



安徽建筑大学
ANHUI JIANZHU UNIVERSITY

毕业设计（论文）

题 目： 基于 STM32 的智能温室大棚控制系统设计

姓 名： 年志豪

学 号： 20210040216

学 院： 电子与信息工程学院

专 业： 电子信息工程

指导教师： 邵慧

完成时间： 2024 年 x 月 x 日

摘 要

本研究旨在设计一种基于FreeRTOS实时操作系统架构的智能温室大棚环境监控与控制系统方案。该系统选取了高性能STM32F407微处理器作为核心硬件平台，实现对温室大棚内部一系列关键环境参数的实时精确测量与监控，这些参数主要包括温度、湿度、土壤含水量、光照强度以及二氧化碳浓度。系统集成了一系列精密传感器设备与执行元件，诸如温湿度传感器模块用于实时捕捉并记录空气温湿度状况；土壤湿度传感器则专注于监测土壤含水信息；光照强度传感器则精准感知大棚内部光照条件的变化；同时配备有高精度的二氧化碳浓度传感器，以确保对棚内气体环境的严密监控。

自动控制模式下，通过舵机装置动态调整通风口大小以适应不同通风需求，而加热片可根据温度传感器反馈的信息精确调节温室大棚温度。另外，系统结合土壤湿度，空气湿度以及CO2浓度数据，分别智能控制浇水器，加湿器和通风扇的工作状态，确保温室环境始终保持在适宜植物生长的范围内。手动模式下，用户可以直接介入对各设备进行独立操作，赋予了管理者在特殊情况下根据个人经验或临时需求灵活调整温室环境参数的能力。同时，系统创新性地融入了蓝牙无线通信模块，实现了远程监控和控制功能，显著提高了管理效率。

为了提供直观且实时的数据反馈，本研究开发的智能温室大棚环境监控与控制系统集成了 OLED 显示技术，向用户呈现一个信息丰富且易于解读的可视化交互界面，着重体现了智能化与远程操控特性，能够实现实时监测并精准调控温室大棚内的复杂环境变量。这种创新设计显著提升了设施农业环境管理的精细化水平，对推动现代设施农业向着高效率、优品质及可持续的方向发展。

关键词： STM32；FreeRTOS；DHT11；HC-05；SGP30；OLED

ABSTRACT

This study presents a design for an intelligent greenhouse environmental monitoring and control system based on the FreeRTOS real-time operating system. The core hardware platform of this system utilizes the high-performance STM32F407 microcontroller to achieve real-time and precise monitoring of critical environmental factors within the greenhouse, including temperature and humidity, soil moisture, light intensity, and CO₂ concentration. A suite of sensors and actuators such as temperature and humidity sensors, soil moisture sensors, light intensity sensors, and high-precision CO₂ sensors is employed to capture environmental data dynamically.

Under the automatic control mode, the system adjusts the size of ventilation openings using servo mechanisms in response to varying ventilation requirements. Moreover, the heating panel precisely regulates the greenhouse temperature based on feedback from temperature sensors. Additionally, the system intelligently controls the operation of humidifiers and ventilators by integrating soil moisture, air humidity, and CO₂ concentration data, thereby ensuring that the greenhouse environment consistently remains within the optimal range for plant growth. In manual mode, users can directly intervene to independently control each device, granting managers the flexibility to make adjustments based on their expertise or temporary needs in special circumstances.

Innovatively, the system integrates Bluetooth wireless communication modules, enabling remote monitoring and control capabilities, significantly enhancing management efficiency. Furthermore, an OLED display is incorporated to present various environmental parameters in a clear, readable format, updating real-time values for temperature, humidity, soil moisture, light intensity, and CO₂ concentration.

In summary, the intelligent greenhouse environmental monitoring and control system developed in this research exhibits both intelligent control and remote operability characteristics. It effectively raises the level of precision in agricultural production management, thereby contributing significantly to the sustainable development of modern facility agriculture and offering considerable scientific value and broad application prospects for improving agricultural production efficiency and quality.

Keywords: STM32;FreeRTOS;DHT11;HC-05;SGP30;OLE

目 录

第 1 章 绪论	6
1.1 研究背景与意义	6
1.2 国内外研究现状	7
1.3 研究内容	7
1.4 论文结构安排	8
第 2 章 系统方案设计	8
2.1 硬件方案设计	8
2.1.1 DHT11(温湿度模块)	8
2.1.2 OLED(显示输出模块)	9
2.1.3 HC-05(蓝牙无线通信模块)	12
2.1.4 执行模块	13
2.2 软件方案设计	15
2.2.1 任务调度架构设计	15
2.2.2 执行任务设计	15
2.2.3 自动控制进程设计	16
2.2.4 手动控制进程设计	17
2.2.5 系统命令汇总	17

第1章 绪论

1.1 研究背景与意义

在全球气候变化与人口压力所引发的粮食安全问题日渐凸显之际，提升农业生产效能和保证农产品品质已上升为国际农业领域亟待解决的关键议题。现代农业正逐步向精细化、智能化和绿色发展范式转变，其中，智能温室大棚作为一种设施农业的高效载体，其环境调控技术的研究与应用显得尤为关键和迫切。

智能温室大棚环境监控与控制系统是现代设施农业体系中的核心技术支撑，它整合了前沿的传感技术、智能控制算法和信息化手段，能够在复杂的自然环境背景下创造出最适宜植物生长发育的微观气候环境。相较于传统的温室环境控制主要依靠人工观察与经验判断的方式，往往无法实现环境参数的精准、高效且节能的调控，极大地制约了其潜在生产效能的释放。

本文探讨的是一种基于 FreeRTOS 实时操作系统的智能温室大棚环境监控与控制系统解决方案，目的在于破解上述瓶颈。系统采用高性能的 STM32F407 微处理器为核心控制部件，全面涵盖了对温湿度、土壤湿度、光照强度以及二氧化碳浓度等多元环境要素的实时、高精度监测功能。

在自动控制模式下，系统可根据实时采集的环境数据，智能地调整温室内部的通风、加湿、加热等设备运行状态，确保各类环境参数始终处于最适宜植物生长的理想范围之内。同时，系统也设置了手动调节模式，允许管理人员在必要时依据个人专业知识与现场实际情况进行灵活干预，体现出系统的高度灵活性和人性化设计理念。该系统不仅提升了温室环境调控的科学性与精确度，也为现代设施农业的智能化进程注入了新的活力。

系统创新地引入了蓝牙无线通信技术，突破了空间限制，使得温室环境的远程监控与调控得以实现，大大提升了管理效率与便捷性。OLED 显示屏的配备则为用户提供了直观、实时的环境参数展示，有助于快速准确地把握温室内部环境状况。

本研究的意义主要体现在以下几个方面：通过智能化环境调控，有助于降低能源消耗，提高资源利用率，实现绿色低碳的农业生产模式；精准的环境控制能

有效提高作物产量和品质，满足市场对高品质农产品的需求；远程监控与控制功能为现代农业管理提供了全新的手段和方法，促进了设施农业现代化进程；本系统的研究与应用有助于推动我国乃至全球农业科技进步，对保障粮食安全、促进农业可持续发展具有重要意义。

1.2 国内外研究现状

基于 STM32 单片机的智能温室大棚控制系统设计在国内外已取得了一系列研究成果，并展现出巨大的应用潜力。在国内，黄超等人^[1]设计并测试了一种基于 STM32 的在线恒温光谱分析系统，为环境参数精准监测提供了技术支持。夏志昌等人^[2]则研究了 STM32 在控制半导体激光器输出功率和工作温度稳定性方面的应用，为智能控制系统的稳定性优化提供了理论依据。

纪建伟等人^[3]专门针对温室环境，设计了一款基于 STM32 的 CO₂ 浓度自动调控系统，实现实时、精准的环境调控。吴雪雪^[4]探讨了基于 NB-IOT 技术的农作物大棚监测系统，这一研究进一步丰富了智能温室大棚的远程监控功能。

郭磊的硕士学位论文^[5]详细阐述了如何利用 STM32 单片机设计温室环境监测和控制系统，为全面实现温室环境智能化管理奠定了基础。

国外研究方面，Andrzej P 和 Mateusz S^[7]使用 STM32 处理器开发了一种成本较低的 4 自由度并联机器人原型，展示了 STM32 在自动控制机械结构中的可行性。Lei L 等人^[8]设计了一种基于 STM32 微控制器和 LabVIEW 的多通道气体传感器检测系统，强化了 STM32 在环境监测中的应用领域。

Ionel Z 和 Gheorghita V^[9]针对 STM32 嵌入式设备优化了 Modbus 通信协议以减少数据采集时间，提高了系统整体效率。Rui J 等人^[10]基于 STM32 设计并验证了人体代谢测量系统，展示了 STM32 在跨学科交叉领域的应用。

国内外研究者围绕 STM32 单片机在智能温室大棚控制系统设计方面展开了深入研究，涉及环境参数监测、精准调控、远程通信优化等多个层面，不断推动着智能温室大棚控制技术的发展与完善。

1.3 研究内容

本研究的内容是基于 STM32 的智能温室大棚控制系统设计，研究内容主要包括以下几个核心部分：

1. 硬件设计：构建一个基于高性能 STM32 单片机的硬件平台方案，其核心目

标在于实现温室大棚内环境数据的实时采集与精确调控。平台集成了包括但不限于温湿度传感器、土壤湿度探头、光照强度计及二氧化碳浓度监测器在内的多种传感技术，确保全面获取温室内的关键环境参数。系统无缝对接一系列执行部件，涵盖舵机控制、电热片调节、智能加湿器运作以及通风扇控制等重要环节，使系统能够在收集数据的基础上即时调整温室设施的工作状态，有效管理温度、湿度、光照以及气体浓度等环境因素。

2. 软件系统开发：本项目选用 FreeRTOS 实时操作系统作为基础，致力于构建一套稳健且高效的控制软件生态系统。系统内核围绕数据获取与智能化调控展开。数据采集模块依据预定时间间隔，有序地从各类传感器源获取实时环境数据，并进行预处理，以提升数据质量及后续应用效能。策略紧密结合实时环境参数的变化趋势，能够自主判断并动态调整各个执行机构的工作状态，如舵机角度、加热片功率、加湿器输出量以及通风扇转速等，确保温室环境的精准调控与优化，创造适宜植物生长发育的微环境条件。
3. 通信模块集成：研究并实现蓝牙无线通信技术在系统中的应用，实现温室环境参数的远程控制功能，增强系统的智能化水平和管理效率。
4. 人机交互界面设计：采用 OLED 显示屏，设计直观友好的用户界面，实时显示温室环境的各项参数，同时提供手动模式下的设备独立控制功能，确保在特殊情况或需要人工干预时，管理者可以灵活调整温室环境设定。

1.4 论文结构安排

第2章 系统方案设计

2.1 硬件方案设计

2.1.1 DHT11(温湿度模块)

DHT11 是一款高度集成的数字温湿度传感器组件，具备独特的单总线通信协议，专为实时监测环境温湿度而设计。该传感器内嵌精密的电阻式感湿元件和 NTC 热敏电阻作为温度传感单元，通过一个 STM32 微控制器进行数据采集和处理，从而实现了对手湿度的数字化测量与输出。

硬件结构上，DHT11 采用紧凑型封装设计，DHT11 包含四个引脚：VDD 用于接入 3 至 5.5 伏特的电源，GND 为接地端，DATA 引脚负责与主控系统的单

线双向通信，第四个引脚 NC 为空置引脚。在 DATA 线上实施上拉电阻配置，增强系统的稳定性与兼容性。

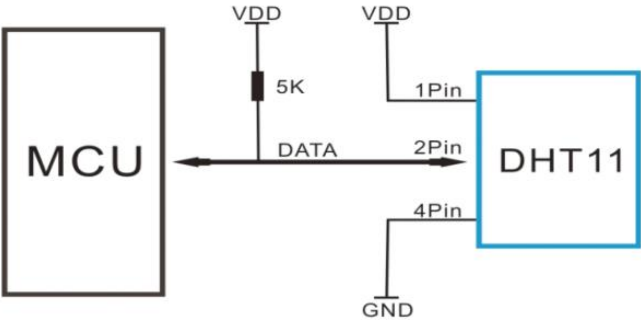


图 2.1 DHT11 典型应用电路

功能特性上，DHT11 相较于仅提供温度信息的同类传感器有所拓展，能够同时探测温度和湿度，尽管在精度和量程方面相对有限，具体表现为温度测量范围在 0 至 50 摄氏度，精度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ；湿度测量范围在 20% 至 90%RH，精度 $\pm 5\%\text{RH}$ 。其数据传输机制基于严格的时序控制，每次完整传输周期大约 4 毫秒，数据包由湿度整数、湿度小数、温度整数、温度小数和校验和组成，共计 40 比特。

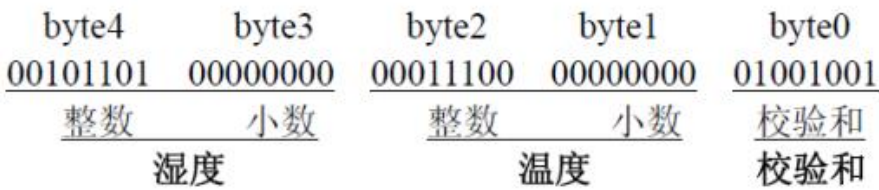


图 2.2 DHT11 数据帧

通讯时序上，DHT11 遵循一种定制化的单总线协议，启动通信需通过主控设备发出特定的复位信号，随后 DHT11 会从低功耗模式切换至活跃状态，并发送响应信号并开始数据传输。

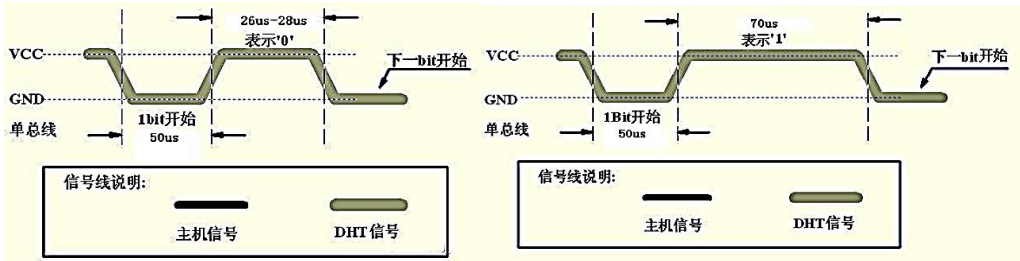


图 2.3 数字“0”时序

图 2.4 数字“1”时序

其中数据“0”和“1”通过高电平的长度来区分，其中“0”对应 26~28us，“1”对应 70us。

2.1.2 OLED(显示输出模块)

OLED（Organic Light-Emitting Diode）作为一种有机半导体材料构成的自发光显示技术，其核心原理在于利用有机薄膜材料在电场作用下发光的特性，实现对光信息的直接显示。这种先进的显示技术不仅具有自发光、宽视角、近乎无限对比度、较低功耗、超快响应速度等特点，还因其可弯曲、耐低温和高温的性能以及结构与工艺的简洁性，被视为未来平面显示技术的关键发展方向。本课题使用 0.96 英寸，分辨率为 128×64 像素，物理尺寸约为 23.7mm×23.8mm OLED 显示器。

在 OLED 显示原理层面，SSD1306 内部集成了一块 128×64 比特的图形 RAM（GRAM），并将该内存空间逻辑划分为 8 个页面，每个页面包含 128 个字节的数据。在与微控制器交互过程中，微控制器通常预先建立一个与 OLED 分辨率相匹配的内部缓冲区（实质上利用自身 SRAM 资源）。当需要更新屏幕显示内容时，先在微控制器内部缓冲区进行数据修改操作，而后一次性将整个缓冲区的内容传输至 OLED 的 GRAM 中，以此达到更新屏幕显示的目的。

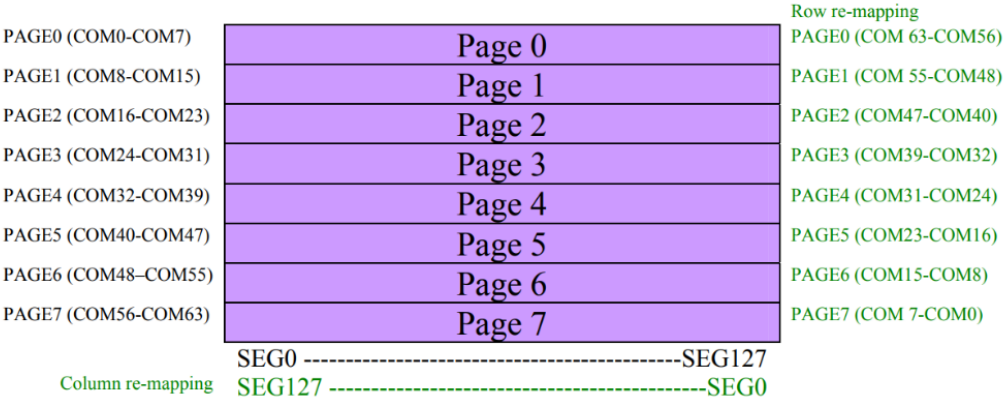


图 2.5 GRAM

SSD1306 驱动支持多种通信协议，本文使用 I²C 通信，主设备能够向其发送配置命令和显示数据，从而实现对 OLED 显示屏的有效控制与更新。I²C（Inter-Integrated Circuit）通信协议是一种由荷兰飞利浦公司在上世纪八十年代初提出的多主从设备间双向串行通信标准。其通信时序遵循严格的规范，确保了数据在总线上的可靠传输。

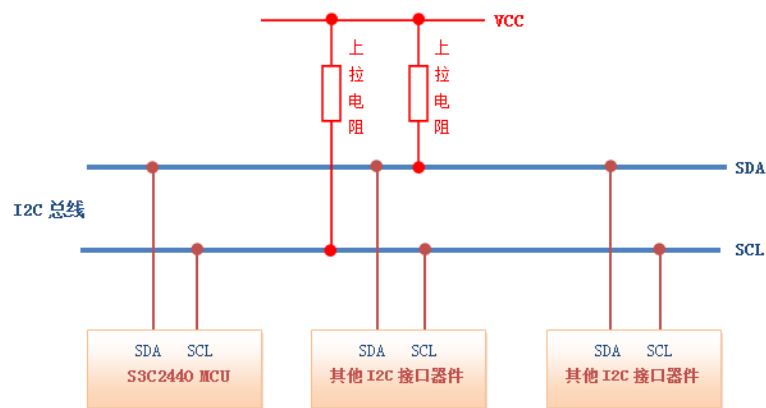


图 2.6 I²C 总线拓扑

I²C 总线上的数据传输主要由四种基本时序元素构成:起始条件、停止条件、数据传输和应答信号。

1. 起始条件 (Start Condition): 在一个时钟周期的高电平期间, 数据线 SDA 由高电平向低电平的跳变标志着一次传输的开始。这一变化需发生在时钟线 SCL 为高电平的期间, 意味着只有在 SCL 上升沿之前, SDA 才能变为低电平。
2. 停止条件 (Stop Condition): 在完成一次数据传输或访问后, 通过在 SCL 为高电平期间, SDA 由低电平向高电平的跳变来标识停止条件。类似地, 这一变化也应在 SCL 下降沿之后发生, 确保总线其他器件正确识别停止信号。
3. 数据传输: 数据在 SCL 的每个时钟脉冲的上升沿被锁存, 在下降沿改变。每个字节 (8 位) 的数据传输都是从最高有效位 (MSB) 开始, 到最低有效位 (LSB) 结束。每一字节传输后, 从设备都会返回一个应答信号。
4. 应答信号 (Acknowledgement Bit): 主设备在每个字节数据传输完成后释放 SDA 线, 允许从设备在下一个 SCL 时钟的高电平期间给出应答。若从设备正确接收数据或命令, 则在该时钟周期内将 SDA 线拉低表示确认 (ACK), 反之则保持 SDA 为高电平表示非确认 (NACK)。

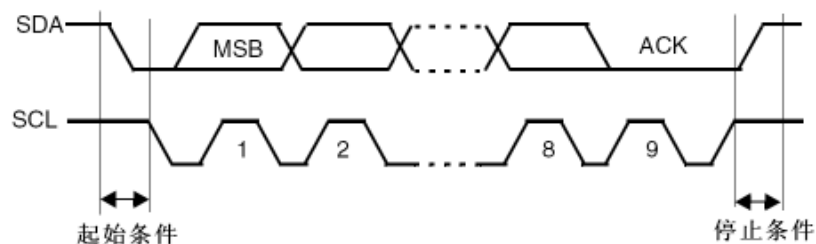


图 2.7 I²C 时序图

2.1.3 HC-05(蓝牙无线通信模块)

HC-05 蓝牙模块是一种基于经典蓝牙协议 v2.0 标准的微型无线通信单元，其核心技术架构基于 BC417 单芯片蓝牙集成电路，具备 UART 和 USB 双重接口兼容能力，以满足不同应用场景的连接需求。

HC-05 引脚定义如下：

- HC-05 蓝牙模块有六个管脚
- STATE：状态指示。未连接时输出低电平，连接时输出高电平。
- RXD：UART 接收引脚
- TXD：UART 发射引脚
- GND：地
- VCC：接电源，可以用+5V。
- EN：使能。接地禁用模块，悬空或接 3.3V 使能。



图 2.8 HC-05

本文使用 HC-05 蓝牙模块 UART 接口，UART（Universal Asynchronous Receiver/Transmitter）通信是一种异步串行通信协议，其通信时序严格遵循一套预定义的规则，旨在确保数据在两个异步通信设备之间准确、可靠地传输。在 UART 通信中，数据以字符或字节的形式，通过一对数据线（Tx 和 Rx）进行串

行传输，不受公共时钟信号的约束，而是依靠各自的波特率生成器来同步数据流。

UART 通信时序如下：

1. 起始位（**Start Bit**）：每次数据传输的开始，数据线（Tx）从高电平切换到低电平，标志着一个新的数据帧开始。起始位的宽度通常为一个单位时间间隔（即一个比特时间），并且所有接收设备在检测到起始位后立即开始时钟同步。
2. 数据位（**Data Bits**）：紧随起始位之后的是数据位，其数量通常为 5 至 9 位，但最常见的是 8 位。数据从最低有效位（**LSB**）开始，然后按照从低位到高位顺序逐一传输。每个数据位的持续时间相同，等于选定的波特率所对应的比特时间。
3. 奇偶校验位（**Parity Bit**，可选）：某些 UART 通信可能包含一个奇偶校验位，用于增加传输错误检测的可能性。校验位是对数据位进行算术运算后得出的结果，可以是奇校验（**odd parity**）或偶校验（**even parity**），也可以不使用校验位。
4. 停止位（**Stop Bit(s)**）：数据位和奇偶校验位传输完毕后，发送设备将数据线拉高，维持一段时间形成停止位。停止位的数量通常为 1 或 2 个比特时间，确保接收设备有足够的时钟周期来准确捕获数据并准备接收下一帧。

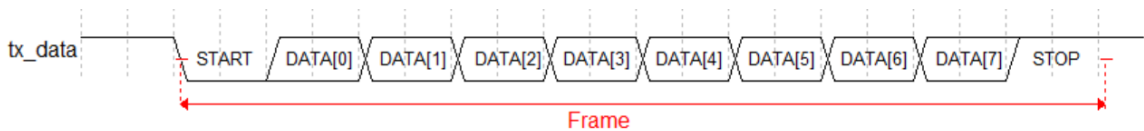


图 2.9 UART 通信时序

在 UART 通信中，双方设备必须预先设置相同的波特率、数据位数、停止位数以及奇偶校验模式，这样才能确保正确解读对方发送的数据。UART 通信允许半双工和全双工两种模式，以满足不同的通信需求

2.1.4 执行模块

执行模块通过一个中央控制器进行协调，以实现温室环境的精确控制。每个电路都包含继电器、电阻等基本电子元件，以及一些特定于设备的组件。执行模块如下：

1. 加热片电路：它可能包括一个或多个电加热片，通过电流的通断来调节其热量输出，电路中的继电器负责接通或断开电源供应给加热片，而控制器会根据实时监测到的室内温度与预设的目标温度比较后发出相应指令，从而确保温室始终保持在适宜的温度范围内。
2. 通风口电路：控制器通过舵机来控制通风口的开启和关闭程度，进而调节温室内的气体交换、降低有害气体浓度及调控湿度，传感器反馈的环境条件进行动态调整。
3. 浇水机电路：控制器根据土壤湿度传感器的数据决定是否启动浇水机并向植物提供适量的水分。
4. 通风扇电路：通过改变风扇转速或启停状态来促进空气循环和降温。适当的空气流动有助于均匀分布温度和湿度，减少病害发生，并提高植物光合作用效率。
5. 加湿器电路：当温室环境过于干燥时，加湿器电路会激活加湿设备，增加温室内的空气湿度至适宜水平，这一过程由控制器根据实时湿度监控数据进行自动化控制。

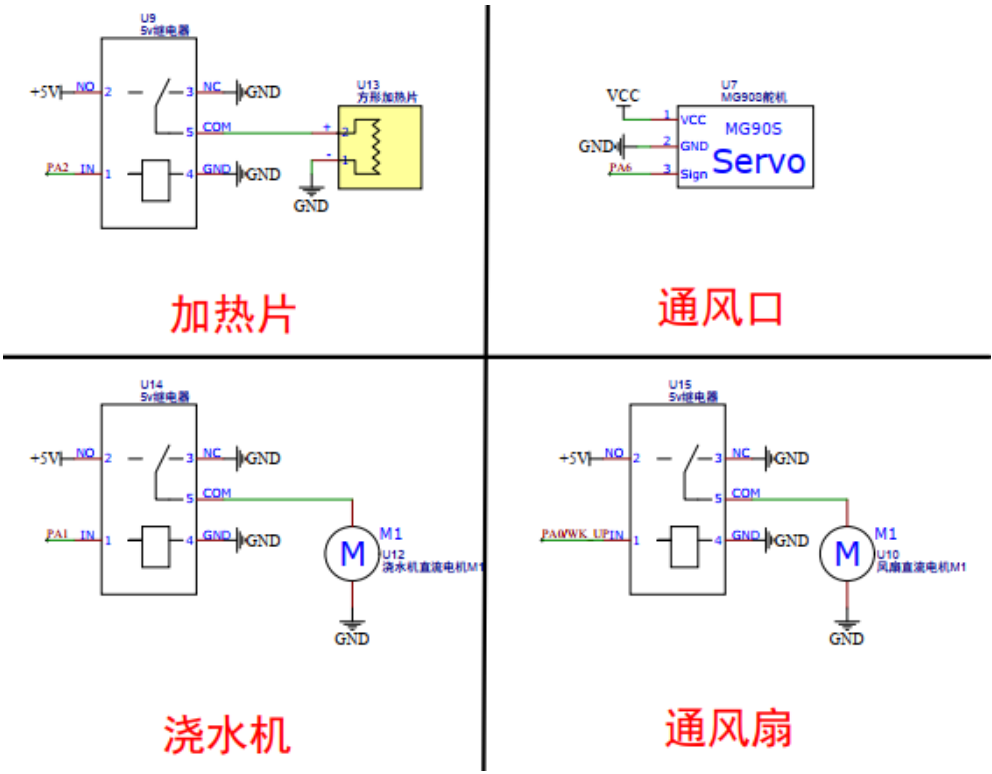


图 2.10 执行模块电路原理图

2.2 软件方案设计

2.2.1 任务调度架构设计

运用先进的 FreeRTOS 任务调度体系架构构建的智能温室环境管理系统。FreeRTOS 是一种轻量化、高度可配置的实时操作系统内核，尤其受到嵌入式开发领域的青睐。该系统致力于在资源有限的嵌入式硬件平台上实现多任务并行处理，强调任务的实时响应能力和高效资源调度。其设计特点包括但不限于：

FreeRTOS 采用抢占式多任务模型，能够根据任务优先级进行动态调度，确保高优先级任务在必要时立即得到执行，同时支持时间片轮转调度机制，实现公平分配 CPU 时间。

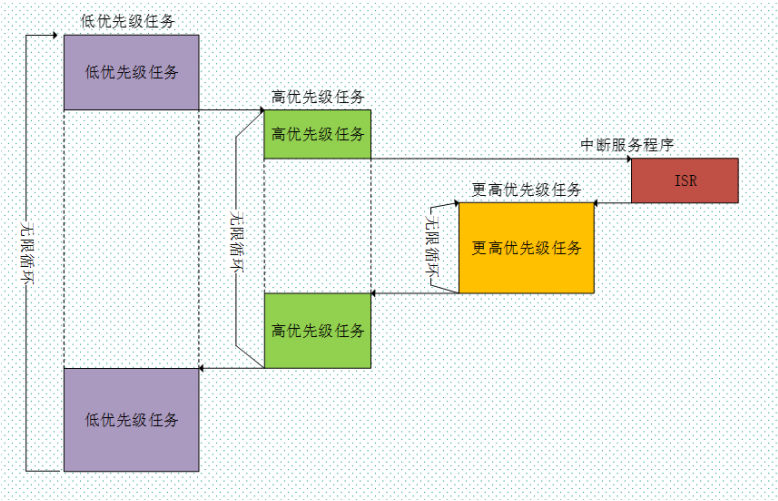


图 2.11 FreeRTOS 任务调度策略

系统内置了多种同步对象，如二值信号量、互斥锁、消息队列、事件标志集等，旨在协助任务间协调合作，解决资源竞争问题。FreeRTOS 允许开发者根据具体应用场景定制内存分配策略，确保在有限的存储空间上高效利用资源。FreeRTOS 内核小巧，可以方便地移植到各种主流嵌入式处理器和微控制器上，适配众多架构和芯片型号。

FreeRTOS 在构建复杂嵌入式系统时，以其独特的低层级抽象和高性能调度机制，有效降低了任务执行过程中的冗余与延迟，确保在严格的时间约束下完成预定任务。

2.2.2 执行任务设计

该系统设计了一系列专用设备调控子任务，分别对接通风管理任务（VentilationControlTask）、舵机控制任务（ServoControlTask）、湿度调节任务

（HumidifierControlTask）、温度调整任务（HeatingControlTask）以及灌溉控制任务（WateringControlTask）。

```

/*****浇水控制任务*****/
void WateringControlTask(void *pvParameters)
{
    uint32_t WateringControl_Notify = 0;
    while(1)
    {
        xTaskNotifyWait(0, DEVICE_OPEN | DEVICE_CLOSE, &WateringControl_Notify, portMAX_DELAY);
        if(WateringControl_Notify == DEVICE_OPEN)
        {
            WateringControl_Open();
            xSemaphoreTake(UsartMuxSem_Handle, portMAX_DELAY);
            printf("浇水机已开启\n");
            xSemaphoreGive(UsartMuxSem_Handle);
        }
        if(WateringControl_Notify == DEVICE_CLOSE)
        {
            WateringControl_Close();
            xSemaphoreTake(UsartMuxSem_Handle, portMAX_DELAY);
            printf("浇水机已关闭\n");
            xSemaphoreGive(UsartMuxSem_Handle);
        }
    }
}

```

图 2.12 浇水控制任务

```

/*****通风控制任务*****/
void VentilationControlTask(void *pvParameters)
{
    uint32_t VentilationControl_Notify = 0;
    while(1)
    {
        xTaskNotifyWait(0, DEVICE_OPEN | DEVICE_CLOSE, &VentilationControl_Notify, portMAX_DELAY);
        if(VentilationControl_Notify == DEVICE_OPEN)
        {
            VentilationControl_Open();
            xSemaphoreTake(UsartMuxSem_Handle, portMAX_DELAY);
            printf("通风扇已开启\n");
            xSemaphoreGive(UsartMuxSem_Handle);
        }
        if(VentilationControl_Notify == DEVICE_CLOSE)
        {
            VentilationControl_Close();
            xSemaphoreTake(UsartMuxSem_Handle, portMAX_DELAY);
            printf("通风扇已关闭\n");
            xSemaphoreGive(UsartMuxSem_Handle);
        }
    }
}

```

图 2.13 通风控制任务

2.2.3 自动控制进程设计

在智能温室的自动化管控过程中，系统不间断地对温室内部的一系列关键环境参数进行严密监视与深入解析，这些参数涵盖了多个决定植物生长的重要维度，包括但不限于二氧化碳(CO₂)的浓度级别、空气湿度的比例、光照辐射强度以及土壤水分和温度等详细指标。

一旦观察到这些环境要素偏离所预设的理想阈值范围，系统将即刻调动相应的硬件调控回应。举例来说，当检测到空气中 CO₂ 浓度过高时，系统会迅速调配通风装置，适度调整通风口的开闭程度以释放过剩的气体；对于湿度波动情况，系统会依据精确测量数据，智能化地决定加湿系统的启停状态；而对于土壤湿度和温度的实际表现，系统同样展现出灵活性，通过对灌溉策略和温控设备运行模式的适时调整，确保温室内部的微气候条件始终稳定在最适合植物健康繁茂生长的理想范围内。

在自动化控制模式下，系统进一步具备了为不同作物种类定制专属生长环境参数的能力。这意味着，可以根据每种作物特有的生态需求和生长特性，用户可在系统中预先设定各自适宜的环境变量区间。举例来说，针对某些需较高二氧化碳浓度以增强光合作用效率的作物种类，用户可以设定相应的上限阈值；而对那些在低湿度条件下更能抵抗病虫害侵袭的作物，则可设置相对较低的湿度标准。

一旦系统接收到了针对特定作物设定的个性化环境参数，将会严格按照这些

定制的标准自动对温室内部的各项环境调控设施进行微调。这种精准调控机制旨在为每种作物量身打造最利于其健康成长的微环境条件，从而有效提升智能温室的精细化管理效能及整体种植产出效果。

```
typedef struct
{
    uint32_t    MAX_CO2_Concentration ;
    uint32_t    MIN_CO2_Concentration ;
    uint16_t    MAX_Soil_Moisture ;
    uint16_t    MIN_Soil_Moisture ;
    uint16_t    MAX_Light_Intensity ;
    uint16_t    MIN_Light_Intensity ;
    float       MAX_temperature;
    float       MIN_temperature;
    float       MAX_humidity;
    float       MIN_humidity;
}Env_Para_Range_t;                                     //环境参数结构体
```

图 2.14 环境参数结构体

2.2.4 手动控制进程设计

在人为操控环节中,ManualModTask 任务赋予用户通过串行通信接口发送定制化指令的能力，以便在必要时刻对温室内的各类设备进行直接操作控制。使用者根据实际情况灵活自主地决定开启或关闭包括通风装置、由舵机驱动的通风口调节系统、湿度调节设备、温度调节装置以及灌溉系统在内的各类设施，达成一种既个性化又细致入微的手动管理模式。

在人工指令执行过程中，系统还增设了蓝牙回传设备信息的功能。当用户采取手动方式对温室设备进行操控时，系统不仅能够响应用户的指令，还会同步将设备当前状态以及执行操作后的变化情况通过蓝牙实时回传至控制终端，确保用户能够实时了解到所操作设备的具体状态，从而实现更加直观、透明且可控的手动管理模式。

```
if(strcmp((const char*)USART_RX_BUF, "open Vent") == 0)
{
    xTaskNotify( VentilationControlTask_Handler,DEVICE_OPEN, eSetBits );
    memset(USART_RX_BUF,0,sizeof(USART_RX_BUF));
    rx_cnt = 0;
}
```

图 2.15 控制命令示例

2.2.5 系统命令汇总

表 2.2 系统命令汇总

命令	所属进程	描述
----	------	----

switch auto	串口任务	切换自动控制
switch manual	串口任务	切换手动控制
clean	串口任务	清除命令缓冲区
open/close Vent	手动控制进程	打开/关闭通风扇
open/close Servo	手动控制进程	打开/关闭通风口
open/close Humid	手动控制进程	打开/关闭加湿器
open/close Heat	手动控制进程	打开/关闭加热器
open/close Water	手动控制进程	打开/关闭浇水机
checkout XXX	自动控制进程	切换 XXX 作物生存环境
