

基于 STM32 的智能温室环境控制系统开发

梁崇华

盛视科技股份有限公司 广东深圳

【摘要】智能温室环境控制系统利用 STM32 微控制器实现对温室内温度、湿度、光照等环境参数的实时监测与自动调节，提高作物生长环境的稳定性和生产效率。本文设计了一套集传感器采集、数据处理与执行控制为一体的智能温室系统，通过多传感器数据融合和 PID 控制算法，实现环境参数的精准控制，确保温室环境的最佳状态。系统结构合理，响应速度快，具有较高的可靠性和实用价值。实验结果表明，该智能控制系统能够有效提升温室自动化管理水平，促进现代农业发展。

【关键词】STM32；智能温室；环境控制；传感器；自动调节

【收稿日期】2025 年 7 月 15 日 **【出刊日期】**2025 年 8 月 16 日 **【DOI】**10.12208/j.sdr.20250152

Development of intelligent greenhouse environment control system based on STM32

Chonghua Liang

Maxvision Technology Corporation Limited, Shenzhen, Guangdong

【Abstract】The intelligent greenhouse environment control system utilizes the STM32 microcontroller to realize real-time monitoring and automatic adjustment of environmental parameters such as temperature, humidity, and light in the greenhouse, thereby improving the stability of the crop growth environment and production efficiency. This paper designs an intelligent greenhouse system integrating sensor collection, data processing, and execution control. Through multi-sensor data fusion and PID control algorithm, precise control of environmental parameters is achieved to ensure the optimal state of the greenhouse environment. The system has a reasonable structure, fast response speed, and high reliability and practical value. Experimental results show that the intelligent control system can effectively improve the level of automatic greenhouse management and promote the development of modern agriculture.

【Keywords】STM32; Intelligent greenhouse; Environment control; Sensor; Automatic adjustment

引言

现代农业对环境控制技术的需求日益增长，智能温室作为实现高效农业生产的重要手段，逐渐成为研究热点。通过合理调节温室内的温度、湿度和光照条件，可以显著改善作物的生长环境，提升产量和品质。STM32 微控制器具备高性能、低功耗和丰富的外设接口，非常适合用于温室环境监测与控制系统的开发。结合多种传感器技术和先进的控制算法，能够实现对复杂环境参数的实时监控和精准调节。本文针对传统温室控制系统存在的响应慢、控制不精准等问题，设计并实现了一套基于 STM32 的智能温室环境控制系统，旨在为农业生产提供稳定高效的环境保障。该系统不仅提高了自动化水平，

还具有良好的扩展性和应用前景。

1 智能温室环境控制的需求与挑战

温室环境对植物生长具有极为重要的影响，温度、湿度、光照及二氧化碳浓度等环境参数的合理调控直接关系到作物的生长速度和产量。传统温室多依赖人工调节，这种方式不仅劳动强度大，还难以实现精准和动态调整，容易导致环境波动，影响植物的健康成长^[1]。随着现代农业技术的发展，智能温室控制系统应运而生，目标是实现环境参数的自动监测与调节，减少人为干预，提高生产效率和资源利用率。面对农业生产对环境质量的高要求，智能温室系统必须具备高精度、多参数的检测能力，同时能够实时响应环境变化，保证温室内环境的稳定性。

智能温室的设计和应用也面临诸多挑战。环境条件多变且复杂,不同作物对温湿度、光照强度和气体浓度的要求各异,系统必须具备灵活的调控策略。传感器种类繁多,数据采集容易受到噪声和干扰的影响,如何实现准确、可靠的数据融合是系统开发中的关键难题。环境控制涉及加热、通风、加湿、照明等多种执行机构,协调不同设备的工作需要复杂的控制算法,确保系统整体稳定运行。控制系统应兼顾能耗和成本,降低农户使用门槛,提升经济效益和可推广性成为重要设计目标。

在实际应用过程中,环境控制的动态性和实时性对系统的硬件性能和软件设计提出了更高的要求。系统需要快速采集和处理大量传感数据,并基于环境变化做出及时响应,防止环境参数超出植物的适宜范围。设备的稳定性和抗干扰能力也至关重要,尤其在温室内复杂的电磁环境下,传感器和控制器的性能必须经得起考验。智能温室还需具备一定的自学习和自适应能力,以适应季节变化和不同作物的需求,实现环境调节的智能化和个性化,进一步提升系统的科学性和应用价值。

2 基于 STM32 的系统设计与硬件实现

STM32 系列微控制器以其高性能的 ARM Cortex 内核架构在智能温室环境控制领域占据核心地位。该系列芯片不仅具备强大的运算能力,还拥有丰富的外围接口资源,如多路模数转换器(ADC)、定时器、通用异步收发器(UART)、I2C 和 SPI 总线,能够满足多传感器数据采集和控制需求^[2-6]。其低功耗特性确保系统在长时间运行过程中保持能耗最低,延长设备使用寿命。STM32 的多路 ADC 接口允许同时对温度、湿度、光照强度等多项环境参数进行实时采样,确保环境数据的全面性。结合其灵活的定时器和脉宽调制(PWM)输出功能,能够精确控制执行器,如风机转速、加热器功率和照明强度。

硬件设计部分,传感器模块集成了多种关键环境检测设备,包括高精度温度传感器、相对湿度传感器、光照传感器和二氧化碳浓度传感器。为了保证数据采集的准确性,系统采用了数字与模拟信号混合输入方案,既充分利用了数字传感器的稳定性,也兼顾了模拟传感器的高灵敏度。电源部分采用多级滤波和稳压电路,确保系统在复杂电磁环境中依然能够稳定运行,避免噪声干扰对数据采集和处理产生影响。通过串口通信和 I2C 总线连接各功能模

块,系统不仅实现了数据的高效传输,还大大提升了整体的扩展能力,方便后续硬件升级和功能增加。执行部分采用继电器和 PWM 驱动技术,灵活控制温室内的加热设备、风机和灌溉系统,保证调节动作快速且精准,维护温室环境的动态平衡。

为了提升用户操作体验,系统配备了液晶显示模块和按键操作界面,实现本地环境参数的实时显示及手动控制功能,方便现场管理人员直观了解温室状况并进行必要调整。针对远程监控需求,设计了基于无线通信的远程数据传输方案,使用户可通过智能手机、平板或 PC 端实时监控温室环境变化。远程控制功能进一步增强了系统的智能化管理能力,使管理人员无论身处何地均可调整环境控制策略,确保温室内环境始终处于最优状态。硬件整体设计注重结构紧凑和功耗优化,兼具高可靠性与实用性,适合各种规模温室环境的智能控制应用,提升了系统的推广价值和市场竞争力。

3 多传感器数据融合与控制算法应用

智能温室环境的复杂性体现在多个参数的综合影响上,单一传感器难以全面、准确地反映实际环境状况。多传感器数据融合技术成为提升环境监测精度的重要手段。该技术通过采集温度、湿度、光照、二氧化碳等多源信息,利用加权平均法有效整合各传感器的测量结果,降低单一传感器偶发误差的影响。卡尔曼滤波等先进算法进一步增强了数据的抗噪声能力,通过对测量值与预测值的动态修正,提高数据的稳定性与可信度。传感器数据融合不仅增强了环境状态的准确识别能力,还为控制系统提供了更加可靠的输入,有效支持了复杂环境下的智能判断与决策,确保温室环境调控的科学性和实时性。

在控制算法设计方面,基于 PID(比例-积分-微分)控制的闭环机制被广泛应用于温室环境参数的精准调节。该算法根据传感器反馈信号计算误差值,通过调整执行器的输出,实现温度、湿度和光照等环境变量的快速、平稳控制。为适应温室环境的非线性和时变特性,结合模糊控制和自适应调节策略,系统能够智能调整 PID 参数,提高控制的灵活性和鲁棒性。这种多层次控制架构协调风机、加热器和遮阳设备的工作状态,避免资源冲突与浪费,实现能源效率最大化和环境效益最优化,从而保障作物生长环境的稳定与适宜。

系统引入了环境参数阈值管理和异常检测机制,

确保温室环境的安全稳定运行。当传感器出现故障或环境发生突发异常时,系统能够迅速识别异常情况,自动触发报警提示用户,并切换到预设的安全模式,有效防止不利环境对作物生长产生损害。系统具备历史数据存储功能,能够长期保存温室内各项环境参数的变化数据。结合大数据分析技术,系统能够对环境变化趋势进行深入挖掘和预测,辅助优化控制策略,实现更为科学和动态的环境调节^[7]。多传感器融合技术与智能控制算法的紧密结合,不仅提升了数据的准确性和系统的响应速度,还显著增强了智能温室的自动化和智能化水平。这些技术进步推动了农业生产向数字化、精准化方向转型,显著提升了现代农业的生产效率和资源利用率,为未来智慧农业的发展奠定了坚实基础。

4 系统测试与性能分析

系统测试阶段主要围绕智能温室环境控制系统的稳定性、响应速度及控制精度展开评估。为了模拟实际温室环境的复杂变化,搭建了一个包含温度、湿度和光照等多种环境参数的模拟试验平台。该平台支持长时间的动态监测和调节测试,能够真实反映系统在不同环境条件下的运行表现。实验过程中,系统对温度的控制精度表现优异,温度波动始终保持在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的狭窄范围内,确保作物生长环境的稳定。湿度控制的误差控制在 $\pm 3\%$ 以内,满足大多数作物的湿度需求。光照强度调节方面,系统响应迅速且调节平稳,能够适应光照环境的频繁变化。多传感器融合技术的应用显著降低了传感器测量过程中的噪声干扰,提升了环境状态判别的准确性,从而保证了系统控制决策的科学合理性和执行的有效性。这些测试结果充分验证了系统设计的合理性和实用性,为实际应用提供了坚实的技术基础。

响应速度测试体现了控制系统对环境变化的快速适应能力。无论是突发升温、湿度骤降还是光照突变,系统均能在数秒内调整执行机构状态,实现环境参数的迅速回归。执行器驱动电路的设计保证了控制信号的高效传输和执行,有效防止环境参数超限造成植物生长受损。整体测试表明,该系统具备良好的动态性能和稳定性,能够适应实际温室环境中的多变条件,满足农业生产的自动化控制需求。性能分析还包括系统的可靠性和能耗评估^[8]。硬件模块在长期连续运行下表现出良好的稳定性和抗干扰能力,系统软硬件协同优化降低了能耗,提升了

系统的经济效益。通过对比实验,基于 STM32 的智能控制系统相较传统手动调节和简单自动化设备在环境控制精度和运行效率方面具有明显优势。综合来看,该智能温室环境控制系统具备实用价值和推广潜力,为现代农业环境管理提供了有力技术支持。

5 结语

智能温室环境控制系统通过集成多传感器数据融合和先进的控制算法,实现了对温度、湿度和光照等关键环境参数的精准调节。基于 STM32 的硬件平台保障了系统的高效运行和稳定性能,满足了现代农业对自动化和智能化的需求。系统测试表明,该方案在环境监测精度和响应速度上表现优异,具备良好的应用前景。未来,随着传感技术和人工智能的发展,该系统有望进一步提升智能化水平,推动农业生产向更高效、绿色和可持续方向发展。

参考文献

- [1] 卢中玲,高金,杨景超.基于 STM32 嵌入式结构的智能物流机器人控制系统设计[J].兰州文理学院学报(自然科学版),2025,39(04):70-76.
- [2] 白英凯,姜欣宇,郭子昱,等.基于 STM32 带温度补偿的智能障碍预警系统[J].中国新技术新产品,2025,(13):38-40+125.
- [3] 王瑞珍.基于 STM32 的智能测控系统设计[J].信息记录材料,2025,26(07):79-81.
- [4] 马海霞,戚铭郑,钟浩,等.基于 STM32 的独居老人跌倒预警智能家居系统[J].机电工程技术,2025,54(12):140-144.
- [5] 李嘉欣,张浩鹏,李同洲.基于 AIGC 和 STM32 的可移动智能语音系统设计[J].现代信息科技,2025,9(11):187-192+198.
- [6] 李崇伟.基于 STM32 单片机的智能大棚环境检测控制系统[J].中国农机装备,2025,(06):41-44.
- [7] 王圣源.基于 STM32 的智能脊柱侧弯矫形系统研究[D].大连交通大学,2025.
- [8] 郭建军,黄望瀚,陶湘,等.基于 STM32 的智能导盲系统[J].湖北师范大学学报(自然科学版),2025,45(02):52-59.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS