

温室大棚环境智能控制系统设计

张涛年

甘肃恒基工程咨询设计有限公司，甘肃 兰州 730000

摘要：随着现代农业的快速发展，温室大棚种植技术得到广泛应用。为提高温室大棚的生产效率、保障作物生长质量，设计一套高效可靠的温室大棚环境智能控制系统至关重要。本文详细阐述了温室大棚环境智能控制系统的设计过程。首先分析了温室大棚环境控制需求，明确了系统需监测与控制的关键环境参数。接着介绍了系统的总体设计方案，包括硬件架构与软件功能模块。在硬件设计方面，选用了合适的传感器、控制器与执行器，以实现环境参数的精准采集与设备的有效控制；软件设计则构建了基于嵌入式系统的控制程序与上位机管理平台，具备数据实时显示、存储、分析以及智能决策功能。通过实际测试与应用验证，该系统能够稳定运行，精准调控温室大棚内的温度、湿度、光照、二氧化碳浓度等环境参数，有效改善作物生长环境，提高作物产量与品质，为现代农业的智能化发展提供了有力支持。

关键词：温室大棚；环境智能控制；系统设计

DOI: 10.63887/jad.2025.1.3.22

1 引言

农业作为国民经济的基础产业，其发展水平直接关系到国家的粮食安全和社会稳定。随着人口的增长和人们生活水平的提高，对农产品的需求不断增加，同时对农产品的品质也提出了更高要求。传统农业受自然条件限制较大，生产效率低，难以满足现代社会对农产品数量和品质的双重需求。温室大棚种植技术作为一种现代化的农业种植方式，通过人工创造适宜作物生长的环境条件，能够有效提高农作物的产量和质量，实现农作物的反季节种植，具有重要的经济和社会价值。然而，传统的温室大棚环境控制主要依靠人工经验，存在控制精度低、劳动强度大、无法实时响应环境变化等问题。随着信息技术的飞速发展，将智能化技术应用于温室大棚环境控制成为必然趋势。温室大棚环境智能控制系统能够实时监测和调控温室内的环境参数，为作物生长提供最佳的环境条件，提高农业生产的自动化、智能化水平。

2 温室大棚环境控制需求分析

2.1 主要环境参数

温度：温度是影响作物生长的重要因素之一。不同作物在不同的生长阶段对温度有不同的要求。例如，大多数蔬菜作物在生长过程中适宜的温度范围为 15 - 30℃，温度过高或过低都会影响作物的生长速度、开花结果和品质。

湿度：湿度对作物的蒸腾作用、光合作用和病虫害的发生有重要影响。适宜的湿度范围能够保持作物的水分平衡，促进作物的生长。一般来说，温室大棚内的相对湿度应控制在 50% - 80%之间。

光照：光照是作物进行光合作用的能量来源，直接影响作物的生长和发育。不同的作物对光照强度和光照时间有不同的需求。智能控制系统需要根据作物的需求，合理调节光照强度和光照时间，保证作物获得充足的光照。

二氧化碳浓度：二氧化碳是作物光合作用的原料之一。适当提高温室大棚内的二氧化碳

浓度能够增强作物的光合作用，提高作物产量。通常，温室大棚内的二氧化碳浓度应保持在 800 - 1500ppm 之间^[1]。

2.2 控制要求

实时监测：系统需要实时、准确地监测温室大棚内的各项环境参数，并将数据传输到控制中心，以便及时了解环境状况。

精准控制：根据预设的环境参数阈值和作物的生长需求，系统能够自动控制加热、降温、加湿、除湿、补光、通风等设备，实现对环境参数的精准调控。

智能决策：系统应具备一定的智能决策能力，能够根据环境参数的变化趋势和历史数据，自动调整控制策略，优化环境条件，提高能源利用效率。

远程管理：为了方便用户随时随地管理温室大棚，系统应支持远程监控和控制功能，用户可以通过手机、电脑等终端设备实时查看环境数据和设备运行状态，并进行远程操作。

故障报警：当环境参数超出正常范围或设备出现故障时，系统能够及时发出报警信息，提醒用户采取相应的措施，确保温室大棚的安全运行^[2]。

3 设计原则

可靠性：系统应具备高度的可靠性，能够在各种恶劣环境下稳定运行，确保环境参数的准确监测和设备的可靠控制。

实用性：系统的设计应充分考虑温室大棚的实际应用需求，操作简单方便，易于维护和管理。

可扩展性：随着温室大棚规模的不断扩大和技术的不断发展，系统应具备良好的可扩展性，方便添加新的传感器和设备，实现功能的升级和扩展。

经济性：在满足系统功能要求的前提下，应尽量降低系统的成本，提高性价比，使系统能够得到广泛的应用^[3]。

4 系统硬件设计

4.1 传感器选型

温度传感器：选用数字式温度传感器 DS18B20，它具有测量精度高、抗干扰能力强、使用方便等优点。DS18B20 采用单总线接口，只需一根数据线即可与控制器通信，能够直接将温度值转换为数字信号输出，测量范围为 $-55^{\circ}\text{C} - +125^{\circ}\text{C}$ ，精度可达 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

湿度传感器：采用 DHT11 数字温湿度传感器，它集成了温度和湿度测量功能，输出已经校准的数字信号。DHT11 湿度测量范围为 20% - 90%RH，精度为 $\pm 5\%\text{RH}$ ；温度测量范围为 $0 - 50^{\circ}\text{C}$ ，精度为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，具有响应快、抗干扰能力强等特点。

光照传感器：选用 BH1750FVI 光照强度传感器，它是一种数字型光强度传感器集成电路，具有高分辨率，能够测量 1 - 65535lx 范围内的光照强度。BH1750FVI 通过 I2C 总线与控制器通信，测量精度高，受环境光影响小。

二氧化碳传感器：采用 MH - Z19B 二氧化碳传感器，它是一种非分散红外 (NDIR) 原理的二氧化碳检测模块，具有高精度、高稳定性、长寿命等优点。MH - Z19B 测量范围为 0 - 5000ppm，精度为 $\pm (50\text{ppm} + 3\%\text{读数值})$ ，输出为 UART 或 PWM 信号，方便与控制器连接^[4]。

4.2 控制器选型

选用 STM32F103C8T6 微控制器作为系统的核心控制器。STM32F103C8T6 是基于 ARM Cortex - M3 内核的 32 位微控制器，具有丰富的外设资源和强大的处理能力。它拥有 64KB 的 Flash 存储器和 20KB 的 SRAM，能够满足系统程序的存储和运行需求。该控制器具备多个定时器、ADC、UART、I2C、SPI 等接口，方便与各种传感器和执行器连接，实现数据的采集和控制信号的输出。

4.3 执行器选型

加热器：根据温室大棚的面积和保温性能，选择合适功率的电加热器。加热器通过继电器模块与控制器连接，当温度低于设定阈值时，控制器控制继电器闭合，加热器开始工作，提高温室内的温度。

降温设备：常用的降温设备有风扇和水帘。风扇通过继电器控制其启停，当温度过高时，控制器启动风扇，加速空气流通，降低温度。水帘降温系统则通过电磁阀控制水的流通，当需要降温时，控制器打开电磁阀，水在水帘上形成水膜，空气通过水帘时水分蒸发吸热，达到降温的目的。

加湿器与除湿器：加湿器一般采用超声波加湿器，通过继电器控制其工作。当湿度低于设定阈值时，控制器启动加湿器，增加温室内的湿度。除湿器可选择压缩式除湿器，同样通过继电器控制，当湿度过高时，启动除湿器降低湿度。

补光灯：选用 LED 补光灯，具有发光效率高、寿命长、光谱可调等优点。补光灯通过继电器控制其开关，根据光照强度和作物的光照需求，控制器自动控制补光灯的亮灭。

通风机：通风机用于调节温室内的空气流通，通过继电器控制其运行。当二氧化碳浓度过高或需要调节温湿度时，控制器启动通风机，排出室内污浊空气，引入新鲜空气^[5]。

4.4 硬件电路设计

传感器接口电路：根据不同传感器的通信接口，设计相应的接口电路。对于 DS18B20 温度传感器，采用单总线接口电路，通过一个上拉电阻将数据线连接到控制器的 GPIO 口。DHT11 温湿度传感器采用单总线接口，电路设计与 DS18B20 类似。BH1750FVI 光照传感器通过 I2C 总线与控制器连接，需要设计 I2C 总线的上拉电阻电路。MH-Z19B 二氧化碳传感器的 UART 接口通过电平转换芯片与控制器的 UART 口连接。

继电器驱动电路：继电器用于控制执行器

的电源通断，由于控制器的 GPIO 口输出电流较小，无法直接驱动继电器，因此需要设计继电器驱动电路。采用三极管驱动继电器，当 GPIO 口输出高电平时，三极管导通，继电器线圈通电，触点闭合，执行器开始工作；当 GPIO 口输出低电平时，三极管截止，继电器线圈断电，触点断开，执行器停止工作。同时，在继电器线圈两端并联一个二极管，用于吸收继电器断电时产生的反向电动势，保护三极管。

电源电路：系统需要稳定的电源供应，设计电源电路将 220V 交流电转换为适合控制器和传感器工作的直流电。采用开关电源模块将 220V 交流电转换为 5V 直流电，为控制器和部分传感器供电；再通过线性稳压芯片（如 AMS1117）将 5V 直流电转换为 3.3V 直流电，为其他对电压要求较低的传感器和芯片供电。

5 系统软件设计

5.1 嵌入式控制器程序设计

嵌入式控制器程序采用 C 语言编写，基于 Keil MDK 开发环境进行开发。程序主要包括主程序、传感器数据采集子程序、控制算法子程序、执行器控制子程序和通信子程序等模块。

主程序：主程序是系统的入口程序，负责系统的初始化，包括控制器时钟初始化、GPIO 口初始化、传感器接口初始化、定时器初始化、串口初始化等。初始化完成后，主程序进入一个无限循环，不断调用各个子程序，实现系统的各项功能。

传感器数据采集子程序：传感器数据采集子程序按照一定的时间间隔依次读取各个传感器的数据。对于单总线接口的传感器（如 DS18B20、DHT11），按照相应的通信协议发送命令并读取数据；对于 I2C 接口的 BH1750FVI 光照传感器和 UART 接口的 MH-Z19B 二氧化碳传感器，分别通过 I2C 总线和 UART 串口与传感器进行通信，获取环境参数

数据。采集到的数据经过简单的处理后,存储在控制器的内存中,供其他子程序使用。

控制算法子程序:控制算法子程序根据采集到的环境参数和预设的阈值,判断是否需要执行器进行控制。本系统采用模糊控制算法实现对环境参数的智能调控。模糊控制算法能够将精确的环境参数值模糊化为模糊语言变量,根据预先制定的模糊控制规则进行推理,再将模糊输出量解模糊化为精确的控制量,从而控制执行器的动作。例如,在温度控制中,将温度偏差和温度偏差变化率作为模糊输入变量,加热器或降温设备的控制量作为模糊输出变量,通过模糊推理得到合适的控制量,实现对温度的精确控制。

执行器控制子程序:执行器控制子程序根据控制算法子程序输出的控制量,控制相应的执行器动作。通过设置 GPIO 口的电平状态,控制继电器的通断,从而控制加热器、降温设备、加湿器、除湿器、补光灯、通风机等执行器的启停和工作状态。

通信子程序:通信子程序负责嵌入式控制器与上位机之间的数据通信。本系统采用串口通信方式,控制器通过串口将采集到的环境数据和设备运行状态信息发送给上位机,同时接收上位机下发的控制指令和参数设置信息。通信协议采用自定义的简单协议,包括数据帧头、数据长度、数据内容、校验位等部分,确保数据传输的准确性和可靠性。

5.2 上位机管理软件设计

上位机管理软件采用 C# 语言基于 Visual Studio 开发环境进行开发,使用 Windows Forms 框架构建用户界面。上位机软件主要包括数据实时显示模块、数据存储模块、数据分析模块、控制指令下发模块和用户管理模块等功能模块。

数据实时显示模块:数据实时显示模块通过串口与嵌入式控制器建立连接,实时接收控

制器上传的环境数据和设备运行状态信息,并将数据以直观的图表、曲线和数字形式显示在软件界面上。用户可以直观地了解温室大棚内的温度、湿度、光照、二氧化碳浓度等环境参数的变化情况,以及各个执行器的工作状态。

数据存储模块:数据存储模块将接收到的环境数据和设备运行状态信息存储到数据库中,以便后续查询和分析。本系统采用 SQL Server 数据库进行数据存储,设计了相应的数据表结构,包括环境数据表、设备状态表等。数据存储模块定期将数据写入数据库,确保数据的完整性和安全性。

数据分析模块:数据分析模块对存储在数据库中的历史数据进行分析 and 统计,为用户提供决策支持。该模块可以生成各种报表和图表,如环境参数日报表、月报表、年报表,环境参数变化趋势图等。通过数据分析,用户可以了解温室大棚环境的变化规律,评估控制策略的效果,优化种植方案。

控制指令下发模块:控制指令下发模块允许用户通过上位机软件向嵌入式控制器发送控制指令和参数设置信息。用户可以在软件界面上设置环境参数的阈值、控制策略等参数,并将这些参数下发到控制器,实现对温室大棚环境的远程控制。同时,用户还可以手动控制执行器的动作,如远程开启或关闭加热器、补光灯等设备。

用户管理模块:用户管理模块负责对使用上位机软件的用户进行管理,包括用户注册、登录、权限设置等功能。不同权限的用户可以访问和操作不同的功能模块,确保系统的安全性和数据的保密性。

结语

总之,温室大棚环境智能控制系统是现代农业发展的重要方向之一。通过不断的研究和创新,进一步完善系统的功能和性能,将为现代农业的可持续发展提供有力的技术支持。

参考文献

- [1] 舒君, 杨恒玲, 朱俊标, 贺达江. 关于温室大棚智能控制系统的研究[J]. 信息与电脑, 2017, 29(10): 94-95
- [2] 张红宾, 高艺, 程如岐, 司敏山. 基于物联网的温室大棚卷帘智能控制系统设计[J]. 自动化与仪表, 2024, 39(8): 20-2328
- [3] 张巍然, 侯艳红. 一种温室大棚智能控制系统的设计[J]. 广东蚕业, 2019, 53(9): 46-4753
- [4] 杨帆. 分布式温室智能控制系统设计与实现[J]. 电子制作, 2024, 32(12): 55-59
- [5] 杨媛钊. 基于 APP 技术的农业大棚环境调控设计[J]. 物联网技术, 2023, 13(6): 25-27
- [6] 沈卫星. 基于 AT89C51 温室大棚无线温湿度监测系统的设计与实现[J]. 数字技术与应用, 2023, 41(5): 190-192