业大棚的温湿度管理便捷与高效。

**关键词:**智慧农业; 温湿度控制; 嵌入式; PWM 控制

中图分类号: TP2

文章编号: 1000-0682(2025)05-0036-06

文献标识码: A

DOI: 10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2025.05.007

## Design of smart agricultural greenhouse temperature and humidity monitoring system based on STM32

ZHANG Wei<sup>1,2</sup>, QIANG Hua<sup>1,2</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Shaanxi Polytechnic Institute, Shaanxi Xianyang 712000, China;

2. The Youth Innovation Team of Shaanxi Universities, Shaanxi Xianyang 712000, China)

**Abstract:** To meet the demand for intelligent monitoring and control of temperature and humidity in agricultural greenhouses, a cutting-edge temperature and humidity monitoring system based on embedded chip STM32 has been proposed. The system utilizes high-precision temperature and humidity sensor DHT11 to achieve precise collection and control of temperature and humidity inside the greenhouse. The core processor adopts STM32 microcontroller, which not only achieves efficient data acquisition, but also has comprehensive functions such as intelligent judgment, fine processing, secure storage, intuitive display, and instant alarm. The system can transmit data to the mobile phone through a Bluetooth module, allowing users to control it in real-time anytime and anywhere through their phone. This design fully utilizes the advantages of the STM32 minimal system and creatively integrates PWM control technology and a user-friendly human-computer interaction interface. The entire system is not only fully functional and highly integrated, with a compact and simple structure, but also performs well in reliability and practicality, making the temperature and humidity management of smart agricultural greenhouses convenient and efficient.

**Keywords:** smart agriculture; temperature and humidity control; embedded system; PWM control

收稿日期: 2025-01-22

基金项目: 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2022JM-388); 机械工业发展中心项目(JXHYZD2024006); 陕西省青年创新团队项目,(24JP013)《基于深度学习的双目立体视觉成像系统研究》。

第一作者: 张维(1986—), 工学硕士, 副教授, 研究方向为电力电子技术、过程控制技术及自动化控制系统设计。

E-mail: 278974280@qq.com

## 0 引言

随着农业大棚智能控制技术的飞速发展,棚内温湿度对农业生产效率及作物品质的影响日益凸显,因此智能化、复合型的温湿度监测控制系统已成为必然趋势。在此背景下,数据的真实性、有效性和精准度成为推动该技术不断前行的核心动力<sup>[1]</sup>。该设计基于 STM32 单片机,专为农业大棚打造了一款高精度智能温湿度控制系统。设计时遵循模块化理念,利用嵌入式工具精心构建系统框架,巧妙地将温湿度传感器采集模块、STM32 单片机处理模块、过热风扇调节模块、温湿度显示模块及预警模块融为一体,形成 1 个功能完备且性能卓越的智能温湿度监控系统<sup>[2]</sup>。该设计选用了 DHT11 数字温湿度传感器,其抗干扰能力强,软件设计简洁明了,完美契合室内温湿度控制系统的基本需求。该系统能够将温湿度参数精准控制在  $-50 \sim +120 \text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $(30\% \sim 50\%) \text{ RH}$  内,用户可根据实际需求设定特定的温湿度值。一旦实际现场的温湿度偏离预设范围,系统便会立即启动风扇调节电路,自动进行温度调节,确保大棚内的环境始终维持在最适宜作物生长的状态,为农业生产提供强有力的技术支撑,推动了智能化、精准化农业的发展进程。

## 1 系统总体设计

该设计融合了 7 大创新模块,即 STM32 单片机控制中心、供电系统模块、DHT11 高精度检测模块、无线通信模块(采用先进的蓝牙串口技术)、LCD 高清显示模块、调节模块(PWM 风扇智能控制模块)以及蜂鸣器即时报警模块,构筑了 1 个高度集成、先进可靠的智能温湿度监控系统。其中,蓝牙串口模块无缝发送与接收温湿度数据,确保了数据的即时更新与同步。LCD 显示模块以其清晰直观的界面,精准呈现采集到的温湿度实时数据。当系统接收到的实时数据超出预设的安全范围时,蜂鸣器报警模块立即发出清脆响亮的警报声,提醒用户及时采取措施。整个系统设计科学,布局合理,各模块之间协同工作,共同构成了 1 个高效、智能及可靠的温湿度监控系统。

温湿度监控系统结构如图 1 所示。主控端能实时显示子控端采集到的温湿度数据,并根据设置的温湿度限值启动子控端的控制设备执行相应操作;子控端能实现温湿度的采集、发送、显示和报警功

能,能接收到主控端发来的控制命令并对控制设备进行相应操作<sup>[3]</sup>。

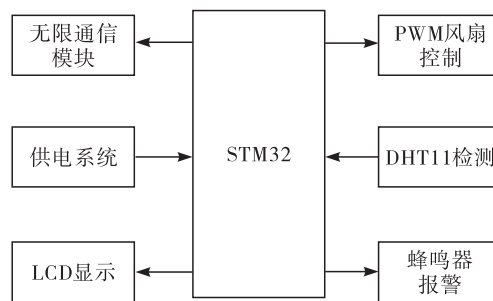


图 1 系统结构框图

系统主控端结构比子控端结构的部件少,主要是因为手机显示层面跟子控端的联系,形成了 1 个环状循环约束控制,主要包括主系统、蓝牙模块、手机 APP 和手机面板显示 4 个部分。运行过程是:首先由 STM32 单片机向蓝牙模块发送实时数据,蓝牙模块将接收到的数据进行处理后发送到手机设计的 APP 中;通过设定的面板实时显示数据,同时显示风扇开关,可在蜂鸣器报警时及时进行调节;再由面板显示输出数据到蓝牙模块,由蓝牙模块传输到 STM32 从而达到调控的效果。主控端结构框图如图 2 所示。

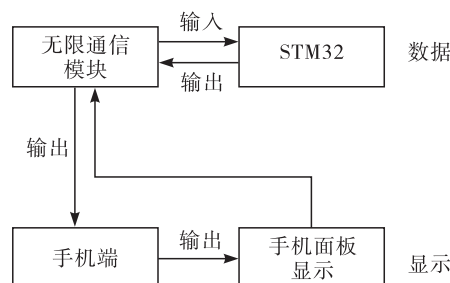


图 2 主控端结构框图

## 2 系统中各个功能模块硬件设计

### 2.1 STM32 嵌入式系统

嵌入式系统采用了 STM32F103C8T6 微控制器,它是 STM32 系列一款采用 ARM Cortex - M 核心的 32 位微处理器<sup>[4]</sup>。该微控制器配备了 64 KB 的程序存储空间,工作电压为  $2.0 \sim 3.6 \text{ V}$ ,能在温度  $-40 \sim 85 \text{ }^{\circ}\text{C}$  内稳定运行。STM32 系列特别是针对追求高性能、经济成本及低功耗的嵌入式系统应用及开发设计。使用时,给控制器其中 1 个 VCC 端口串联  $4.7 \text{ k}\Omega$  电阻,保证接收的温湿度及电压数据与 STM32 相匹配,确保电路电压够用。STM32 引脚与连接电路如图 3 所示。

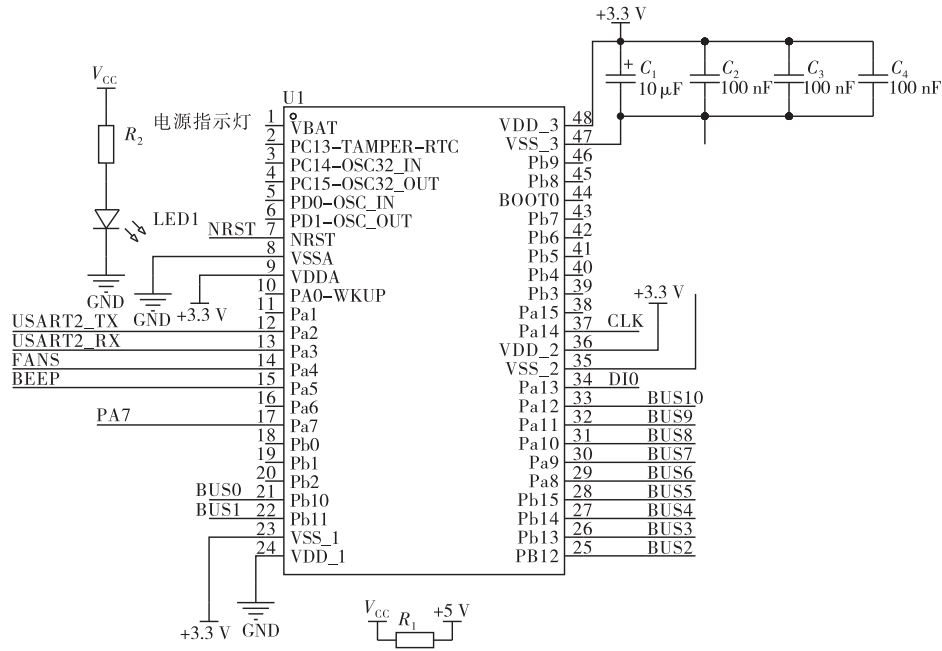


图 3 STM32 引脚与连接

### 2.2 DHT11 监测模块

DHT11 数字温湿度传感器含有已校准的数字信号输出,其精度为湿度  $\pm 5\% \text{ RH}$ , 温度  $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , 量程湿度为  $(5\% \sim 95\%) \text{ RH}$ , 温度为  $-20 \sim +60 \text{ }^\circ\text{C}$ , 具有卓越的长期稳定性和极高的可靠性。DHT11 传感器使用前需要校正准确,使用单线制串联接口。由 DHT11 构成的单片机最小系统集成简易,体积较小,功耗较低,使该类成为苛刻应用场合的最佳选择<sup>[5]</sup>。DHT11 数字温湿度传感器为 4 针单排引脚封装,其内部结构如图 4 所示,使用连接方便。该设备的供电电压为 3 ~ 5 V。当传感器接通电源后,需经历 1 s 的稳定期,在此期间无需向其发送任何指令。为了实现更好的耦合与滤波效果,设计时在电源引脚(即 VDD 和 GND)之间接入 1 个 100 nF 的电容器。首次信号传输后,DHT11 会从低能耗状态切换至高能耗状态。在接收到并等待主机启动信号结束后,DHT11 会传输 1 个包含 40 位数据的响应信号,启动一次数据采集并允许选择性读取部分数据。在从模式下,DHT11 不会自动执行温湿度采集任务,而是在完成采集后自动切换回低功耗模式。

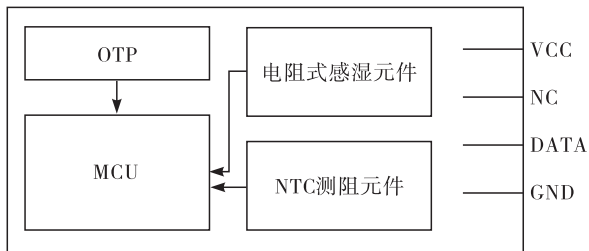


图 4 DHT11 内部原理图

温湿度传感器 DHT11 内部由 1 个 NTC 测温元件和 1 个电阻式测温元件组成,能实现对棚内温湿度的测量。DHT11 操作结构简单,与 STM32F103C8T6 单片机使用单总线形式相连,只需要单片机中 1 个 I/O 口就可以实现数据采集。DHT11 传感器采集的数据都一次性传递给主控芯片,主控芯片能对数据进行校验并自动去除错误数据,极大地保证了数据传输的准确性<sup>[6]</sup>。DHT11 使用 5 V 电压,为保证采集到的数据稳定,设计时需在  $D_{out}$  角加 1 个 4.7 k $\Omega$  上拉电阻。传感器电路如图 5 所示。

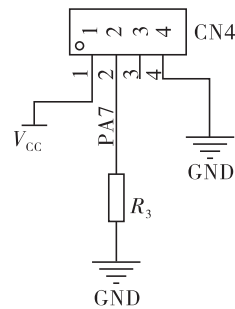


图 5 温湿度传感器电路图

在测量湿度的时候,应尽可能保证 DHT11 是在同 1 个温度下进行工作。若 DHT11 与释放热量的电子元件共同使用 1 个印刷电路板,在安装的时候应尽可能让电子元件与 DHT11 有一定的距离,且需要安装在热源以下的地方,同时外壳要通风良好。为尽快降低热传导速度,在设计时,DHT11 与印刷电路板其他部分的铜镀层必须尽可能最小,并且两者之间要留有一定的空间距离。

### 2.3 无线通信模块

无限通信模块使用蓝牙串口连接的形式。蓝牙串口适配器主要用于替代传统的有线串口使用的场合<sup>[7]</sup>。使用蓝牙串口只需要在 PC 端插入 1 个 USB 蓝牙适配器,就可以与众多设备同时进行串口通信,各设备互不影响,而且都是无线方式,保持了桌面干净整洁。如果使用集成了蓝牙模块的笔记本,则可省去 USB 蓝牙适配器。SPP(Serial Port Profile)蓝牙协议能够在蓝牙设备间搭建起串口数据传输的桥梁,即无论是蓝牙模块(BF10 - A)相互间、蓝牙模块与蓝牙适配器之间,还是蓝牙模块与个人数字助理(PDA)的蓝牙功能之间,都可以借助 SPP 蓝牙串行端口复位的功能,实现蓝牙串口数据的传输与通信。无线通信蓝牙模块电路如图 6 所示。

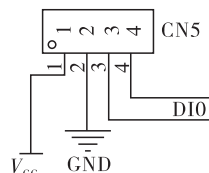


图 6 蓝牙模块电路图

该蓝牙支持简单 AT 指令集,刚通上电,未配即为 AT 模式。出场默认参数密码为 1234。测试通信时,发送 AT,返回 OK;修改蓝牙串口波特率,发送 AT + BAUDn;返回 OK 波特率。N 取 1 时波特率为 1200,N 取 2 时波特率为 2400,N 取 3 时波特率为 4800,N 取 4 时波特率为 9600。

### 2.4 蜂鸣器报警模块

报警电路使用蜂鸣器模块电路,当监测到棚内温度过高或者过低时进行报警。作用原理为传感器检测到的温度信号大于或小于给定值时,传送数据到 STM32,然后再控制蜂鸣器直接报警<sup>[8]</sup>。温湿度传感器不断从外界获取温湿度信息,当温湿度异常,STM32 将 BEEP 变为低电平,此时 Q<sub>2</sub> 导通,三极管基极和发射极产生电流,集电极和发射极导通,蜂鸣器报警。蜂鸣器报警电路如图 7 所示。

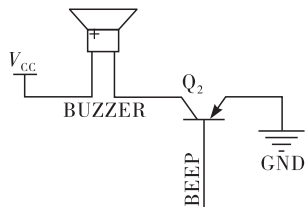


图 7 蜂鸣器报警电路图

### 2.5 LCD 液晶显示

LCD 液晶显示器通过控制每个像素点偏振光放射与否达到显示的目的。LCD1602K 液晶屏提供

了 16 列 × 2 行的 ASCII 字符显示能力,工作电压 5 V,提供 4 位数据与 8 位数据 2 种工作模式,Raspberry Pi 的 GPIO 口数量很有限,所以该文使用 4 位数据模式。通电后,正常情况下液晶屏会初始化;上面一行显示黑色方块,下面一行空白。如果屏幕一片空白或一片黑,可以尝试调节一下电位器,查看对比度是否合适<sup>[9]</sup>。

LCD 液晶显示电路如图 8 所示,其主要功能是读取 DHT11 的执行结果并进行 LCD 显示。通过 DB0 ~ DB7 八个引脚进行显示,还可调节电阻,调节背光亮度显示。

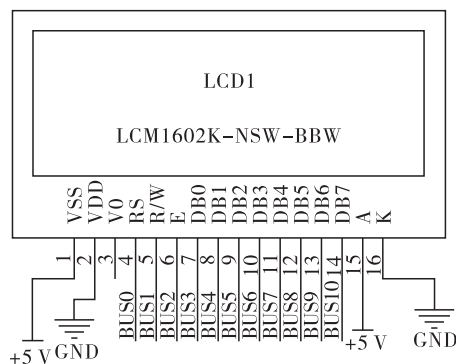


图 8 LCD 液晶显示电路图

### 2.6 PWM 调节模块

该设计融合了 PWM(脉冲宽度调制)技术,实现了对风扇电机调速的精准控制。PWM 作为一种先进的模拟控制策略,依据负载的动态变化,灵活调整晶体管或 MOS 管的导通时长,通过精确操控开关的稳定输出状态,达成对电路特性的精妙调控。PWM 技术是在 1 个恒定的时间周期内,通过智能调节高电平与低电平的持续时间比例,来实现对信号特性的有效控制。动态调整占比的方法赋予了 PWM 信号使用的灵活性,使其能够创造出多样化的输出效果<sup>[10]</sup>。PWM 技术的优势在于其数字信号的纯净性,即从处理器发送至被控制系统的信号全程保持数字形态,彻底省去了繁琐的数字到模拟转换环节。此外,PWM 调节还展现出卓越的抗噪声性能,使其备受青睐,在众多通信场合成为首选方案。

为了实现风扇转速的精细调控,该系统创造性地引入了 PWM 信号来控制驱动电路,该电路以放大电路为核心,巧妙运用了 NPN 型三极管搭建而成。当 STM32 微控制器发出高电平信号时,驱动电路中的三极管即刻进入导通状态,驱动风扇启动。风扇的旋转速度与三极管的导通时长紧密相关,导通时间越长,风扇转速越快;反之,则转速减缓。通过精确调控 PWM 信号的占空比,实现对 PNP 三极

管导通时间的严格控制,进而达到对风扇转速的实时、精准调节。PWM 信号的占空比根据棚内环境温度实时变化,可通过先进算法计算得出<sup>[11]</sup>。风扇调节电路如图 9 所示。

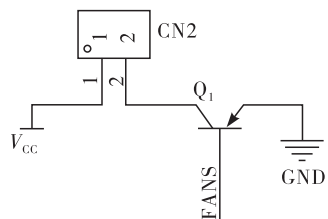


图 9 风扇调节电路图

### 3 系统软件设计

#### 3.1 主程序设计

在系统启动时,主程序首先执行初始化步骤,为 STM32 微控制器、温度传感模块、LCD 液晶显示屏以及无线通信模块等所有功能组件配置初始参数。随后,程序进入 1 个循环检测状态,检查是否有按键被按下以及温度是否超出预设阈值。一旦检测到有指令输入,程序将调用相应的子程序,进行参数配置以及数据处理等操作。期间,DHT11 传感器负责采集温湿度信息,并将这些数据通过 LCD 屏幕显示出来。之后,单片机将这些数据发送给蓝牙模块,最终在手机端进行展示<sup>[12]</sup>。当温度过高时,蜂鸣器报警,可通过 PWM 控制风扇调速,调节温度到额定状态。系统主程序流程如图 10 所示。

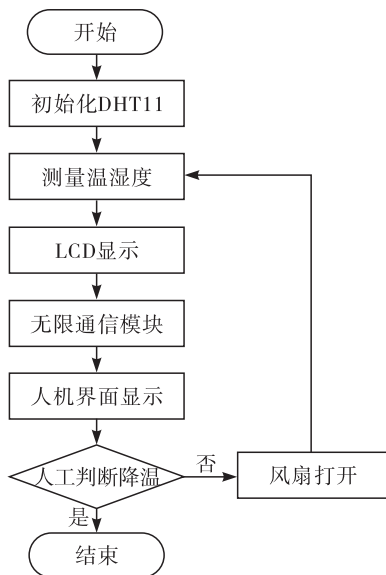


图 10 系统主程序流程图

#### 3.2 子程序设计

##### 3.2.1 温湿度模块软件设计

主程序中温湿度检测模块主要是读取和处理

DHT11 测量的温度值,并且读出所测量的湿度结果,传至软件进行实时显示;判断是否已超出额定上下限,当超出时,发出报警信息并及时上传数据<sup>[13]</sup>。温湿度检测系统流程如图 11 所示。

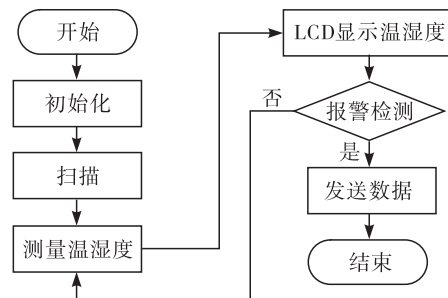


图 11 温湿度检测系统流程图

##### 3.2.2 显示模块软件设计

LCD 显示数据的过程是先初始化 LCD 液晶,之后延时程序开始引导延迟,在进行数据采集后单片机会将数据传递给 LCD(即写数据),再将数据发送到 LCD 中并显示出来,最后返回主程序。LCD 流程如图 12 所示<sup>[14]</sup>。

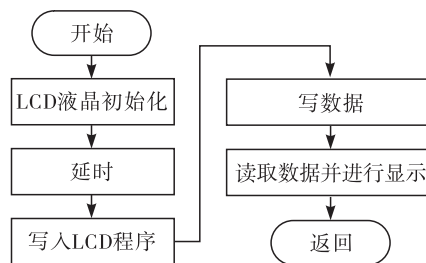


图 12 LCD 流程图

##### 3.2.3 警报模块软件设计

先判断测量得到的温湿度是否超过设定的额定上限,如果超过上限,则输出高电平,使蜂鸣器发出报警;若未超出上限,则蜂鸣器不报警。报警流程如图 13 所示<sup>[15]</sup>。

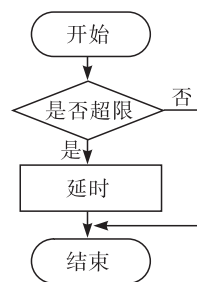


图 13 报警流程图

## 4 系统功能实现

为了达成既定的功能设计要求,在测试中,为测试板预设的温度上限阈值为 25 ℃,湿度阈值为

60% RH。整个测试验证流程分为 2 部分。第 1 部分为温度测试,测试板通电后,显示屏迅速显示出正常的室温值 20 ℃;随后,用手捂住 DHT11 传感器以模拟温度升高,当显示的数值达到 25 ℃ 以上时,蜂鸣器立即发出报警声,测量准确无误。当进入第 2 部分湿度测试后,开始时显示湿度值为 45%;轻轻向 DHT11 吹气以模拟湿度上升,随着显示器数值攀升至 65%,蜂鸣器再次发出清晰的报警声。系统还具备先进的数据传输与分析功能,能将数据进行存储和对比分析。测试过程中,所采集的温湿度数据被实时转送至手机 APP 界面,用户可通过无线蓝牙串口模块,在手机端实时查看相关数据;同时,用户还能通过手机端的风扇模块,对温湿度进行实时调控。当温度过高时,风扇自动加速降温,一旦温度回归至正常设定值,风扇则悄然关闭,整个调控过程智能且高效。

## 5 结语

该文在传统大棚温湿度监控系统的基础上,实现了一系列突破性的创新升级,不仅充分保留了原有的基础监控功能,更融入了无线通信模块、直观的人机交互界面以及精密的 PWM(脉冲宽度调制)调控等前沿技术,为用户带来了前所未有的使用体验。其中,精选的 STM32 单片机以其卓越的低成本、低功耗、超高稳定性以及强大的开发性能,为系统的稳健运行奠定了坚实的基础。STM32 单片机丰富的外设接口与卓越的处理能力,使得系统能够轻松应对各种复杂的应用场景。该系统不仅实现了功能的全面升级,更在用户体验与系统稳定性方面取得了显著优势,为农业智能化、精准化监控树立了新的标杆。该创新设计不仅提升了系统的整体性能,更为后续系统的升级与迭代提供了宝贵的经验与启示。

### 参考文献:

[1] 张翼飞,李志伟,王冰,等. 农业大棚环境控制系统设

计[J]. 机械工程与自动化,2024,10(05):174-176.

- [2] 张航,潘禹城,张照芳,等. 基于 STM32 单片机的智能加湿器设计[J]. 科学技术创新,2024,19(19):103-106.
- [3] 王洪丽. 基于 STC12C5A60S2 的温湿度控制系统设计[J]. 福建轻纺,2024(08):42-46.
- [4] 赫英凤,周甜,史良玉,等. 基于 STM32 的智能风扇系统设计[J]. 电工技术,2024(13):124-126.
- [5] 张子瑜. 一种室内温湿度无线实时监控设计[J]. 河北农机,2019(12):100.
- [6] Jacek Leśnikowski. Effect of temperature and humidity on the transmission properties of textile signal lines[J]. The Journal of The Textile Institute,2020(3):604-610.
- [7] 宋毫. 基于 Wi-Fi 的分布式无线数据采集系统研究与实现[D]. 西安:西安理工大学,2018.
- [8] Das Anthony V, Basu Sayan. Epidemic Keratoconjunctivitis in India: Trend Analysis and Implications for Viral Outbreaks[J]. Indian journal of ophthalmology, 2020(4):732-736.
- [9] 李志勇. 基于对角矩阵的温湿度模糊解耦控制系统的研究[D]. 石家庄:石家庄铁道大学,2018.
- [10] 孙万里,姚维. 基于 STM32 的电机环境监测系统的设计与实现[J]. 工程控制计算机,2019(11):154-155.
- [11] 王玉,岳雅琪,孙悦. 无线数显温湿度控制系统设计[J]. 中国新技术新产品,2017(7):4-5.
- [12] 吴长茂. 一种基于无线局域网的温湿度采集监控系统[J]. 中国战略新兴产业,2018(2):80-81.
- [13] 郭纪良. 粮仓无线传感网温湿度控制系统探讨[J]. 中国设备工程,2018(1):133-134.
- [14] Md Aminul Islam, Atsuo Ikeguchi, Takanori Naide. Influence of temperature and humidity on the dynamics of aerosol numbers and airborne bacteria in a dairy calf house[J]. Biosystems Engineering, 2020(4):213-226.
- [15] 曹佳璐,余宝莲,邵佳慧,等. 基于 STM32 的智能风扇控制系统设计[J]. 中国新通信,2022(4):9-11.

**欢迎投稿！ 欢迎订阅！ 欢迎刊登广告！**

国内邮发代号:52-49 国际发行代号:BM529 定价:18.00 元/期 108.00 元/年  
地址:西安市高新区沣惠南路 8 号 邮编:710075 电话:029-81871277  
网址: <http://yb-zdh.shaangu-group.com> 电子邮箱:gyybbjb@126.com