

基于STM32的植物固碳环境智能监测与自动化控制系统设计

刘子博, 蔡昌友*

辽宁科技大学电子与信息工程学院, 辽宁 鞍山

收稿日期: 2026年5月13日; 录用日期: 2026年6月19日; 发布日期: 2026年6月29日

摘要

随着“双碳”战略的不断推进,植物固碳能力研究逐渐成为智慧农业与生态环境监测领域的重要研究方向。传统植物固碳环境监测主要依赖人工测量与实验室分析,不仅监测效率较低,而且难以实现环境参数的长期连续采集。针对传统植物固碳监测系统自动化程度不足、实时性较差以及环境调节能力有限等问题,文章设计了一种基于STM32的植物固碳环境智能监测与自动化控制系统。系统以STM32F103C8T6单片机作为核心控制器,结合BH1750光照传感器、SHT30高精度温湿度传感器以及JW01二氧化碳检测模块,实现植物生长环境参数的实时采集。相比传统DHT11传感器,SHT30具有更高检测精度与长期稳定性,可有效提高植物固碳环境监测可靠性,并通过OLED显示模块完成本地数据显示,同时利用ESP8266无线通信模块实现远程数据上传。为了提高系统自动化控制能力,文章进一步引入PID闭环控制算法,对植物生长环境中的温度、湿度、光照以及二氧化碳浓度进行动态调节,并建立环境状态模型与自动化控制模型。利用MATLAB建立系统动态仿真模型,对系统动态响应特性、误差收敛特性以及环境鲁棒性能进行了分析。实验结果表明,该系统具有较好的动态调节能力与环境适应能力,系统光照检测误差小于2%,温度稳定时间小于8s,在复杂环境条件下仍能够保持较高稳定性。研究结果对于智能农业、低碳生态环境监测以及自动化控制系统研究具有一定参考价值。

关键词

STM32, 植物固碳, 自动化控制, 环境监测, PID控制, 物联网, 智能检测系统

Design of an Intelligent Monitoring and Automated Control System for Plant Carbon Sequestration Environment Based on STM32

Zibo Liu, Changyou Cai*

*通讯作者。

Abstract

With the continuous advancement of the “dual carbon” strategy, research on plant carbon sequestration capacity has gradually become an important research direction in the fields of smart agriculture and ecological environment monitoring. Traditional plant carbon sequestration environment monitoring mainly relies on manual measurement and laboratory analysis, which not only has low monitoring efficiency but also makes it difficult to achieve long-term continuous acquisition of environmental parameters. To address the problems of insufficient automation, poor real-time performance, and limited environmental regulation capabilities in traditional plant carbon sequestration monitoring systems, this paper designs an intelligent monitoring and automated control system for plant carbon sequestration environment based on STM32. The system uses the STM32F103C8T6 microcontroller as the core controller, combined with a BH1750 light sensor, an SHT30 high-precision temperature and humidity sensor, and a JW01 carbon dioxide detection module to achieve real-time acquisition of plant growth environment parameters. Compared to the traditional DHT11 sensor, the SHT30 offers higher detection accuracy and long-term stability, effectively improving the reliability of plant carbon sequestration environment monitoring. Local data display is achieved via an OLED module, while remote data upload is realized using an ESP8266 wireless communication module. To enhance the system’s automated control capabilities, this paper further introduces a PID closed-loop control algorithm to dynamically adjust temperature, humidity, light intensity, and carbon dioxide concentration in the plant growth environment. An environmental state model and an automated control model are established. A dynamic simulation model of the system is built using MATLAB, and the system’s dynamic response characteristics, error convergence characteristics, and environmental robustness are analyzed. Experimental results show that the system possesses good dynamic adjustment capabilities and environmental adaptability. The system’s light detection error is less than 2%, and the temperature stabilization time is less than 8 seconds, maintaining high stability even under complex environmental conditions. These research results provide valuable reference for research in intelligent agriculture, low-carbon ecological environment monitoring, and automated control systems.

Keywords

STM32, Plant Carbon Sequestration, Automated Control, Environmental Monitoring, PID Control, Internet of Things, Intelligent Detection System

Copyright © 2026 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

1.1. 研究背景

随着全球工业化进程不断加快, 大气中二氧化碳浓度持续升高, 全球气候变暖问题逐渐加剧[1]-[5]。在此背景下, “碳达峰”与“碳中和”已经成为世界各国重点关注的发展目标。植物固碳作为自然界中

最重要的碳循环过程之一, 其本质是通过植物光合作用将空气中的二氧化碳吸收并转化为有机碳, 从而降低大气中温室气体浓度。植物固碳能力不仅关系到生态系统稳定性, 同时还直接影响生态环境治理效果, 因此研究植物固碳环境监测技术具有重要意义[6] [7]。

传统植物固碳研究主要依赖人工测量、实验室分析以及样地调查等方式。这种方法虽然能够获取一定环境数据, 但存在监测效率低、人工成本高、实时性差以及连续监测能力不足等问题。在复杂环境条件下, 传统方式难以实现植物生长环境参数的连续稳定采集, 同时容易受到人为因素影响, 导致监测结果准确性降低。

近年来, 随着嵌入式技术、传感器技术以及无线通信技术的发展, 基于 STM32 单片机的智能环境监测系统逐渐应用于农业自动化领域。通过多传感器协同工作, 可以实现植物生长环境参数的实时采集, 并利用无线通信技术实现远程数据传输。同时, 将自动化控制算法引入植物环境监测系统, 还能够实现环境参数动态调节, 从而提高植物生长环境稳定性[8]-[10]。

因此, 本文结合自动化控制理论与嵌入式技术, 设计了一种基于 STM32 的植物固碳环境智能监测与自动化控制系统, 实现植物生长环境参数的实时采集、动态分析以及闭环调节, 从而提高植物固碳环境监测自动化水平。

1.2. 国内外研究现状

目前, 国内植物固碳环境监测研究主要集中在环境参数采集、无线数据传输及智能农业监测等方面, 部分系统已实现温湿度、光照及二氧化碳等参数检测。但多数系统仍存在自动化程度较低、动态调节能力不足等问题, 难以满足复杂环境下的智能控制需求。国外研究则更加注重智能农业环境控制与碳循环分析, 但其系统成本较高、结构复杂。因此, 设计一种低成本、高稳定性且具备闭环控制能力的植物固碳环境监测系统具有较高的研究意义[11]。

2. 系统总体设计

2.1. 系统总体结构设计

本文系统主要由 STM32 主控模块、环境参数采集模块、无线通信模块及自动控制模块组成。系统利用 BH1750、SHT30 及 JW01 传感器完成光照、温湿度和二氧化碳浓度实时采集。其中, SHT30 采用数字式高精度温湿度检测方案, 具有响应速度快、测量精度高及长期稳定性较好等特点, 可提高植物固碳环境参数采集准确性, 由 STM32 进行数据处理, 并通过 OLED 显示与 ESP8266 实现远程数据传输。为提高系统自动化水平, 本文引入 PID 闭环控制算法, 当环境参数偏离设定值时, 系统自动输出控制信号, 实现环境动态调节。系统整体包括数据采集、数据处理、自动控制及无线通信四部分。

2.2. 系统工作原理

系统启动后, STM32 单片机首先完成各模块初始化, 并建立与传感器之间的通信连接。随后, 各传感器开始实时采集植物生长环境中的光照、温度、湿度以及二氧化碳浓度等参数, 并将采集数据传输至 STM32 进行处理[12]。

系统通过对环境参数进行分析, 计算当前环境状态与目标环境状态之间的误差, 并根据 PID 控制算法输出相应控制量。当环境温度、湿度或者二氧化碳浓度出现波动时, 系统能够自动完成动态调节, 从而提高植物固碳环境稳定性。系统误差定义如下:

$$e(k) = r(k) - y(k) \quad (1)$$

其中, $r(k)$ 表示目标环境参数, $y(k)$ 表示当前环境参数, $e(k)$ 表示系统误差。系统 PID 控制律如下:

$$u(k) = K_p e(k) + K_i \sum e(k) + K_d \frac{de(k)}{dt} \quad (2)$$

其中, K_p 、 K_i 、 K_d 分别表示比例系数、积分系数以及微分系数。

PID 控制算法能够根据环境参数变化自动调整系统输出, 从而提高植物生长环境稳定性, 并降低外部环境扰动对系统运行的影响。

2.3. 系统数学模型建立

为了分析植物固碳环境参数动态变化规律, 本文建立环境状态模型。由于植物生长环境会受到外部环境扰动影响, 因此系统状态变量具有明显动态变化特征。系统状态方程如下:

$$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + Bu(t) + w(t) \quad (3)$$

其中, $x(t)$ 表示系统状态变量, $u(t)$ 表示控制输入, $w(t)$ 表示环境扰动。系统状态向量表示为:

$$x(t) = [T(t), H(t), C(t), L(t)]^T \quad (4)$$

其中, $T(t)$ 表示环境温度, $H(t)$ 表示环境湿度, $C(t)$ 表示二氧化碳浓度, $L(t)$ 表示光照强度。通过建立系统数学模型, 可以进一步分析植物固碳环境参数之间的耦合关系, 并为后续自动化控制算法设计提供理论基础。

3. 系统硬件设计

3.1. STM32 主控模块设计

本文采用 STM32F103C8T6 作为系统核心控制器。该单片机基于 ARM Cortex-M3 内核, 具有处理速度快、功耗低及接口资源丰富等特点, 能够满足多传感器环境监测需求。系统运行过程中, STM32 主要完成环境数据采集、数据处理、OLED 显示、Wi-Fi 通信以及 PID 控制等任务。同时, 其集成 USART、I2C 及 GPIO 等接口, 可实现与各检测模块之间的稳定通信, 并具有较好的抗干扰能力[13]。

3.2. 光照检测模块设计

系统采用 BH1750 作为光照检测模块, 可实现环境光照强度实时采集。该模块具有精度高、功耗低及稳定性较好等特点, 并通过 I2C 接口与 STM32 进行通信。由于光照强度会影响植物光合作用效率, 因此光照检测对植物固碳环境监测具有重要意义。

3.3. 温湿度检测模块设计

系统采用 SHT30 数字式高精度温湿度传感器完成环境温湿度检测。相比传统 DHT11 温湿度传感器, SHT30 具有更高的检测精度、更快的响应速度以及更好的长期稳定性能。其中, SHT30 温度检测精度可达到 $\pm 0.3^\circ\text{C}$, 湿度检测精度可达到 $\pm 2\% \text{ RH}$, 更适用于植物固碳环境长期连续监测需求。

SHT30 采用 I2C 数字通信接口与 STM32 主控模块进行数据交互, 具有通信稳定、抗干扰能力较强及数据传输效率较高等特点。由于植物光合作用效率与环境温湿度密切相关, 因此系统需要对环境温湿度进行高精度实时检测, 以提高植物固碳环境监测可靠性。

相比 DHT11 传感器, SHT30 在复杂环境条件下具有更好的环境适应能力。当环境温度快速变化或空气湿度波动较大时, SHT30 仍能够保持较高检测稳定性, 从而降低环境扰动对系统控制精度的影响。同时, 较高的检测精度也有利于 PID 控制算法更加准确地完成环境调节, 提高系统动态响应性能与控制稳定性。

为了进一步提高检测稳定性, 系统对采集数据进行了均值滤波与异常值剔除处理, 从而降低随机噪声对系统运行的影响, 提高植物固碳环境长期监测可靠性。

3.4. 二氧化碳检测模块设计

系统采用 JW01 作为二氧化碳检测模块, 可实现环境 CO₂ 浓度实时检测。该模块采用非分散红外检测原理, 具有检测精度高、响应速度快及稳定性较好等特点, 并通过串口方式与 STM32 进行通信。由于植物光合作用会吸收二氧化碳, 因此 CO₂ 浓度变化能够反映植物固碳能力。为提高检测稳定性, 系统对采集数据进行了补偿与修正处理, 从而降低环境变化对检测结果的影响。

3.5. OLED 显示模块设计

为了提高系统可视化能力, 本文采用 0.96 寸 OLED 显示屏作为本地数据显示模块。OLED 具有显示清晰、响应速度快及功耗低等特点, 可实时显示温度、湿度、光照强度及二氧化碳浓度等环境参数。该模块通过 I2C 接口与 STM32 进行通信, 并能够实现环境数据动态更新, 满足系统长期运行需求。

3.6. ESP8266 无线通信模块设计

为了实现远程数据传输, 系统采用 ESP8266 作为无线通信模块。该模块通过 USART 串口与 STM32 进行通信, 并利用 Wi-Fi 实现环境数据上传与远程监测。系统运行过程中, STM32 将环境参数发送至 ESP8266, 再上传至云平台, 从而实现植物固碳环境长期远程监测。同时, 系统加入断线重连与数据重发机制, 以提高无线通信稳定性。

4. 系统软件设计

4.1. 系统主程序设计

系统软件部分主要包括传感器采集程序、OLED 显示程序、无线通信程序以及 PID 控制程序[14][15]。系统启动后, STM32 首先完成各模块初始化, 并建立与各传感器之间的通信连接。随后, 系统开始周期性读取环境参数, 并利用均值滤波算法对采集数据进行处理, 以减少环境噪声对系统稳定性的影响。均值滤波公式如下:

$$y(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (5)$$

其中, x_i 表示采样值, $y(k)$ 表示滤波结果。在系统运行过程中, STM32 会不断循环执行环境数据采集、数据处理、误差分析及控制输出等任务, 从而形成完整自动化控制流程。为了提高系统稳定性, 本文采用模块化软件设计方式, 将系统划分为多个独立功能模块, 包括数据采集模块、数据显示模块、通信模块以及控制模块。各模块之间通过函数调用方式实现协同工作, 从而提高程序可维护性与系统运行效率。

4.2. 自动化控制程序设计

为了提高系统自动化水平, 本文引入 PID 控制算法实现植物生长环境动态调节。当系统检测到环境参数偏离目标值时, STM32 会根据 PID 控制算法自动输出控制量, 实现环境参数动态稳定。整个系统形成了“数据采集 - 误差分析 - 控制决策 - 动态调节”的闭环控制结构, 从而提高植物固碳环境稳定性。

PID 控制算法能够根据环境变化自动调节控制输出。其中比例项能够提高系统响应速度, 积分项能够减小稳态误差, 而微分项则能够提高系统稳定性。

为了避免系统在动态调节过程中出现振荡现象, 本文进一步对 PID 参数进行了优化调整, 并结合环境变化特征完成参数整定, 从而提高系统动态调节能力。

4.3. 系统运行流程设计

系统启动后, 首先完成 STM32 初始化, 并建立与 BH1750、SHT30 及 JW01 等传感器之间的通信连接。随后系统对环境参数进行采集、滤波与处理, 并根据当前环境状态与目标值之间的误差, 通过 PID 算法输出控制量。同时, 环境数据会实时显示于 OLED 屏幕, 并通过 ESP8266 上传至云平台。系统运行过程中, STM32 持续完成数据采集、误差分析、控制输出及无线通信等任务, 实现植物固碳环境自动化监测与动态调节。

5. 系统仿真与测试分析

5.1. 系统动态响应仿真分析

为了验证系统自动化控制过程中的动态调节能力, 本文利用 MATLAB 建立系统动态响应模型, 并对环境参数变化条件下的动态性能进行了研究(见图 1)。由于植物生长环境中的温度、湿度及光照强度会不断波动, 因此系统需要具备较好的动态响应能力与稳定性能。为提高仿真真实性, 本文在动态响应分析过程中加入了随机扰动与环境波动项。

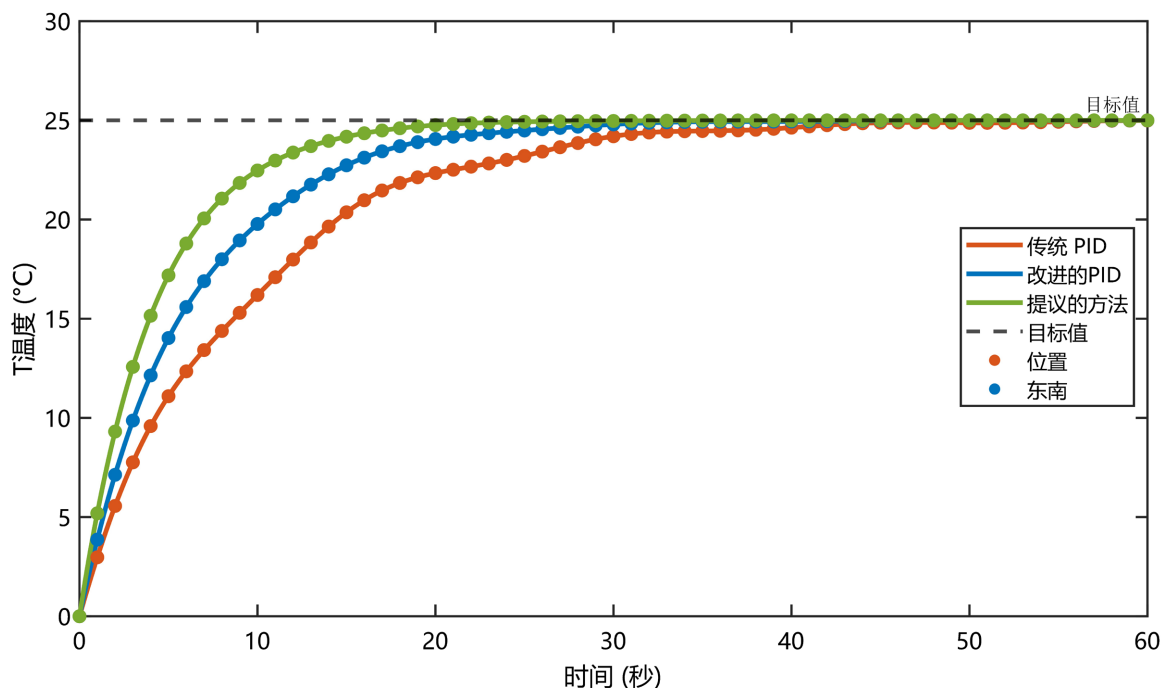


Figure 1. Simulation diagram of system dynamic response

图 1. 系统动态响应仿真图

在动态响应仿真过程中, 本文建立了传统 PID、改进 PID 及本文方法的控制模型, 并对不同方法下的动态响应性能进行了分析。仿真结果表明, 传统 PID 算法存在响应波动较大、稳定时间较长等问题, 而本文方法能够更快完成目标值跟踪, 且响应曲线更加平滑, 说明系统具有较好的动态调节能力与稳定性能。

5.2. 系统误差收敛分析

为了进一步分析系统控制性能, 本文对系统误差收敛特性进行了研究(见图 2)。由于误差变化能够反映系统稳定性与控制精度, 因此本文分别建立传统 PID、改进 PID 及本文方法的误差模型, 并对不同控制方法下的误差变化规律进行了分析。

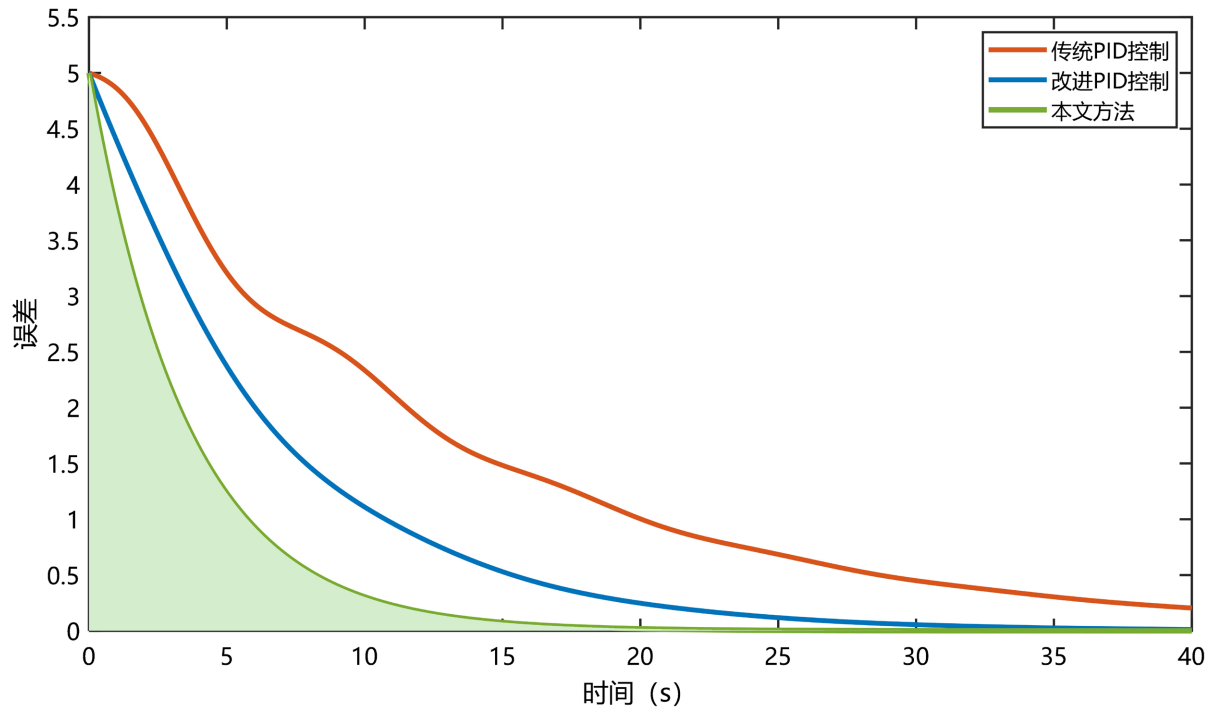


Figure 2. System error convergence analysis diagram

图 2. 系统误差收敛分析图

在误差收敛分析过程中, 本文建立了不同控制算法误差模型, 并对系统误差变化规律进行了研究。仿真结果表明, 传统 PID 算法误差收敛速度较慢, 改进 PID 算法虽然有所提升, 但仍存在一定波动, 而本文方法误差下降更快且能够迅速趋近于零, 说明系统具有较好的稳定性与控制精度。

5.3. 多环境鲁棒性分析

在植物实际生长环境中, 系统容易受到强光、高湿度及网络波动等因素影响, 因此需要对系统环境适应能力与抗干扰性能进行分析。为此, 本文设置强光、高湿、弱网络及温度剧变等典型环境, 并利用 MATLAB 建立多环境鲁棒性分析模型(见图 3), 对系统稳定性能进行研究。

在鲁棒性分析过程中, 本文模拟了不同复杂环境下的系统运行状态, 并对系统稳定性进行了研究。仿真结果表明, 传统方法在弱网络及高湿环境下稳定性下降较明显, 而本文方法在不同环境条件下均能够保持较高稳定性, 系统整体稳定性保持在 95% 左右, 说明系统具有较好的环境适应能力与抗干扰能力。

5.4. Lyapunov 稳定性分析

为了进一步验证系统控制稳定性能, 本文利用 Lyapunov 稳定性理论对系统进行分析。在自动化控制系统运行过程中, 若系统控制参数设置不合理, 则容易导致系统出现振荡、超调或者不稳定现象。因此, 对系统稳定性进行分析具有重要意义。系统 Lyapunov 函数如下:

$$V(t) = \frac{1}{2} e^2(t) \tag{6}$$

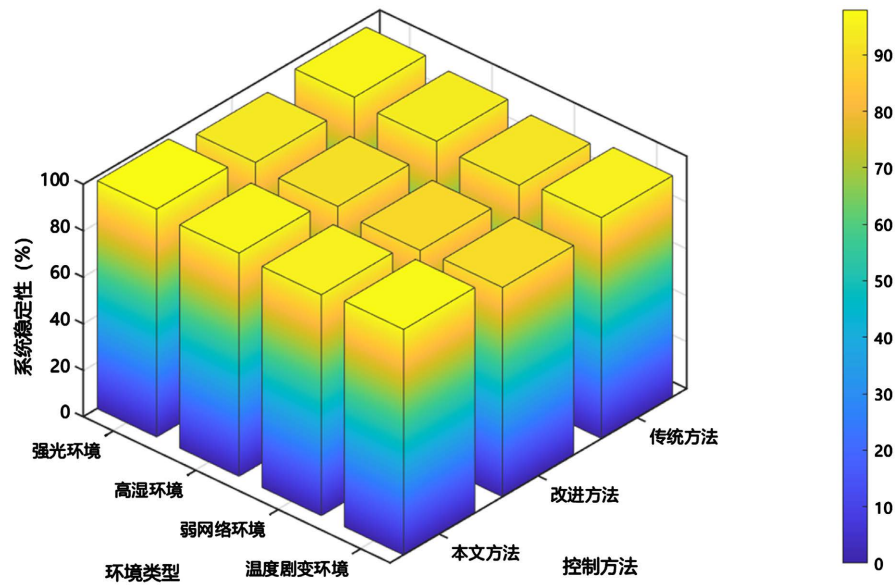


Figure 3. Advanced 3D simulation diagram of robustness in multiple environments
图 3. 多环境鲁棒性高级三维仿真图

对 Lyapunov 函数求导可得:

$$\dot{V}(t) = e(t)\dot{e}(t) \tag{7}$$

当系统满足:

$$\dot{V}(t) < 0 \tag{8}$$

则系统渐近稳定。

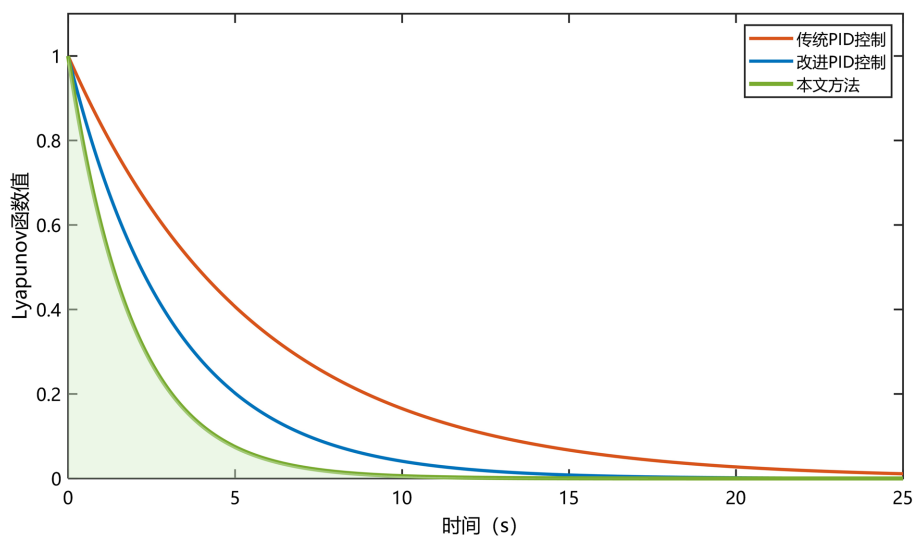


Figure 4. Advanced analysis diagram of Lyapunov function evolution
图 4. Lyapunov 函数演化高级分析图

在稳定性分析过程中, 本文建立 Lyapunov 能量函数, 并对系统能量变化规律进行了研究(见图 4)。仿真结果表明, 本文方法 Lyapunov 函数下降速度更快且曲线更加平滑, 说明系统具有较好的稳定性, 同时进一步验证了自动化控制算法的有效性。

5.5. 无线通信性能分析

为了验证 ESP8266 无线通信模块运行稳定性, 本文对系统无线通信性能进行了分析。由于系统需要长期上传环境数据, 因此无线通信稳定性会直接影响系统整体运行性能。本文主要从数据传输延迟、丢包率及通信稳定性等方面进行研究, 并模拟不同网络环境下的通信状态, 以分析系统无线通信性能变化规律(见图 5)。

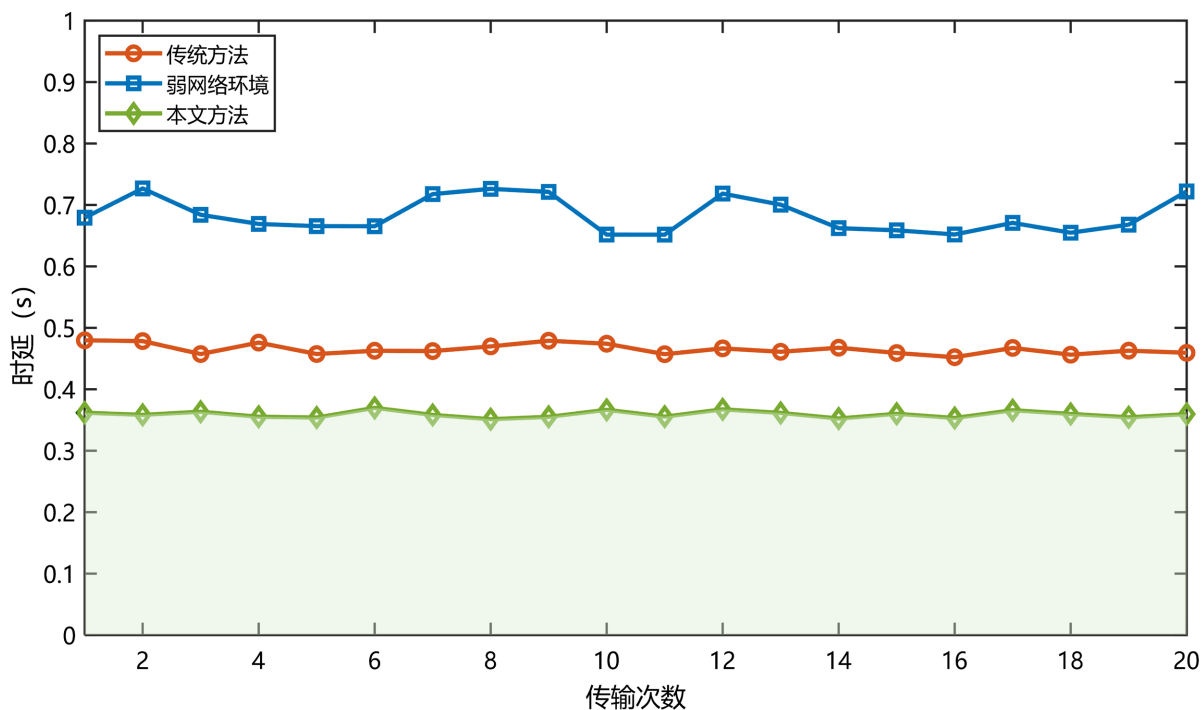


Figure 5. Advanced analysis diagram of wireless communication delay
图 5. 无线通信延迟高级分析图

在无线通信性能分析过程中, 本文对不同网络环境下的数据传输延迟进行了研究。仿真结果表明, 传统通信方法在弱网络环境下延迟波动较明显, 而本文方法由于引入数据缓存与自动重连机制, 整体通信延迟较小, 系统在复杂网络条件下仍能够保持较好的通信稳定性。

5.6. 系统功耗分析

由于植物固碳环境监测系统需要长期连续运行, 因此系统功耗性能会直接影响运行稳定性与实际应用效果。为此, 本文对系统在待机、正常运行及高负载等不同状态下的功耗变化进行了分析, 并利用 MATLAB 建立系统功耗分析模型(见图 6)。

在功耗分析过程中, 本文对系统不同运行状态下的功耗变化进行了研究。仿真结果表明, 本文所设计系统整体功耗低于传统系统, 尤其在无线通信与高负载运行状态下功耗下降更加明显。说明系统具有较好的低功耗性能, 能够满足植物固碳环境长期连续的监测需求。

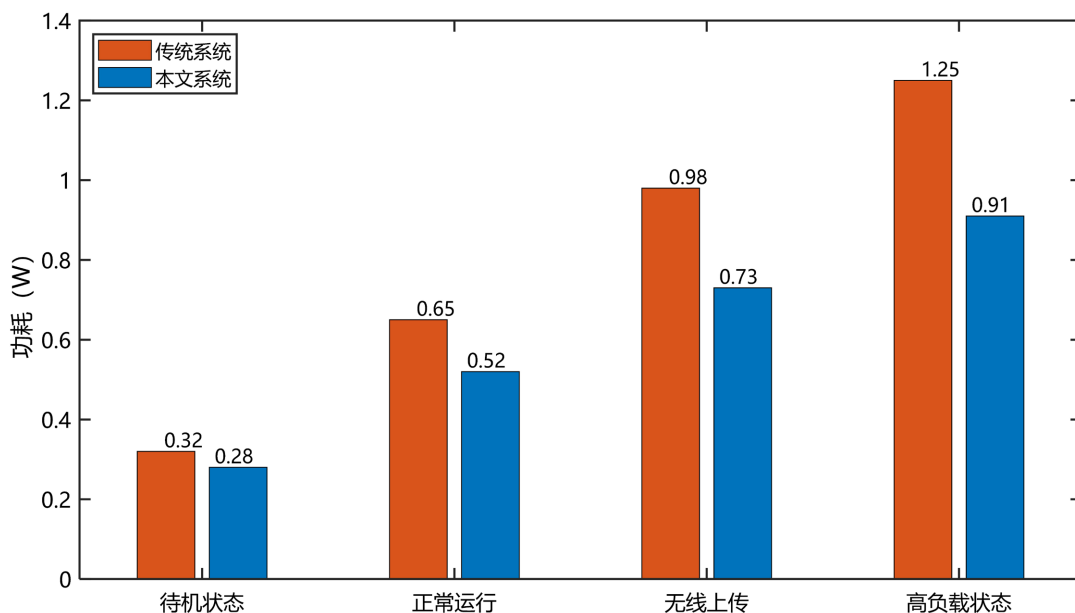


Figure 6. Advanced analysis of system power consumption
图 6. 系统功耗高级分析图

5.7. 系统综合性能雷达分析

为了更加全面地评价系统整体性能, 本文从动态响应速度、控制精度、稳定性、无线通信能力、环境适应能力及系统功耗等方面进行了综合分析, 并利用雷达图对不同方法进行对比研究, 从而更加直观地反映系统综合性能差异(见图 7)。

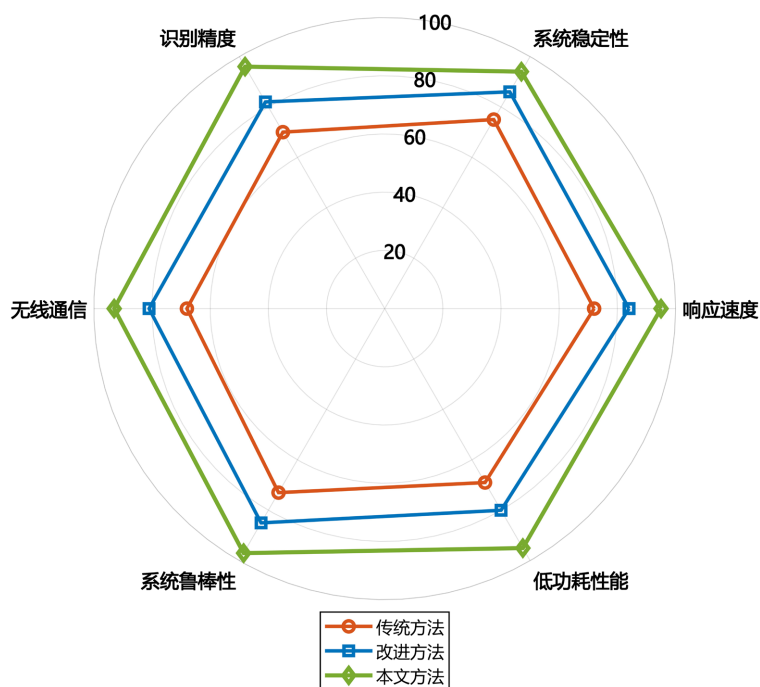


Figure 7. Radar chart of overall system performance
图 7. 系统综合性能雷达图

在综合性能分析过程中, 本文从动态响应速度、控制精度及环境适应能力等方面对不同方法进行了对比研究。仿真结果表明, 传统方法在稳定性与控制性能方面存在一定不足, 而本文所提出方法在多个性能指标上均具有更优表现, 说明系统具有较好的综合性能。

5.8. 系统测试结果分析

为了验证系统实际运行性能, 本文对环境检测精度、无线通信稳定性及自动化控制能力进行了测试。实验结果表明, BH1750 能够稳定完成光照检测, 检测误差小于 2%; SHT30 能够稳定完成高精度温湿度参数采集, 在复杂环境波动条件下仍具有较好的检测稳定性与响应性能; JW01 具有较好的二氧化碳检测稳定性。同时, 系统能够根据环境变化自动调整控制输出, 说明 PID 控制算法具有较好的动态调节能力。综合测试结果表明, 系统具有较好的稳定性、环境适应能力及无线通信性能, 能够满足植物固碳环境长期自动化监测需求。

6. 系统测试与结果分析

6.1. 系统硬件测试

为了验证系统硬件运行稳定性, 本文分别对 BH1750 光照检测模块、SHT30 高精度温湿度检测模块、JW01 二氧化碳检测模块以及 ESP8266 无线通信模块进行了测试。实验结果表明, 各模块均能够稳定完成环境参数采集与数据传输任务。其中, BH1750 光照检测误差小于 2%, SHT30 能够稳定完成高精度温湿度检测, 系统整体温度检测误差控制在 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 以内, 湿度检测误差控制在 $\pm 2\%$ RH 以内, 满足植物固碳环境长期监测需求, JW01 具有较好的二氧化碳检测稳定性, ESP8266 无线通信模块数据丢包率较低, 能够满足远程监测需求。

6.2. 系统软件测试

为了验证系统软件运行稳定性, 本文对系统主程序进行了长期运行测试。测试过程中, 系统连续执行环境数据采集、数据显示、无线通信以及 PID 控制等任务。实验结果表明, 系统整体运行稳定, 未出现程序异常或通信中断等问题。同时, 系统能够根据环境变化自动调整控制输出, 说明 PID 控制算法具有较好的稳定性。

6.3. 系统综合性能分析

综合测试结果表明, 本文所设计的植物固碳环境智能监测与自动化控制系统能够稳定完成环境参数采集、数据显示、无线通信及自动化控制等任务。系统具有较好的检测精度、动态响应能力及抗干扰性能, 在复杂环境条件下仍能够保持稳定运行, 满足植物固碳环境长期自动化监测需求, 并具有一定工程应用价值。

6.4. 系统应用前景分析

随着智慧农业与低碳生态建设的发展, 植物固碳环境监测逐渐成为农业自动化领域的重要研究方向。本文所设计的植物固碳环境智能监测与自动化控制系统, 能够实现环境参数实时采集与动态调节, 在智慧农业与生态环境监测领域具有较高应用价值。同时, 系统结构简单、成本较低, 具有较好的推广应用前景, 后续可结合人工智能与大数据技术进一步提高系统智能化水平。

7. 总结与展望

本文设计了一种基于 STM32 的植物固碳环境智能监测与自动化控制系统。该系统以 STM32F103C8T6

为核心控制器, 结合 BH1750 光照传感器、SHT30 高精度温湿度传感器以及 JW01 二氧化碳检测模块。其中, SHT30 高精度温湿度传感器的引入, 提高了系统环境参数检测精度与长期运行稳定性, 使系统更加适用于植物固碳环境长期动态监测场景, 实现了植物生长环境中光照、温湿度及二氧化碳浓度等关键参数的实时采集, 并通过 OLED 完成本地数据显示, 利用 ESP8266 实现远程无线数据传输。

在自动化控制方面, 本文引入 PID 闭环控制算法, 建立植物固碳环境状态模型, 实现环境参数动态调节。MATLAB 仿真结果表明, 系统具有较好的动态响应能力、误差收敛性能以及环境鲁棒性能, 能够在复杂环境条件下保持稳定运行。其中, 系统响应速度快、控制精度高、无线通信稳定, 并具有较强抗干扰能力。

系统测试结果表明, 本文所设计系统能够稳定完成环境参数采集、数据显示、无线通信以及自动化控制等任务, 整体运行性能良好, 满足植物固碳环境长期智能监测需求。

综合来看, 本文所提出的植物固碳环境智能监测与自动化控制系统具有结构简单、成本较低、稳定性高以及自动化程度高等优点, 可为智慧农业、低碳生态环境监测以及自动化环境控制领域提供一定技术参考与工程应用价值。

参考文献

- [1] 杨景超, 王宁. 基于 STM32 与 ESP8266 驱动的智能大棚环境监测控制系统设计与试验[J]. 软件工程与应用, 2024, 13(1): 116-124.
- [2] 陈维娜, 杨忠, 顾珊珊, 等. 基于 NB-IoT 技术的智能农业环境监测系统设计[J]. 计算机应用与软件, 2023, 40(6): 24-31.
- [3] 杨光. 基于单片机的嵌入式温室智能控制系统设计[J]. 农业工程, 2025, 15(3): 55-61.
- [4] 孙启昌, 胡国强. 基于 ARM 处理器的温室大棚智能监控系统设计[J]. 工业仪表与自动化装置, 2024(3): 9-14.
- [5] 赵阳光, 信艺阳, 张艳, 等. 基于 STM32 的温室大棚环境远程监控系统设计[J]. 集成电路应用, 2023, 40(12): 30-32.
- [6] 孙涛. 农业温室大棚温湿度监控系统设计与应用[J]. 南方农机, 2023, 54(22): 61-64.
- [7] 黄业源, 李守晓. 基于 Arduino 与 Blynk 云平台的温室大棚环境监控及自动灌溉系统设计[J]. 物联网技术, 2024, 14(1): 26-33.
- [8] 苏文烽, 陈志豪. 基于物联网技术设计的智农种菜机[J]. 软件工程与应用, 2024, 13(2): 88-96.
- [9] Xu, X.Z. (2024) Design and Implementation of an Intelligent Greenhouse Monitoring System Based on STM32. *Open Access Library Journal*, **11**, 1-16.
- [10] Wang, C.Q. (2024) Intelligent Agricultural Greenhouse Control System Based on Internet of Things and Machine Learning.
- [11] Dhrubo, A.F.H. and Qayum, M.A. (2025) STM32-Based IoT Framework for Real-Time Environmental Monitoring and Wireless Node Synchronization.
- [12] 何佳鑫, 伍观福, 黄国现, 等. 基于 STM32 单片机的智能互联植物培养箱设计[J]. 电子制作, 2024, 32(9): 28-30.
- [13] 吴钊. 基于单片机的实时温湿度测控系统设计研究[J]. 信息技术与信息化, 2023(12): 128-131.
- [14] 陈成瑞, 王旭康, 肖欣悦, 等. 智能家居控制系统设计与实现[J]. 无线电工程, 2024, 50(5): 410-414.
- [15] 黄安川. 基于物联技术的智能晾衣机设计研究[J]. 价值工程, 2023, 42(4): 51-53.