

分类号_____

U D C _____

密 级 _____

学 号 201320432342

华北水利水电大学

North China University of Water Resources and Electric Power

专业硕士学位论文

基于 STM32 单片机的温室大棚监控系统开发

满 达

导师姓名、职称 _____ 师素娟 副教授

申请学位 _____ 农业推广硕士 _____ 学科名称 _____ 农业机械化

提交论文日期 _____ 2016.05.25 _____ 答辩日期 _____ 2016.05.16

学位授予单位、授予日期 _____ 华北水利水电大学 _____ 2016.06

分类号: _____

密 级: _____

UDC: _____

单位代码: 10078 _____

华北水利水电大学专业硕士学位论文

基于 STM32 单片机的温室大棚监控系统开发

Greenhouse monitoring system based on STM32
microcontroller development

研 究 生 姓 名: 满达 _____

指 导 教 师: 师素娟 _____

专 业 名 称: 农业机械化 _____

所 在 学 院: 机械学院 _____

2016 年 5 月

基于 STM32 单片机的温室大棚监控系统开发

摘 要

随着农业现代化的发展，温室大棚在农业生产中的地位越来越重要。为了更好地满足农作物的生长条件，提高农作物的产量，提升农产品的质量，要求对温室大棚内的环境参数进行严格控制，温室大棚环境监控系统应运而生。

目前国内温室大棚监控系统功能较单一，稳定性及适应性都较差。本文通过对温室大棚环境因子进行分析，对调控策略进行研究，提出了系统设计方案，集成环境因子采集以及调控设备，采用模块化设计原则，实现温室大棚内环境因子的实时监控，并根据监控信息，启闭调控设备，使温室大棚处于有利于农作物生长的良好环境，为提高农业生产经济效益奠定基础。

硬件设计方面，采用 STM32F103ZET6 单片机，将中央处理器、温湿度传感器、二氧化碳传感器、光照度传感器等各部分模块化设计，提高了系统的稳定性及适应性；为保证输出信号的驱动能力，在输出控制电路中增加 ULN2804 驱动芯片，同时各模块电源电路采用单独供电方式，保证系统运行过程中供电的稳定性。

软件设计方面，使用 KeilVision4 软件结合九点控制算法对 STM32F103ZET6 中央处理器、各个采集模块和作物生长数据库等进行了程序设计。

经过现场测试，该温室大棚监控系统对温室大棚内环境因子的监控达到了预期的要求。

关键字：中央处理器；监控系统；数据采集；环境因子；九点控制

Greenhouse monitoring system based on STM32 microcontroller development

ABSTRACT

With the development of agricultural modernization, greenhouses are more and more important of the position in agricultural production. In order to meet the growing conditions of crops better, improve crop yield, improve the quality of agricultural products, environmental parameters inside the greenhouse to strict control, greenhouse environment monitoring system arises at the historic moment.

Domestic greenhouse monitoring system function is relatively single at present, the stability and adaptability is poor. Through analysis of the greenhouse environment factor in this article and study of control strategy, proposed the system design scheme, acquisition and integration environment factors control equipment, the principle of modular design, the real-time monitoring of environmental factors in the greenhouses, and according to the monitoring information, opening or closing control equipment, make the crop growth in the good environment is conducive to greenhouses, lay a foundation for improving the economic benefit of agricultural production.

Hardware design, uses the STM32F103ZET6 single-chip microcomputer, to improve the stability and adaptability of the system, the CPU, temperature and humidity sensor, CO₂ sensor, light sensor parts such as modular design; In order to ensure the output signal of the drive ability, increase ULN2804 driver chip in the output control circuit, ensure the stability of power system operation process, power circuit and the modules using single power supply.

Software design, STM32F103ZET6 central processing unit (CPU), various acquisition module and crop growth database programming use the Keil uVision4 software combined with nine control algorithm .

Through the field test, the greenhouse monitoring system for environmental factors in greenhouse monitoring has reached the expected requirement.

KEY WORDS: Central processing unit; Monitoring system; Data acquisition; Environmental factors; Nine-point control

目录

摘 要.....	I
ABSTRACT	III
1 绪论.....	1
1.1 论文研究背景	1
1.2 国内外研究现状.....	1
1.2.1 国外温室大棚研究现状.....	1
1.2.2 国内温室大棚研究现状.....	2
1.3 温室大棚发展方向分析.....	3
1.4 论文研究内容	4
2 温室大棚监控系统总体设计	5
2.1 温室大棚监控系统工作过程.....	5
2.2 温室大棚监控系统环境特点及参数分析.....	5
2.2.1 温室大棚内部环境特点.....	5
2.2.2 温室大棚内部参数研究分析.....	5
2.3 温室大棚监控系统总体设计方案.....	8
2.3.1 温室大棚监控系统参数设计指标.....	8
2.3.2 温室大棚监控系统设计思想.....	8
2.3.3 温室大棚监控系统硬件设计方案.....	9
2.3.4 温室大棚监控系统软件设计方案.....	10
2.4 总结.....	11
3 温室大棚监控系统硬件选型及设计	13
3.1 采集设备硬件选型及电路设计	13
3.1.1 温湿度采集模块选型及电路设计	13
3.1.2 二氧化碳传感器采集模块选型及电路设计	15
3.1.3 光照度监测模块选型及电路设计	17
3.1.4 氨气传感器采集模块选型及电路设计	20
3.1.5 烟雾传感器报警模块选型及电路设计	22
3.2 中央处理器选型及电路设计	23
3.2.1 Cortex-M3 内核简介	23

3.2.2 STM32F103x 系列微控制器	24
3.2.3 STM32 系统电路设计	24
3.3 输出控制模块选型及电路设计	25
3.4 电源模块选型及电路设计	27
3.5 液晶显示模块	28
3.6 本章小结	28
4 温室大棚监控系统软件设计	29
4.1 概述	29
4.2 系统软件设计	29
4.2.1 中央处理器软件设计	29
4.2.2 作物生长数据库软件设计	31
4.2.3 环境因子采集设备软件设计	32
4.3 环境因子调控软件设计	35
4.3.1 环境因子策略分析	35
4.3.2 九点控制原理	35
4.3.3 九点控制理论研究分析	36
4.3.4 环境因子调控策略研究	38
4.4 本章小结	39
5 系统测试	41
5.1 实验测试平台	41
5.2 实验调试及数据分析	41
6 总结	43
6.1 总结	43
6.2 展望	43
攻读学位期间参加的科研项目及发表的学术论文	45
致谢	47
参考文献	49
附录 I 测试程序	53
附录 II 温室大棚监控系统电路图	57

1 绪论

1.1 论文研究背景

温室大棚是现代农业种植中重要的生产设施，也是国家推进农业发展的重要措施之一。城市人口的逐渐增多使得人们对蔬菜水果的需求量逐渐增多，于是，如何摆脱当前农作物生产效率低的现状就成为了现代农业工作者迫切需要解决的问题。

国家对农业发展的推广非常重视，农业发展水平的高低直接决定了老百姓生活质量。温室大棚作为现代农业生产的重要设施之一，占地面积较小，可种植的农作物种类多，对于提高我国的农业水平有着较大的影响。特别是在我国北方，冬天天气寒冷，耕地只能种植一季农作物，农作物产量低。温室大棚在农业生产中不受外界环境条件的限制，建造简单、取材容易，在北部农村非常受欢迎。温室大棚成为了现代农业的标志之一。随着科学技术的不断进步，与温室大棚相结合的成套的农业设施也得到了推广，例如监控技术、灌溉技术等。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国外温室大棚研究现状

上个世纪六十年代，国外已经开始发展温室大棚技术^[1]，并日渐完备。上世纪七十年代到八十年代，环境因子的采集已通过相应采样仪表实现，并以此为基础，实现对环境因子的监控。随着计算机科学技术的进一步发展，以计算机技术为基础的温室测控系统得到了大力发展。目前，温室环境控制系统的研究发展迅速，温室大棚环境自动化控制水平不断提高，在发达国家已经得到了广泛应用。

以花卉和风车闻名全世界的荷兰，特别重视土地资源的高效利用，其设施化农业发展居世界前列，特别是其玻璃温室大棚，占全世界玻璃温室总面积的 1/4。荷兰工业自动化技术被广泛应用于温室大棚生产中，自动化和智能化水平很高，实现了对温室内的环境因子(如温、湿度、光照、二氧化碳、肥料等)的自动监控。

以色列属于沙漠地缘干燥气候，温室大棚节水灌溉技术研究在国际上处于领先地位。以色列于上世纪八、九十年代，以色列研发了一套温室软、硬件系统，在农作物周围安置传感器测量湿度，同时运用计算机遥控大棚内的控制器实现浇灌^[2]，使温室大棚对环境因素的自动操控成为现实。以色列的温室大棚很好地利用了光照、热能等自然资源，整个控制过程几乎不需要人工干涉就可以完成。

日本 ESE 公司研制了国际领先水平的农作物工厂，该国研发的能实现播种、间苗、浇灌等环节无人自动运作的塑料大棚应用非常广泛。温室大棚采用封闭式生产方式，由

钠蒸汽代替太阳光照,由计算机操控温湿度、二氧化碳等环境因子,使其达到最适宜农作物生长所需的环境。此外,ESE 公司还研发了多栋温室大棚的集中网络管理系统,可以通过多台计算机对多栋温室大棚整体进行监控。

另外,国外温室大棚的研究还结合传感器技术、信息技术,将温度、湿度等环境因素进行采集整理,把这些数据整理并研究,增加温室大棚作物生长数据库内的数据,将温室大棚内作物生长环境标准化管理,提高农业工作者工作效率。例如 M.T.Maliappis 等研究人员开发的基于 WEB 服务器的智能温室管理系统,将作物的信息可以上传到服务器进行分析共享。为了保证温室大棚监控系统开发的高效性,在减少水资源浪费和环境方面也做了相应的研究,从而使温室大棚监控系统更加合理的分配水资源。

1.2.2 国内温室大棚研究现状

20 世纪 30 年代初国内的农业设施以及农用工具相对比较简单、陈旧。到了 20 世纪 40 年代后,我国的农业设施发展开始有了新的变化,在不适合种植的季节,农业工作者发明了风障、温床等设施来进行农业种植,但是这种设施因技术含量较低、应用范围较少。到了 20 世纪 80 年代,农业设施开始加速发展,有的城市则建立了农业产业园区,其中最典型的就塑料温室大棚的推广^[3],这项措施使得东北地区的农业生产有了新的发展方向,即使在寒冷的冬天也可以进行农作物的种植。

国内的温室大棚监控系统^[4]控制结构比较简单,主要是通过小容量的单片机以及 PLC 控制实现对温室大棚内部环境的一个简单监控和操作。

基于单片机的温室大棚监控系统^[5],其主要以 MCS-51 系列单片机^[6]为基础,采用 8 位数据运算,单片机核心完成了从数据采集到算法控制的全部过程,如季宝杰和戴勇等人研发了以单片机为下位机,PC 机为上位机的温室大棚环境在线监控系统。下位机主要完成温室内温度、湿度、CO₂ 浓度、光照等传感器信号的采样,数据处理,输出控制以及与上位机通信等任务。例如孙学斌等人在 20 世纪 90 年代研发了由 PC 机和 51 单片机组成的温室监控系统,实现了对温室环境因子的监管和控制;由北京农业大学开发的用于实验的“WJG-1”型温室环境监控系统是一种小型的分布式数据收集监控系统。

基于 PLC 的温室智能控制系统^[7]主要是由电脑、PLC 执行设备和数据采集设备等组成,能够实现对一个温室大棚内不同区域进行整体控制。该系统在运行过程中通过传感器采集数据,将各个模块与输出控制设备通过 RS485 总线互联,实现了对温室大棚内环境因子的控制,满足农作物的生长环境。

国家科委于 1994 年开始实施“工厂化高效农业”科学技术产业工程,国内逐渐引进各种领先的温室控制技术,并且出现了众多温室制造企业。与国外温室监控领域研发的各种用于控制温室大棚环境的系统相比,国内产品在性能、可靠性方面略显逊色,技术水平也有不小差距。特别是智能化方面^[8],国内的发展水平较低,缺少高技术水准的、

适宜实现各种农作物控制的专家监控系统。

1.3 温室大棚发展方向分析

温室大棚从最初的依赖人工进行设备控制到发展为结合不同领域的相关技术逐渐实现温室大棚的自动化控制、采集等功能，温室大棚监控系统研究得到了快速多样化的发展：

(1) 作物生长系统和控制算法

将智能算法控制^{[9][10]}融入温室大棚监控系统中，如模糊控制^{[11][12][13][14][15][16]}、PID 控制^{[17][18][19]}等，提高了系统的控制精度和性能。作物生长系统是通过平时研究人员对每种农作物的生长环境进行数据统计，将这些记录的信息进行研究和分析，制作出一套符合农作物生长环境的数据库，而这个数据库可以长期使用，为每位从事农业工作的人提供标准的作物生长数据。该数据库的组成是温室监控的重要判断依据，将这些数据引入到温室监控系统进行标定参数，控制算法^[20]及作物生长系统的不断完善已成为未来温室发展的重要研究发展方向。

(2) 嵌入式系统

嵌入式系统^{[21][22]}在控制领域的应用非常广泛。广义上来讲嵌入式系统就是带有微处理器并集软硬件为一体的系统，包括单片机以及 DSP 系统等；从另一个角度来说只有使用嵌入式微处理器并构成独立的硬件设备^{[23][24]}，并且使用功能独具特色，具有自己的软件系统，用于指定的专用软硬件系统才可以称之为嵌入式系统^[25]。

20 世纪 70 年代初集成电路芯片与嵌入式系统开始发展，集成电路芯片把处理器以及输入输出端口进行整合，使芯片的功能更加多样，单片机技术应运而生。工业领域的快速发展得益于微处理器技术与 DSP 技术的结合。近些年来，ARM 处理器越来越受到研究人员的关注，智能化的普及以及处理器功能的多样性使得 ARM 处理器占据着处理器市场的主导位置。嵌入式技术和软硬件系统的可靠性与控制能力的稳定性得到了逐步的提高。嵌入式系统的硬件设计芯片的集成度较高，使用起来方便。

(3) 网络多元化

随着网络的多元化发展，许多农作物的生长信息以及市场需求状态都可以通过网络进行传播，专家可以通过网络对农业工作者实现技术支持，使温室大棚监控系统出现的问题及时得到解决。除此之外通过网络技术开发的温室系统可以使研究人员实现对温室大棚的远距离操作与监控^{[26][27]}，对于多个大棚可以进行一对一的控制管理，也可以进行一对多的控制管理，农业工作者的效率提高了很多，对温室大棚的管理效率也有了提升。

(4) 分布范围式

随着温室大棚的规模不断增大，温室大棚一体化管理提上了日程。分布式监控系统是当下温室大棚监控系统的一个重要发展趋势。分布式监控系统分为四个部分：系统通

信网络、现场控制站、操作员站和工程师站。系统通讯网络是农业工作者完成各个温室大棚之间数据信息联络的工具，现场控制站将温室大棚内的数据信息进行监控并完成需要的动作设备的控制，操作员站和工程师站则是将每个温室大棚的信息进行交流与统计，把数据整理后存储起来。该系统能够实现对多个温室的连栋操作，效率高，收益快。

1.4 论文研究内容

针对国内外温室大棚研究现状和温室大棚发展方向的分析，国内的温室大棚监控系统使用的小容量单片机以及 PLC 控制实现的功能较少，而且整个监控系统硬件设计过于集中，导致系统稳定性降低；软件设计使用的控制策略也比较简单化，后期系统功能扩展及维护等方面的难度就会大大增加。

本文选用 STM32F103ZET6^{[28][29]}单片机作为温室大棚监控系统的中央控制器^[30]，使用 C 语言^[31]结合九点控制法对监控系统进行软件设计^[32]，设计了一套监控功能较多、扩展性强、稳定性高的温室大棚监控系统，通过对中央处理器的环境因子进行参数设置，实时监测温室大棚内的各个环境因子参数，通过开启或关闭调控设备来实现环境因子的调整。具体研究内容如下：

- 1、设计一套基于 STM32F103ZET6 单片机的温室大棚监控系统设计方案。设计方案主要包括对采集设备、调控设备等模块的稳定性分析。
- 2、研究分析设计方案，针对方案中稳定性及功能要求合理选择元器件，完成各模块的硬件电路设计和软件设计。
- 3、对完成的温室大棚监控系统进行测试，并分析各模块在实际应用中的稳定性。

2 温室大棚监控系统总体设计

2.1 温室大棚监控系统工作过程

温室大棚监控系统由四个部分组成，分别是环境因子采集、温室大棚控制器、调控设备和温室大棚内部环境。图 2-1 为温室大棚监控系统工作流程，通过对温室大棚环境因子采样将数据送到温室大棚控制器，温室大棚控制器将环境因子采集的数据与标准数据进行对比，并对调控设备发出指令，启动或关闭相应设备，直至数据与设定好的参数相符为止。

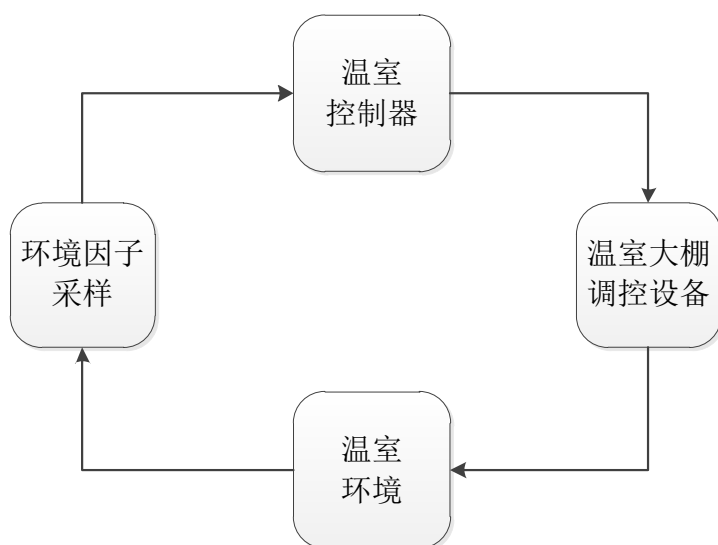


图 2-1 温室大棚监控系统工作流程

Fig2-1 Greenhouse monitoring and control system working process

2.2 温室大棚监控系统环境特点及参数分析

2.2.1 温室大棚内部环境特点

温室大棚环境属于一个半开放式的循环系统，内部环境会受到外部环境的影响，本身还可以自动调节。温室大棚可以通过内部的设备对环境进行调控，使内部的温度、湿度、二氧化碳等环境因子达到农作物理想的生长条件。温室大棚内的环境因子与农作物的生长是息息相关的，通过对内部环境因子的监控以及对调控设备的调控（加热、加湿、补光等）达到理想的生长环境。

2.2.2 温室大棚内部参数研究分析

温室大棚内部的参数分析主要是对二氧化碳、温湿度、光照情况、有害气体氨气等对农作物产生直接影响的因素进行分析。

1.湿度

湿度是指空气中含水量的多少,湿度在农作物的生长过程中作为最敏感的环境因子之一,在农作物生长发育阶段是非常重要的。温室大棚内的湿度不仅会对农作物蒸腾作用与地面蒸发量产生影响,而且还会对农作物的光合作用与健康状况直接相关。当空气湿度过高的时候,农作物的蒸腾量就会受到抑制,农作物不易缺少水分,光合作用在此时得到增强,促进农作物的生长发育;但是过高的空气湿度会阻碍根系对土壤营养物质的吸收和传送,且会造成光合作用减弱。当空气湿度过低时,农作物会控制部分气孔的开启程度来控制蒸腾量,增加了二氧化碳的扩散难度,造成温室大棚内二氧化碳供给不足,光合作用减弱。由于温室大棚内温度偏高、空气湿度偏低,会导致农作物出现失水的状况,农作物则会逐渐变蔫,无法健康生长。另外,温室大棚内湿度过高会导致农作物发生病虫害的概率升高,还会使农作物出现生理性缺陷。湿度是微生物繁衍生息必备条件之一,空气湿度达到百分之九十以上时,恰好是病原微生物最好的生长环境。在高温高湿的环境下真菌的增长会大幅提升,尤其是在温室大棚采用的覆盖材料和叶片表面温度下降至露点之下形成水滴,水滴会进一步促进细菌的生长繁衍。

不同的农作物对湿度的要求也不同,例如草莓花药在开花授粉时,如果棚内湿度打到了80%以上,花粉受到湿度的影响没有办法传播,导致结果率低,产量减少。若空气湿度在40%~50%之间,草莓花药的开裂率最高,花粉的发芽率也高。根据农作物生长特性,通常应将温室大棚环境中的相对湿度控制在满足农作物的生长需求范围内,温室大棚内的相对湿度一般保持在45%~80%为最佳。

农作物的蒸腾作用、通风换气以及天气状况会对温室大棚内的空气湿度产生影响。阴雨天的时候,温室大棚内的空气相对湿度要高于85%;夜晚温室大棚处在密闭情况下,湿度明显升高,会发生结雾的状况;白天,由于温室大棚温度的逐渐升高,雾气逐渐消失,空气湿度逐渐下降。如果经常性的出现这种变化的话会对农作物的生长产生不利的影响,因此必须对温室大棚空气的湿度进行调整和监控。

归纳之,一般情况下温室大棚里的湿度会保持比较高的状态;昼夜交替过程中对湿度的影响较大;每种农作物对湿度的需求也各不相同,同一种农作物在不同的生长阶段对湿度的要求也是不一样的;除此之外,农作物自身的生长也会在很大程度上影响温室大棚内的空气湿度。因此,温室大棚内保持良好的湿度对农作物的生长至关重要。

2.温度

温室大棚内的农作物生长的各个环节,如呼吸作用、光合作用、根部的生长和发育、传送光合作用产物、吸收水分和养分都和温度有着明显的关系。一般来说,温室大棚中绝大多数农作物在白天完成光合作用,因而要保证温室大棚内温度相对较高。白天农作

物进行光合作用，同时实现光合产物的传送，到了夜晚光合产物的传送量就会很少。如果午后或夜间温室大棚内温度较低，会导致农作物叶子的传送功能效果降低，光合作用产物无法传送到外部，碳水化合物积累过多影响翌日的光合作用，直接导致农作物的不健康成长。在光照度低、温度高的温室大棚环境中，光合产物就会不断缩减，叶子变得单薄，呼吸作用消耗量上升，农作物生长过程受到抑制。

农作物每段生长过程中温度对其影响程度也是不同的。农作物生长的初始阶段，温度对叶子的生长速度影响比较大。温室大棚内温度较高时，能够促进同化作用，叶面生长速度加快；温度较低时，农作物能够储存更多的营养物质。叶子的叶面生长越快，光合作用产生的光合产物越多。因此，在种植农作物以及农作物生长初始过程中应保证温室大棚内的温度较高，这使得农作物的初始生长速度加快，促进叶面生长，使叶面的生长速度高于同化作用。当农作物生长到中期或后期的时候，叶面已经生长到极限，物质的产出则由单位面积的同化率来决定，此时则应适当下调温室大棚内的环境温度，以保证光合产物的储存。因此，适宜的空气温度对农作物的生长发育起着重要作用。

3.二氧化碳

温室大棚外部空气中二氧化碳浓度正常状态下为 400ppm，且变化不大。而在温室大棚这样相对较为封闭的环境中，为了保证温度适合农作物生长，会导致通风换气时间较少，温室大棚内农作物种植密度大，并且在进行光合作用时需要消耗大量的二氧化碳，因此温室大棚内的二氧化碳含量并不充足，供农作物使用的二氧化碳就会处于供应不足的状态。

温室大棚中有机物的产生主要是通过空气中二氧化碳进行合成的，二氧化碳的多少决定了农作物生长过程中各个阶段有机物的储存。由于温室大棚在温度达到 15℃左右时需要将保温棉被落下，这使得作物提前进行呼吸作用，晚上的二氧化碳浓度就会比较高。日出时，将保温棉被收起后，这段时间温室大棚内的二氧化碳浓度变化比较剧烈，作物的光合作用消耗二氧化碳较多，再加上棚内湿度较大需要进行通风，二氧化碳浓度不够稳定，控制其浓度的稳定性也是非常重要的。

4.光照

光照是农作物生长过程中必不可少的环境因子之一。光照时间与光照强度对农作物的生长发育都会产生较大影响。植物在制造自身所需的营养物质过程中需要充足的光照，如果没有光照，农作物的光合作用就无法进行。为温室大棚提供充足的光照能够提高农作物的质量，使农作物能够积累更多的养分，健康生长，农作物产量提高。天气晴朗时，一天中午前的阳光光照最为强烈，温室大棚外部可达到 85000 到 100000lx，内部则可达到 30000 到 50000lx，此时的光照强度已经超过普通农作物需要的光照强度。强烈的光照会导致温室大棚内温度过高、湿度降低，光合产物减少，导致农作物生长缓慢，最终减产或直接枯萎。

过低的光照度对农作物的生长也是有害的，因此，在光照度不足的时候，需要对温室大棚内的农作物进行补光。根据荷兰温室的生产经验，在适宜的环境条件下，一定范围内的补光对农作物的生长起到提高的作用。表 2-1 给出了部分温室农作物光补偿点。

表 2-1 部分温室农作物光补偿点(单位: lx)

Table2-1 Light compensation point of greenhouse crops (unit:lx)

作物种类	茄子	脐橙	西瓜	黄瓜	桃
光补偿点	2000-7000	6500	12000	2000	2300

5. 氨气

氨气主要来自于对农作物所施加的速效氮肥或动物粪肥。一般来说，当空气中氨气浓度达到 5mg/L 时，就会危害到农作物的正常生长；若氨气浓度达到 40mg/L 时，农作物生病死亡。因此在温室大棚中有必要对温室内有害环境因子(氨气、亚硝酸气体等)进行监测和预警。

2.3 温室大棚监控系统总体设计方案

2.3.1 温室大棚监控系统参数设计指标

温室大棚监控系统参数范围是制定温室大棚监控系统的一项重要指标，温室大棚监控系统在运行过程中要保证温室大棚内的各参数范围能够使农作物正常生长。因此温室大棚监控系统的设计方案应具有以下设计指标：（1）保证温室大棚内农作物生长的安全（2）调节温室大棚内气候环境保证农作物良性生长（3）根据温室大棚内部农作物生长的不同规则并按照不同阶段来划分生长环境，保证生长环境在可控范围内。

温室大棚监控系统参数设计指标见表 2-2，该范围在实际测试与操作使用时需根据使用地点进行重新设置。

表 2-2 温室大棚监控系统参数设计指标

Table2-2 Greenhouse monitoring and control system parameter design indicators

控制参数	温度 (°C)	湿度 (%)	光照度 (lx)	CO ₂ 浓度 (ppm)
控制范围	16~35	55~90	20000~50000	550~1000
控制精度	±0.5%	±5%	±20%	±10%

2.3.2 温室大棚监控系统设计思想

温室大棚监控系统设计思想主要包括硬件设计和软件设计，现有国内温室大棚监控系统的硬件设计可靠性、稳定性以及系统可控制的环境因子等方面还有很多不足，并且温室大棚监控系统因稳定性较差，导致硬件出现不同程度的损坏。本系统通过对温室大棚监控系统各部分功能使用了模块化的设计思想，将中央处理器、调控设备、采集设备分立出来进行模块化设计，简化了现场接线和维修成本，同时在通用性和方便快捷的程度也提供了保障。

国内的软件设计大都是一个程序从开始写到结束，这种编写方式会在后期出现问题时很难快速有效的查出系统运行时出现的问题，在后期维护非常麻烦。本系统的软件设计则同样使用了模块化的程序设计，同时结合九点控制算法，将温室大棚监控系统的各个硬件部分串联起来，维护起来也非常方便，问题在哪直接可以在模块内就可快速查找，解决问题的效率也就得到了提高。

2.3.3 温室大棚监控系统硬件设计方案

图 2-2 温室大棚监控系统硬件设计流程图，温室大棚监控系统的硬件部分由中央处理器、采集设备和调控设备组成。中央处理器的硬件组成是以 STM32 为核心的嵌入式单片机设计的硬件系统；采集设备硬件设计将传感器模块化设计，分别有温度传感器模块、湿度传感器模块、二氧化碳传感器模块、光照度传感器模块等；调控设备则接收到中央处理器的调控命令后做出相应的动作，例如启动或关闭通风、遮阳等调控设备。

中央处理器作为整个温室大棚监控系统的核心部分，主要以 STM32 中央处理器以及处理器上的实时时钟电路、显示电路、I/O 输入输出驱动电路等完成数据处理和输出控制命令。

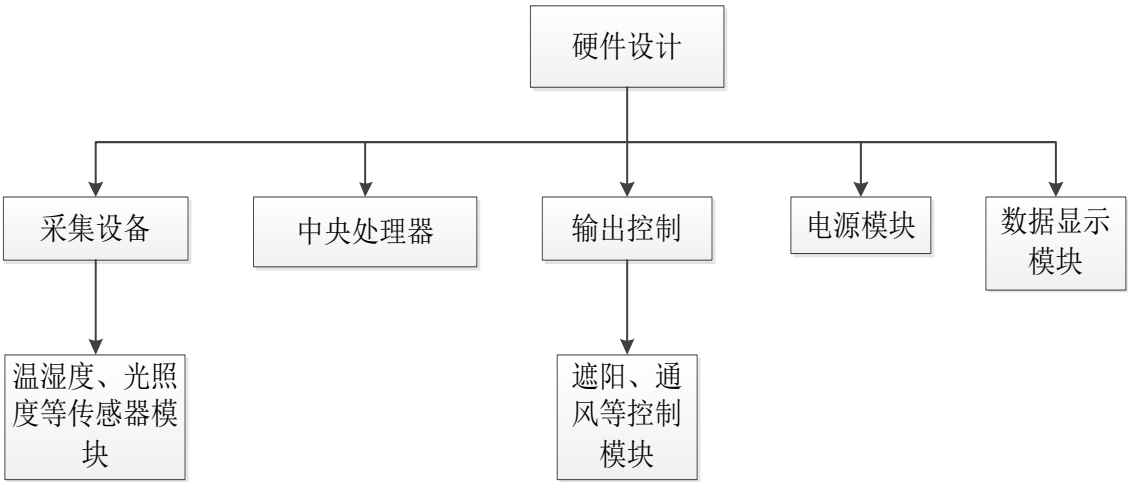


图 2-2 温室大棚监控系统硬件设计流程图

Fig2-2 Greenhouse monitoring and control system flow chart

采集设备是温室大棚监控系统的重要组成部分。采集设备通过对环境因子参数的监测，将数据传输到中央处理器后由中央处理器调控设备完成启停工作。采集设备以 STM32 中央处理器为控制核心，结合相应的环境因子传感器实现，通过 I/O 转换将数据进行传输。

当采集设备将数据传输给中央处理器，中央处理器与作物生长数据库进行对比，判断是否存在不符合农作物生长的环境条件，如果存在某项环境因子不符合，将会发出指令至输出控制模块进行调节。

2.3.4 温室大棚监控系统软件设计方案

软件设计是基于采集设备和调控设备围绕以 STM32 中央处理器为控制核心的程序设计。软件程序设计内容有芯片的驱动程序写入、设备参数设置、采集设备数据接收、调控设备的调控程序设置等。

采集设备通过将采集到的数据传输到中央处理器中，中央处理器通过对已设置好的参数和数据对比后，发出信号使调控设备启动或关闭，从而实现对整个温室大棚监控系统的逻辑控制，温室大棚监控系统软件设计流程如图 2-3 所示。

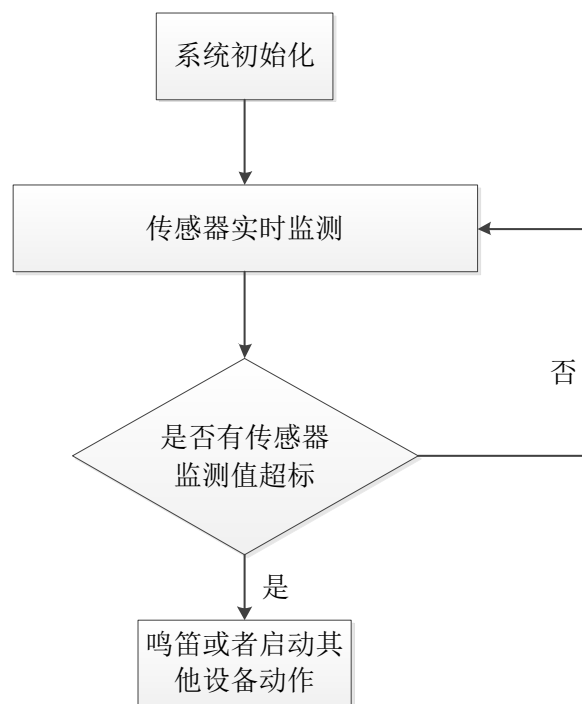


图 2-3 温室大棚监控系统软件设计流程

Fig2-3 Greenhouse monitoring and control system software design procedure

2.4 总结

通过对温室大棚内部环境因子的分析，结合温室大棚半开放式的环境，初步阐述了温室大棚监控系统的方案设计思想。根据温室大棚监控系统设计思想将整体的软硬件设计分析流程进行了综述。

3 温室大棚监控系统硬件选型及设计

3.1 采集设备硬件选型及电路设计

温室大棚监控系统采集设备需要对采集的环境因子参数进行数据采集监控，硬件设计主要包括对二氧化碳浓度、光照度、湿度、温度、有害气体氨气以及烟雾传感器的电路设计。为了便于各个采集设备能够良好的运行，采用模块化设计，即将需要采集的环境因子分开采集，每一个采集模块对应一个环境因子，提高了系统的稳定性和检修的快捷性。

采集设备的硬件设计包括对农作物生长有利的参数和危害生长的参数两方面，对温室大棚内部采集监控的模块有温湿度采集模块、二氧化碳采集模块、光照度检测模块以及氨气、烟雾报警模块等的选型和电路设计。

3.1.1 温湿度采集模块选型及电路设计

温、湿度是农作物生长过程中重要的环境因子。常用的温度测量传感器^[33]类型分为接触型和非接触型。非接触型的主要是红外测温，常用的有 TS105 系列，其温度测量最高能够达到 500℃。接触型传感器主要有热电偶、热电阻、集成型等。热电偶的测量温度最高能够达到 1600℃；热电阻测量的温度最大值只能达到 500℃，但热电阻传感器测量效果精确可靠。比较常见的传感器有 PT100、PT1000 等。集成型温度传感器分为模拟信号输出和数字信号输出两种类型，模拟信号输出型主要是美国半导体公司生产的 LM 系列，测量范围从-55~150℃不等。数字信号输出型常见的为 Dallas 半导体公司的 DS18B20 温度传感器，测量范围为-55~125℃。



图 3-1 DHT11 温湿度传感器

Fig3-1 DHT11 temperature and humidity sensor

常见的热电阻和热电偶温度传感器测量范围较大，对于温差变化范围较低的温室大棚来说并不能较好的测量效果，而且没有将湿度传感器集成到一起。图 3-1 是本系统所选用的是 DHT11 温湿度传感器，传感器内部包括一个电阻式湿度传感器和一个 NTC 感

温元件，两个传感器的外观体积都非常小，测量时两者之间没有影响，为了节约使用成本，将两个传感器集成为一个模块使用。DHT11 温湿度传感器采用的是单总线的传输方式，工作时传感器将采集的信息直接以数字信号的方式传送至中央处理器，使用起来比较方便。DHT11 温湿度传感器引脚配置见图 3-2 和表 3-1 所示，DHT11 温湿度传感器采样特性见表 3-2 所示。

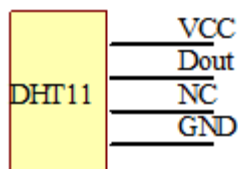


图 3-2 引脚配置

Fig3-2 Pin configuration

表 3-1 引脚配置

Table3-1 Pin configuration

引脚号	引脚名称	类型	引脚说明
1	V _{CC}	电源正	电源输入 3V-5.5V
2	Dout	输出	单总线，数据输入输出引脚
3	NC	空	空脚
4	GND	地	电源地

DHT11 温湿度传感器模块的连接电路也非常简单，单总线的输出结构有效的节省了中央处理器上的 I/O 口资源，且不需要添加其他的电器元件。DHT11 温湿度传感器电路图如图 3-3 所示。

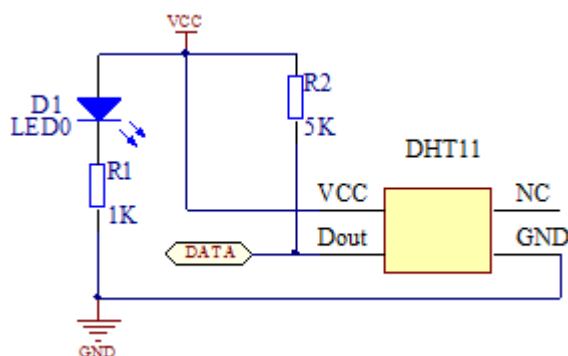


图 3-3 DHT11 温湿度传感器电路图

Fig3-3 DHT11 temperature and humidity sensor circuit diagram

表 3-2 DHT11 温湿度传感器采样特性

Table3-2 DHT11 temperature and humidity sensor sampling feature

参数	条件	Min	Typ	Max	单位
湿度					
分辨率		1	1	1	%RH
			8		Bit
重复性			±1		%RH
精度	25℃		±4		%RH
	0-50℃			±5	%RH
互换性			可完全互换		
量程范围	0℃	30		90	%RH
	25℃	20		90	%RH
	50℃	20		80	%RH
响应时间	1/e(63%)25℃, 1m/s 空气	6	10	15	S
迟滞			±1		%RH
长期稳定性	典型值		±1		%RH/yr
温度					
分辨率		1	1	1	℃
		8	8	8	Bit
重复性			±1		℃
精度		±1		±2	℃
量程范围		0		50	℃
响应时间	1/e(63%)	6		30	S

3.1.2 二氧化碳传感器采集模块选型及电路设计

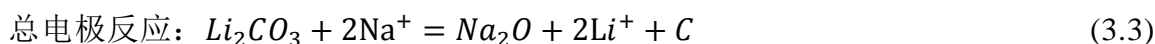
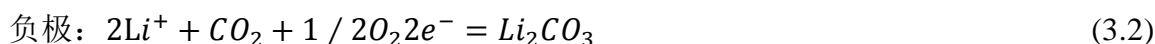
二氧化碳作为农作物生长必不可少的环境因子之一，温室大棚监控系统对二氧化碳的监控是非常重要的。因此，使用二氧化碳传感器采集模块控制温室大棚内的浓度也就成为影响农作物产量的重要因素。

温室大棚是一个相对较封闭的生长环境，大棚内的二氧化碳浓度在一天内会发生很多次大幅度的变化，日出前二氧化碳浓度能够达到 1200ppm 左右，日出后由于农作物的光合作用会迅速降到 100ppm，仅为外部空气浓度的 30%，而且需要很长的时间才能回升到正常大气水平。而一般农作物最佳生长环境需要二氧化碳浓度维持在 1100～

1500ppm。因此，二氧化碳传感器采集模块的作用就是在采集数据的同时在二氧化碳浓度不足的情况下及时向用户发出警报，从而农业工作者使用二氧化碳气肥或者其他措施增加二氧化碳浓度，保证农作物所需的二氧化碳。

常用的二氧化碳传感器主要有电化学式和红外线式。在温室大棚应用方面主要使用 MG811 电化学式二氧化碳传感器和 MH-Z14A 红外线式二氧化碳传感器。

由于 MH-Z14A 红外线式二氧化碳传感器价格昂贵、便携性差，本系统中的二氧化碳采集模块传感器使用的是 MG811 电化学式二氧化碳传感器，该传感器在使用过程中稳定性较高且属于高精度型传感器，而且在温室大棚中受其他因素（例如温度、湿度）影响变化较小。MG811 电化学式二氧化碳传感器由固体电解质层、金电极、铂引线、加热器、陶瓷管、100 目双层不锈钢、镀镍铜卡环、胶木基座和针状镀镍铜管脚组成。传感器的工作原理是固体电解质电池原理，当传感器处于二氧化碳气体环境中时，会发生以下电极反应：



传感器敏感电极与参考电极间的电势差符合能斯特方程：

$$\text{EMF} = E_c - (R \times T) / (2F) \ln[P(\text{CO}_2)] \quad (3.4)$$

公式(3.4)中 $P(\text{CO}_2)$ 为二氧化碳分压， E_c 为常量， R 为气体常量， T 为绝对温度， F 为法拉第常量。

MG811 电化学式二氧化碳传感器采集模块在工作过程中是通过外电路提供电压加热电阻给 MG811 传感器加热，温度升高后，传感器内部的电解质开始工作，工作时传感器内出现电压信号，外部电路将电压信号转换后传输给中央处理器。MG811 电化学式二氧化碳传感器规格见表 3-3。

表 3-3 MG811 电化学式二氧化碳传感器规格

Table3-3 MG811 electrochemical Carbon dioxide sensor specifications

符号	参数名称	技术条件	备注
V_H	加热电压	$6.0 \pm 0.1\text{V}$	AC OR DC
R_H	加热电阻	$30.0 \pm 5\% \Omega$	室温
I_H	加热电流	约 200mA	
P_H	加热功耗	约 1200mW	
T_{ao}	使用温度	$-20\sim 50^\circ\text{C}$	
T_{as}	储存温度	$-20\sim 70^\circ\text{C}$	
ΔEMF	输出信号	30-50mV	350—10000ppmCO ₂

MG811 电化学式二氧化碳传感器为固体电解质传感器，输出阻抗较高，普通的电压表或万用表无法测量其输出信号。采集电路设计时是在传感器信号输出端的后端接一级阻抗变换电路，将传感器的输出阻抗降低到可进行测量的级别，阻抗变换运算放大器选用 CA3140 运算放大器。

MG811 电化学式二氧化碳传感器工作时其内核温度能达到 500 度以上，并直接接触空气，影响到二氧化碳传感器的灵敏度，因此在测量精度比较高的场所需要加装温度补偿电路，当然在温室大棚的环境中测量精度要求不高可以选择不加温度补偿电路。

MG811 电化学式二氧化碳传感器采集模块电路图如图 3-5 所示。

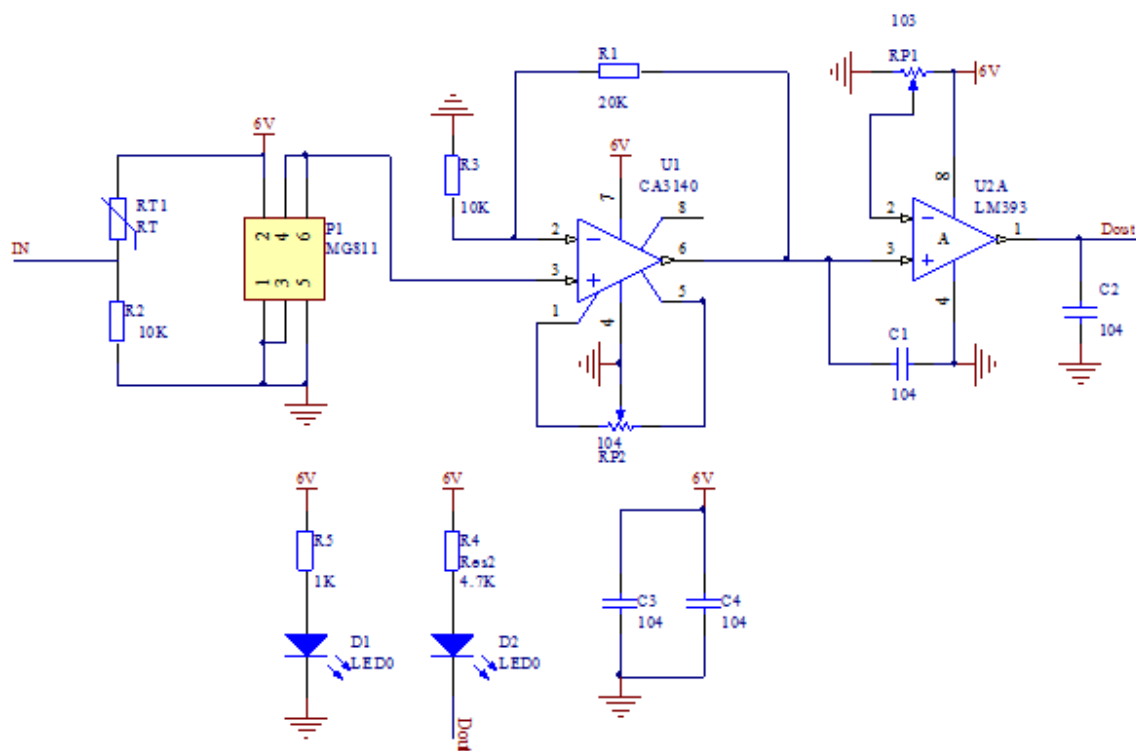


图 3-5 MG811 电化学式二氧化碳传感器采集模块电路图

Fig3-5 MG811 electrochemical carbon dioxide sensor acquisition module

3.1.3 光照度监测模块选型及电路设计

光是农作物进行光合作用的能量来源，也是农作物生长过程中必不可少的环境因子。本系统中使用的是一种基于两线式串行总线接口的数字型光强度传感器 BH1750FVI。图 3-6 是 BH1750FVI 光照度传感器采集模块，该模块光照度检测范围较大，其检测灵敏度可达到视觉水平，并且可以通过降低功率功能实现低电流化，降低整体模块的功耗^[34]。该光照度传感器内部放置了高精度的 16bitA/D 转换器，不需要外接任何器件，就可以通

过寄存器设定的方式来选择 0.5lx/1lx/4lx 的步进来进行设置。工作过程简单明了，可以直接将检测到的光照度进行输出，不需要在中央处理器进行测演预算处理读取值。

BH1750FVI 光照度传感器的连接方式非常简单，使用 I²C 总线连接处理器，功耗低，内部有独特的光噪声去除功能，测量精度达到±20%。根据 BH1750FVI 的芯片连接方式简单的特性，温室大棚光照度采集只需要通过对 STM32 中央处理器自带的 I²C 与传感器实现互联就可以完成相应的监测工作。

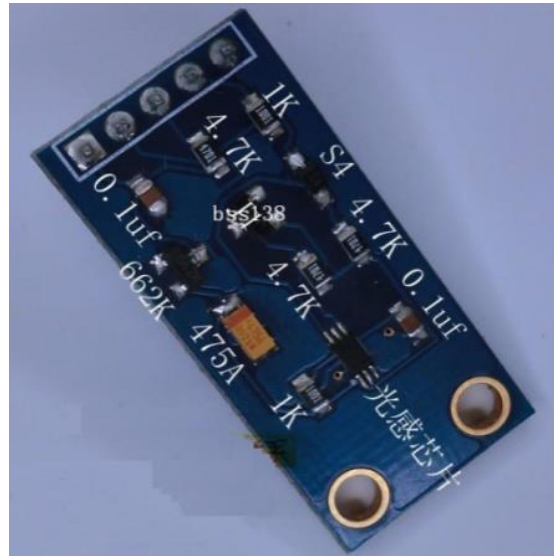


图 3-6 BH1750FVI 光照度传感器采集模块

Fig 3-6 BH1750FVI light sensor acquisition module

BH1750FVI 光照度传感器采集模块在使用时须保证感应面上没有任何遮挡物品，并将其放置空旷处，与中央处理器相连接，即可测量。BH1750FVI 光照度传感器额定参数见表 3-4，BH1750FVI 光照度传感器运行条件见表 3-5。

表 3-4 BH1750FVI 光照度传感器额定参数

Table 3-4 BH1750FVI light sensor nominal parameter

参数	符号	额定值	单位
电源电压	V_{\max}	4.5	V
运行温度	T_{opr}	-40~85	°C
储存温度	T_{stg}	40~100	°C
反向电流	I_{\max}	7	mA
功率损耗	P_d	260	mW

表 3-5 BH1750FVI 光照度传感器运行条件

Table 3-5 BH1750FVI light sensor operating condition

参数	符号	最小值	时间	最大值	单位
V_{cc} 电压	V_{cc}	2.4	3.0	3.6	V
I^2C 参考电压	V_{DVI}	1.65	-	V_{cc}	V

图 3-8 为 I^2C 起始停止时序图，当 I^2C 总线处于空闲状态时，双向数据线 SDA 和时钟线 SCL 都处于高电平状态保持。当 SCL 处在高电平状态时，初始化起始条件表示为 SDA 的一个下降沿；反之，当 SCL 的状态不变，初始化一个停止条件则表示为 SDA 的一个上升沿。从主设备发出指令新号开始设置为起停条件，起始条件停止后第一个字节是一个 7 位的地址值来决定总线选中某个设备，第 8 位决定此次传输的是读数据还是写数据。

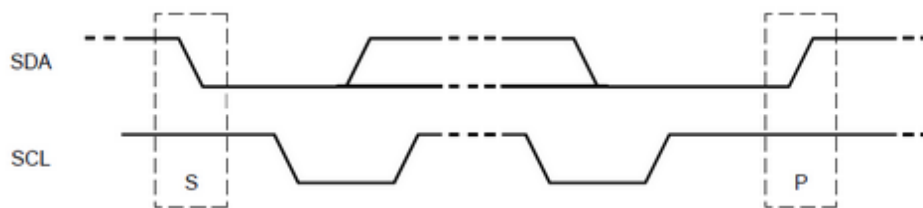


图 3-8 I^2C 起始停止时序图

Fig3-8 I^2C starting stop sequence diagram

SDA 在传输数据时数据总量是一个 8 位数据，并且在总线传输器将可以无限发送或者接收，在其条件后紧跟着的就是地址字节。当 I^2C 总线工作在主模式时地址字节被主机发送，且每个字节后面应该跟着一个 ACK 应答位，地址、数据字节总是优先被发送， I^2C 数据传输时序图如图 3-9 所示。

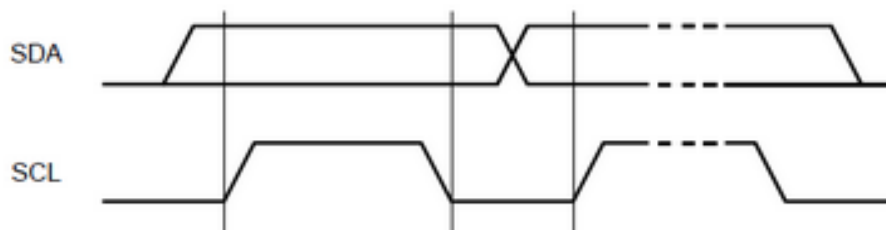


图 3-9 I^2C 数据传输时序图

Fig3-9 I^2C data transmission sequence diagram

BH1750FVI 光照度传感器采集模块电路图如图 3-10 所示。

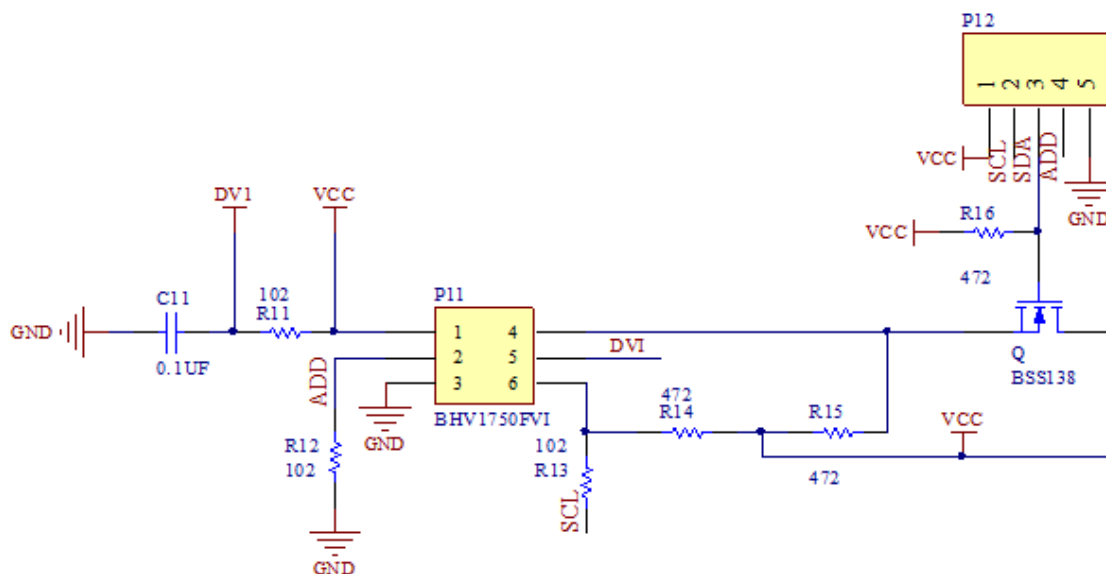


图 3-10 BH1750FVI 光照度传感器采集模块电路图

Fig3-10 BH1750FVI light sensor acquisition module circuit diagram

3.1.4 氨气传感器采集模块选型及电路设计

在温室大棚环境处于较封闭状态，内外空气对流较少导致温室大棚内产生有害气体，其中最主要的有害气体就是氨气。氨气的产生主要来自诸如尿素、磷酸二铵等速效氮肥在土壤中的分解。这类肥料极易挥发产生氨气，致使温室大棚内氨气逐渐增多，影响农作物生长。

氨气传感器从内部构造分为两种：金属半导体式和电化学式。由于电化学式使用时间不能够满足日常需要，所以金属半导体传感器占据着氨气传感器的主流市场。金属半导体传感器在空气中的电导率较低，能有效的对空气中的氨气含量进行监测，MQ-135 金属半导体式氨气传感器的具有灵敏度较高、测量范围广、寿命高、成本低等优点。氨气采集模块选用了 MQ-135 金属半导体式氨气传感器，MQ-135 金属半导体式氨气传感器参数及灵敏度特性见表 3-6、3-7。

MQ-135 金属半导体式氨气传感器主要由 SnO_2 敏感层、测量电极、加热器、 Al_2O_3 陶瓷管组成并全部放进由不锈钢制作的腔体内，气敏元件工作必备的一个条件就是加热器。封装好的传感器有六个引脚，有两个引脚是为加热器提供电流，其他四个则是用于信号的传出，MQ-135 金属半导体式氨气传感器内部结构及外形如图 3-11 所示。

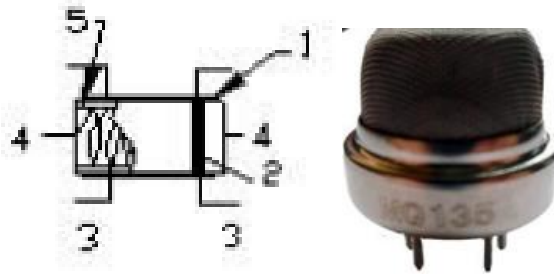


图 3-11 MQ-135 金属半导体式氨气传感器内部结构及外形

Fig3-11 MQ-135 metal semiconductor type ammonia gas sensor internal structure and appearance

1-SnO₂ 敏感层；2-测量电极；3-测量电极；4-加热器；5- Al₂O₃ 陶瓷管

表 3-6 MQ-135 金属半导体式氨气传感器参数

Table 3-6 MQ-135 metal semiconductor type ammonia gas sensor parameters

符号	参数名称	技术条件	备注
V _C	回路电压	≤24V	DC
V _H	加热电压	5.0±0.2V	AC or DC
R _L	负载电阻	可调	
R _H	加热电阻	31±3Ω	室温
P _H	加热功耗	≤900mV	

表 3-7 MQ-135 金属半导体式氨气灵敏度特性

Table 3-7 MQ-135 metal semiconductor type ammonia sensitivity characteristics

符号	参数名称	技术参数	备注
R _S	敏感体表面电阻	2KΩ-20KΩ(100ppm NH ₃)	适用范围：10-1000ppm
A(R100ppm/R50ppm)	浓度斜率	≤0.6	
标准工作条件	温度：20℃±2℃	VC：5.0±0.1V	

图 3-12 是 MQ-135 金属半导体式氨气传感器基本测试回路,在测试过程中要施加两个电压,分别是: 加热器电压(V_H)和测试电压(V_C), 加热器电压用于为传感器提供特定的温度。与传感器串联的负载电阻(R_L)上的电压(V_{RL})则需要通过测试电压来测定计算数值。当图中传感器通电进行测试时, 被测气体变化会使得将侧电路中接入的阻抗 R_S 也会发生相应的变化, 电阻 R_L 两端的负载电压 V_{RL} 可以通过测量得出, R_S 的计算如公式 (5)所示。

$$R_S = \left(\frac{V_C}{V_{RL}} - 1 \right) R_L \quad (3.5)$$

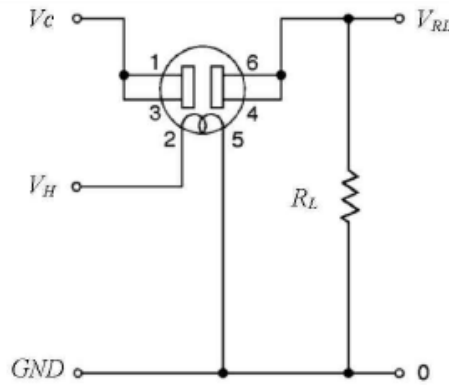


图 3-12 MQ-135 金属半导体式氨气传感器基本测试回路

Fig3-12 MQ-135 metal semiconductor type ammonia gas sensor basic testing circuits

MQ-135 金属半导体式氨气传感器采集模块电路图如图 3-13 所示：

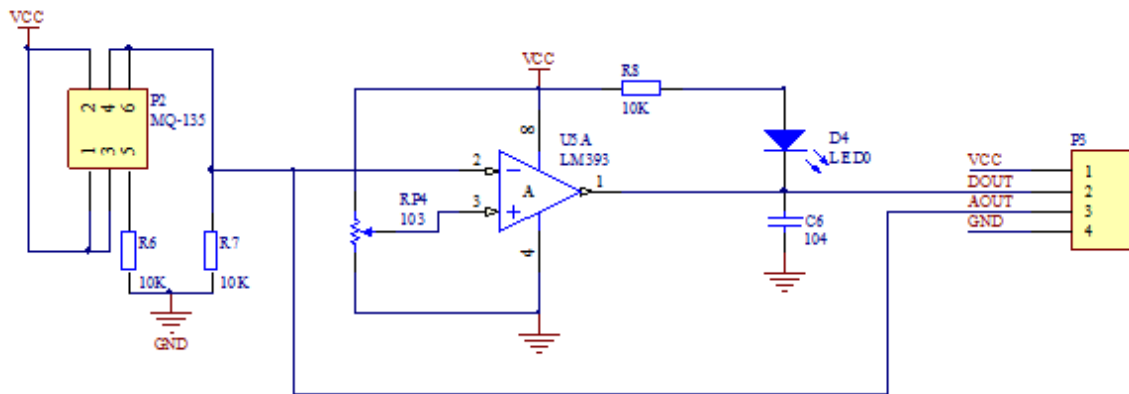


图 3-13 MQ-135 金属半导体式氨气传感器采集模块电路图

Fig3-13 MQ-135 metal semiconductor type ammonia gas sensor acquisition module circuit diagram

3.1.5 烟雾传感器报警模块选型及电路设计

温室大棚内照明、自动卷帘机等一些用电设备在使用一段时间后都会存在安全隐患，大棚内线路短路或者老化都会引起火灾，而且火灾对温室大棚造成的损害较大，为了能够及时扑灭火源，尽可能的减小火灾对大棚以及农作物的损失，烟雾报警器显得尤为重要。

本系统采用 MQ-2 烟雾传感器对烟雾浓度进行监测，MQ-2 烟雾传感器属于金属半导体传感器，其结构及原理与氨气传感器相似，具有监测范围广、功耗低、性价比高等优点。MQ-2 烟雾报警器模块电路图如图 3-14 所示。

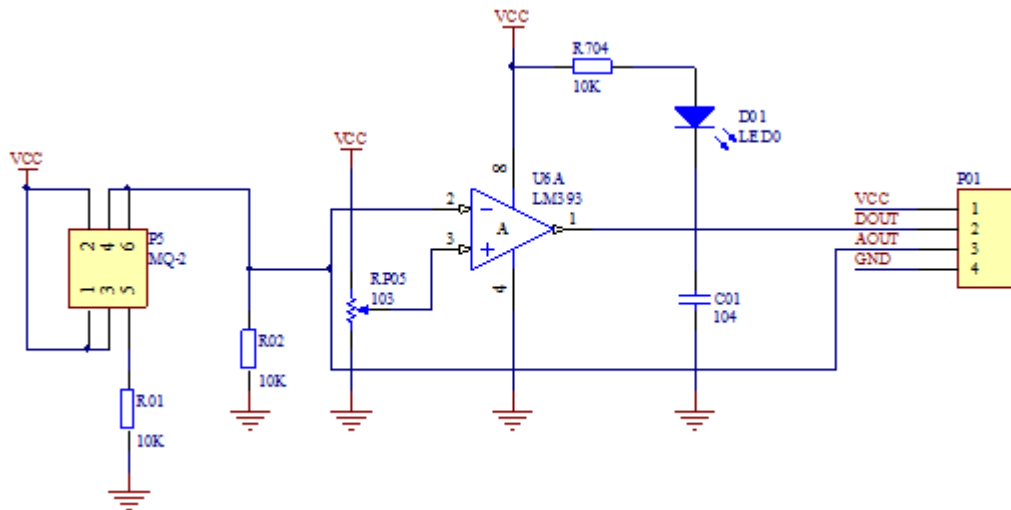


图 3-14 MQ-2 烟雾传感器报警模块电路图

Fi`g3-14 MQ-2 the smoke alarm sensor module circuit diagram

3.2 中央处理器选型及电路设计

3.2.1 Cortex-M3 内核简介

相比于 ARM7 和 ARM9^[35]为内核的微处理器，作为 ARM 公司新推出 32 位微处理器 Cortex-M3^[36]，其内部的寄存器、数据传输路径和存储器均采用的是 32 位数据。Cortex-M3 的内部架构为 ARMv7-M 架构，该架构拥有独立的指令总线和数据总线，数据传输与接收两个动作同时进行，这样一来工作效率得到了有效的提高，处理器的性能也提升了很多。Cortex-M3 更易于开发和应用，且性价比较高。Cortex-M3 与 ARM7^[37]内核比较见表 3-8。

温室大棚监控系统采集环境因子的点比较多，监控数据多，控制算法^{[38][39]}比较复杂，8 位单片机以及 16 位单片机已经不能满足大多数用户要求，32 位单片机以其自身的性价比、开发性能高等优势占据了用户的主流市场。农业生产者在选购农用设施时，大多数人选择价格比较低的设备，这使得部分价格昂贵的设备不能推广使用，浪费资源。针对这些情况，本文选用的是以 Cortex-M3 为内核的 STM32F103ZET6^[40]增强型 32 位嵌入式微控制器作为温室大棚监控系统的中央处理器。

中央处理器硬件设计原则如下：

- (1)为保证系统模块应用的灵活性，设计复位开关。
- (2)为满足系统实时监测和实时开关动作等功能，设计存储、实时时钟电路。
- (3)引出模块与中央处理器传输数据的输入输出端口，保证模块以及调控设备的正常运行，如升温、加湿、遮阳等。

表 3-8 Cortex-M3 与 ARM7 内核比较

Table3-8 Cortex-M3 vs ARM7 kernel compare

名称	Cortex-M3	ARM7
架构	ARMv7-M(哈佛) 独立的指令和数据总线	ARMv4T(冯诺依曼) 共用指令和数据总线
指令集	Thumb/Thumb-2 指令集 16 位 Thumb 指令和 32 位两种指令可混编, 无序状 态切换	32 位 ARM 指令+16 位 但两种指 令之间需要状态切换
流水线	3 级流水线+分支预测	3 级流水线
性能	1.25DMIPPS/MHz	0.95DMIPS/MHz
功耗	0.19Mw/MHz	0.28Mw/MHz
中断	独立使用	重复使用
中断延迟	12 个时钟周期	24-42 个时钟周期
中断压栈	软件手动压栈	硬件自动压栈
存储器保护	8 段存储器保护单元	无
工作模式	线程和处理模式	7 种工作模式
位操作	Bit-band 位操作	无

3.2.2 STM32F103x 系列微控制器

STM32F103x 系列微控制器有许多种型号供选择^[41], 其中常见 STM32F103x 系列与 STM32F103ZET6 相应特性对比见表 3-9。STM32F103ZET6 属于 STM32 系列处理器的高密度处理器芯片, 由表中数据可以看出 STM32F103ZET6 处理器产品拥有较大的 Flash 和 RAM 存储, 并且引脚的功能也比较多, 本系统将该芯片作为温室大棚监控系统的中央处理器。

3.2.3 STM32 系统电路设计

(1)STM32 最小系统电路设计

STM32F103ZET6 处理器电路图如图 3-15 所示, 电路设计部分主要包括对芯片的复位电路、晶振、通用 I/O 口、电源电路以及串口通信。

(2) 实时时钟和数据存储

为了保证系统时钟提供给中央处理器的时钟参数的精确性, 使用频率为 8MHz 的晶振作为时钟源^[42]。在中央处理器的电路设计中有一个专门为时钟提供电源的电池, 在出现停电的状态时保证时钟工作正常。

数据存储器使用的是 STM32F103ZET6 自身的内部存储器，由于温室大棚监控系统的数据量比较小，中央处理器的内部存储器满足该系统的存储条件。

表 3-9 STM32F103x 系列与 STM32F103ZET6 相应特性对比

Table3-9 Compared with corresponding features STM32F103ZET6 STM32F103x series						
STM32	低密度(ld)		中等密度(md)		高密度(hd)	
	STM32F103xx		STM32F103xx		STM32F103ZET6	
Flash(KB)	16	32	32	64	128	512
RAM(KB)	6	10	10	20	20	64
144pins					5*USARTs,4*16-bit	
100pins			3*USARTs,3*16		timers,	
64pins	2*USARTs,	2*USARTs,	-bit timers,	2*basic timers		
	2 * 1 6 - b i t	2*16-bit	2*SPIs,	3*SPIs,		
	timers,1*SPI,	timers,	2*I ² Cs,	2*I ² Ss2*I ² Cs,		
	1*I ² C,USB,CA	1*SPI,	USB,CAN,	USB,CAN,2*PWM		
	N,	1*I ² C,	1*PWMtimer	timers		
	1*PWM timer	USB,CAN,1*P	2*ADCs	3*ADCs2*DACS		
	2*ADCs	WM timer		1*SDIOFSMC(100-and		
		2*ADCs		144-pin packages)		

3.3 输出控制模块选型及电路设计

输出控制模块主要是针对调控设备的控制，调控设备包括加热设备、加湿设备、通风设备、遮阳设备等。这些设备均属于强电设备，在控制方面需要通过输入信号的变化使继电器闭合或打开，实现对强电设备的自动控制。“以小控大”是继电器最实用的功能，在大多数环境中电磁继电器应用较多，电磁继电器由线圈和触点组成，输入电压小，输出控制电压高，从而实现弱电控制强电的目的。在通电工作后为了防止强电对输出控制电路造成损害，在前端加入了光耦进行隔离。由于 STM32F103ZET6 中央处理器 I/O 口对输出控制模块的驱动能力较弱，因此在处理器 I/O 口后连接了 ULN2804 芯片加强驱动能力，单个输出控制模块电路图如图 3-16 所示。

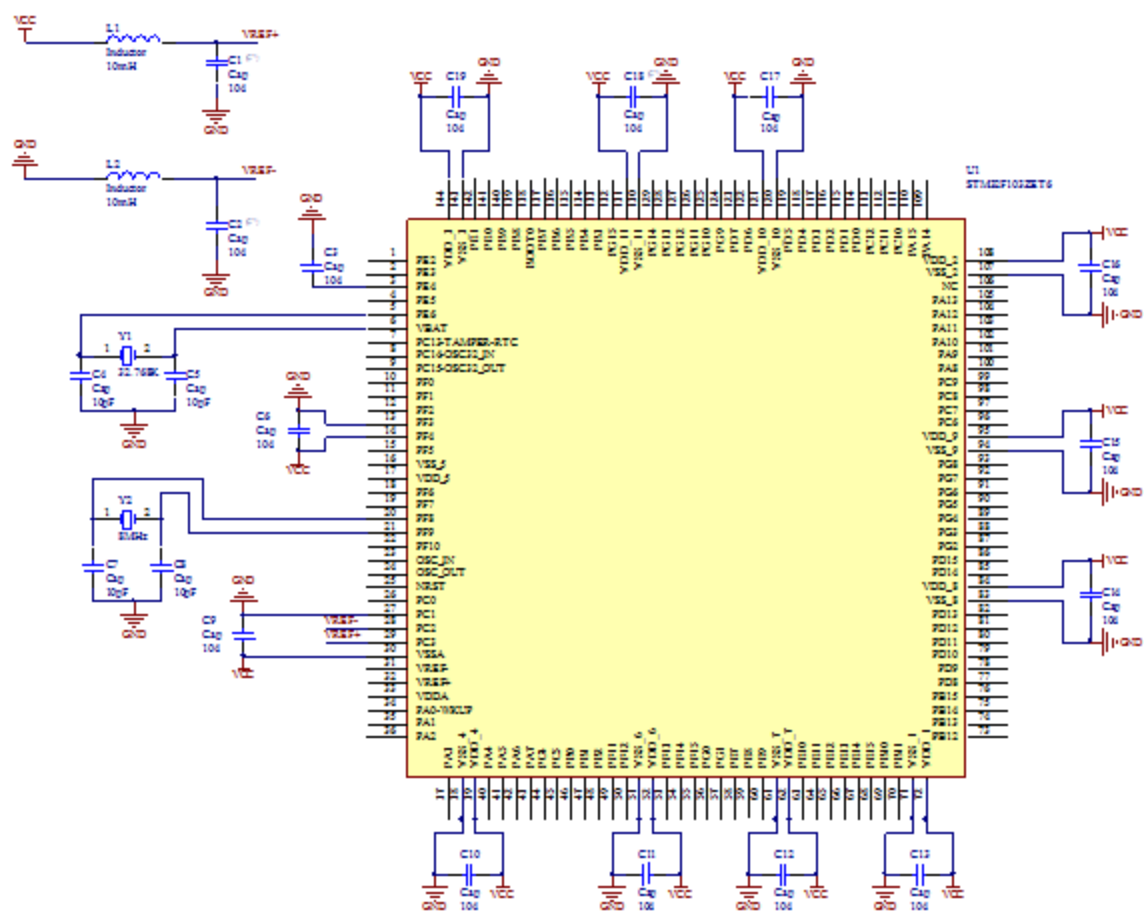


图 3-15 STM32F103ZET6 处理器电路图

Fig3-15 STM32F103ZET6 processor circuit diagram

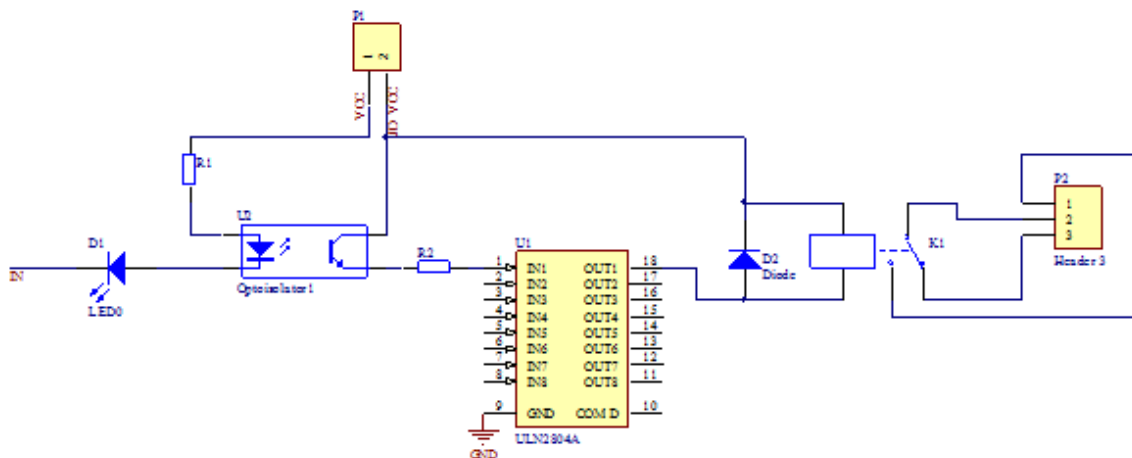


图 3-16 单个输出控制模块电路图

Fig3-16 The circuit diagram of the single output control module

3.4 电源模块选型及电路设计

温室大棚监控系统需要有三种电压对整个系统进行供电，分别是 6V、5V 和 3.3V，其中 6V 供电电源为 MG811 电化学式二氧化碳传感器采集模块供电；5V 供电电源主要为 MQ-2 烟雾传感器采集模块、MQ-135 金属半导体式氨气传感器采集模块供电；3.3V 供电电源则为 DHT11 温湿度传感器模块、BH1750FVI 光照度传感器采集模块和中央处理器 STM32F103ZET6 供电。为了防止其他电源模块在供电时影响中央处理器模块的供电稳定性，中央处理器采用单独供电的方式与其他模块隔离开来。6V 供电部分电源芯片采用 LM2941 可调稳压芯片，5V 供电部分电源芯片采用 LM2940 稳压芯片，3.3V 供电部分电源芯片采用 LM1117 稳压芯片。LM1117 电路图、LM2940 电路图、LM2941 电路图如图 3-17、3-18 和 3-19 所示。

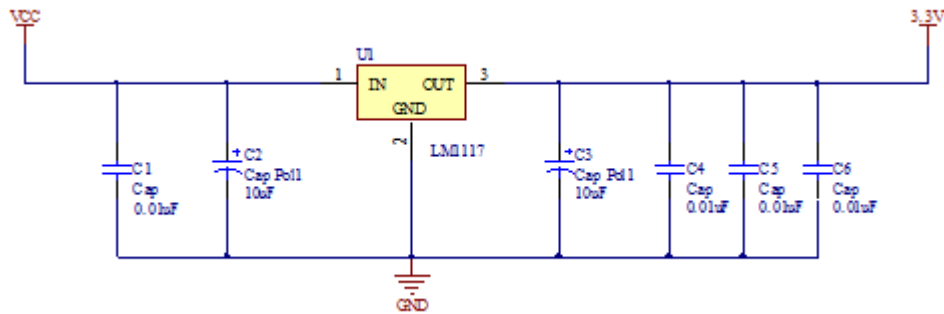


图 3-17 LM1117 电路图

Fig3-17 LM1117 circuit diagram

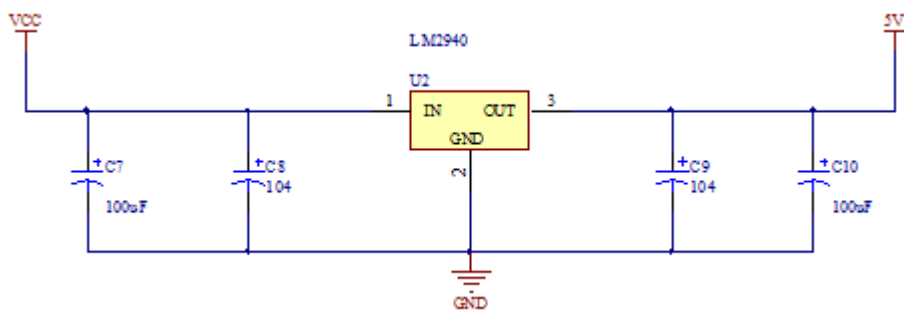


图 3-18 LM2940 电路图

Fig3-18 LM2940 circuit diagram

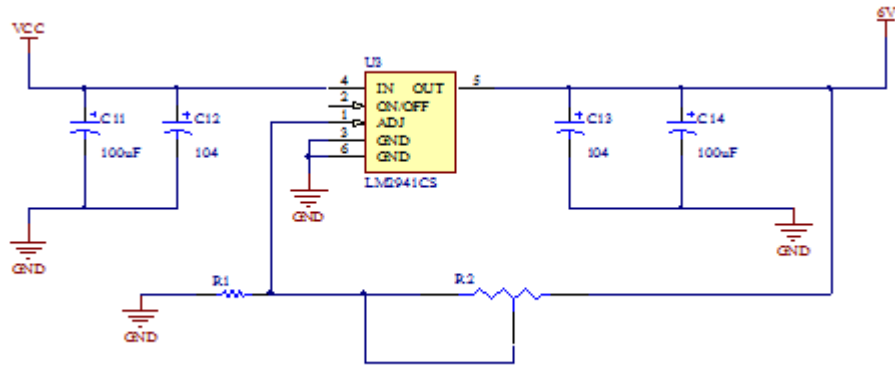


图 3-19 LM2941 电路图

Fig3-19 LM2941 circuit diagram

3.5 液晶显示模块

液晶显示模块使用的是一块 3.2 英寸的 TFT 显示屏 BL32007,分辨率为 320×240 ,该液晶模块由 16bitFSMC 总线驱动,5V 电压点亮屏幕,也可以通过接口调节屏幕亮度。BL32007 显示模块接口如图 3-20 所示。

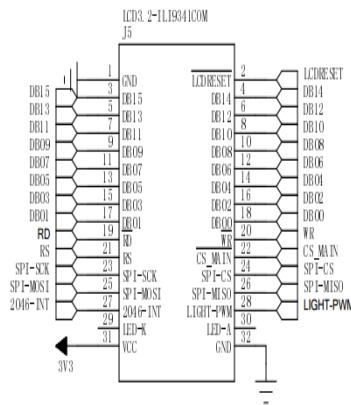


图 3-20 BL32007 显示模块接口

Fig3-20 BL32007 interface

3.6 本章小结

根据温室大棚环境内的设计方案,考虑多方面硬件电路设计因素,对中央处理器、采集设备、检测设备和输出控制设备等进行元器件的选型和硬件电路设计,并对中央处理器、采集设备采用独立供电的工作方式,以保证系统运行时硬件电路工作的稳定性。

4 温室大棚监控系统软件设计

4.1 概述

温室大棚软件设计时要考虑农作物的不同生长阶段，对这些阶段进行划分，在不同的阶段操作不同的设备来保证农作物具有良好的生长环境。

温室大棚监控系统软件设计是使硬件能准确地执行每一条指令。软件设计的好坏直接决定硬件功能能否达到最佳状态。对于整个系统来说，硬件只是整个监控系统的一部分，软件则是监控系统的本质，软件与硬件的有机结合才能让整个系统运行起来。

温室大棚监控系统软件设计包括中央处理器软件设计、作物生长数据库软件设计、环境因子采集设备软件设计以及环境因子调控软件设计。各部分软件设计均独立进行程序编写，其中环境因子调控软件设计结合了九点控制的调控策略，合理分配利用硬件资源。

4.2 系统软件设计

温室大棚监控系统的软件设计是运用模块化编程设计方法^[43]，对中央处理器以及每个采集检测模块要实现的作用进行软件的逻辑设计和程序编写，编写完成后，将各个模块组合到一起，再进行组合调试。模块化设计程序可以减少以后检修调试中出现的问题，哪个模块出现问题直接可以从该模块测试解决。

温室大棚监控系统的软件使用 C 语言在 Keil uVision4 软件环境进行编写。图 4-1 为软件设计程序流程图，首先主程序进入系统硬件和系统软件的初始化阶段，保证设备能够正常运行；其次，中央处理器检验时间是否校准，保证时间与外界保持一致；接下来采集设备进行预热延时，保证运行时采集数据不会出现误差；采集模块将数据传送至中央处理器，中央处理器判断数据是否符合农作物生长的环境参数，如果不符合环境参数，那么就开启或关闭调控设备进行调整；如果符合则继续保持状态，直至监控结束。

4.2.1 中央处理器软件设计

图 4-2 是中央处理器软件设计流程图，控制系统开始运行^[44]，相应设备关联初始化，输出控制电路模块的继电器控制温室大棚内的调控设备处于关闭状态。中央处理器的软件设计在整个软件设计中相当重要^[45]，对整个系统运行的稳定性起到关键作用。以下为中央处理器软件运行的各个步骤：

(1)初始化。各个设备在启动时需要软件在内部进行初始化，保证各个设备初

始状态良好。

(2)校准时间。主要是对时间参数进行校准。

(3)读取参数。主要是完成对温室大棚内环境因子的实时监控以及反馈温室大棚环境参数、系统时间等状态。

(4)显示参数及调控设备。将采集的数据与中央处理器存储的作物生长数据进行对比并显示，判断是否需要输出信号，动作调控设备。

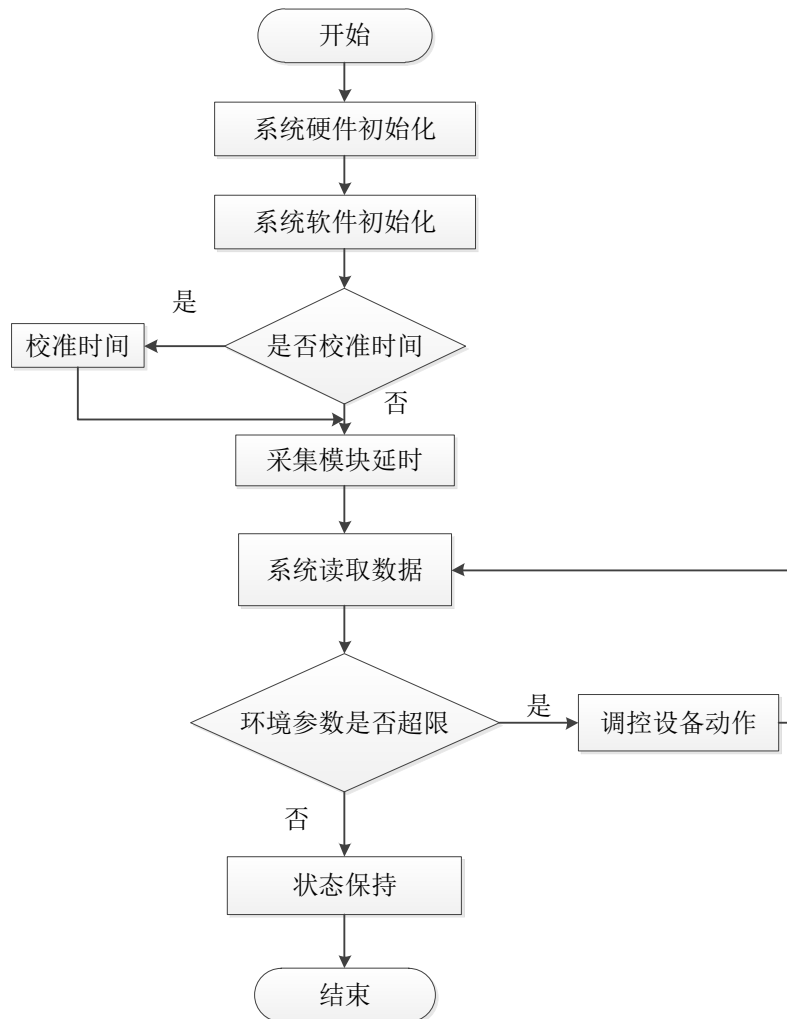


图 4-1 软件设计程序流程图

Fig4-1 The software design program flow chart

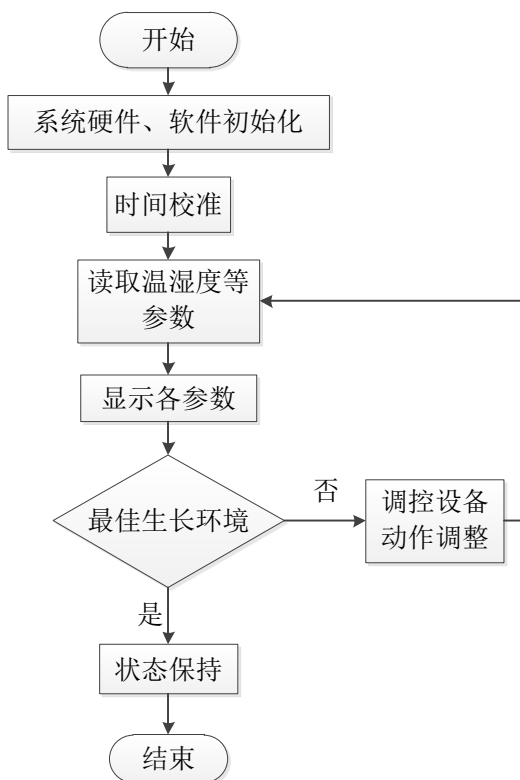


图 4-2 中央处理器软件设计流程图

Fig 4-2 The central processor software design flow chart

4.2.2 作物生长数据库软件设计

作物生长数据库是指农作物在不同生长阶段所需要的温湿度、二氧化碳浓度、光照度等标准数据库文件。图 4-3 是作物生长数据库程序设计框图，通过作物生长数据库中的标准数据与农作物的品种股进行确认，确认作物的生长阶段，调用作物生长数据库中的标准数据设置个参数的上限和下限。标准数据跟实际情况也会存在一定的误差，在设置时要进行调试，以保证调控设备运行过程中作物处在最佳生长环境中。

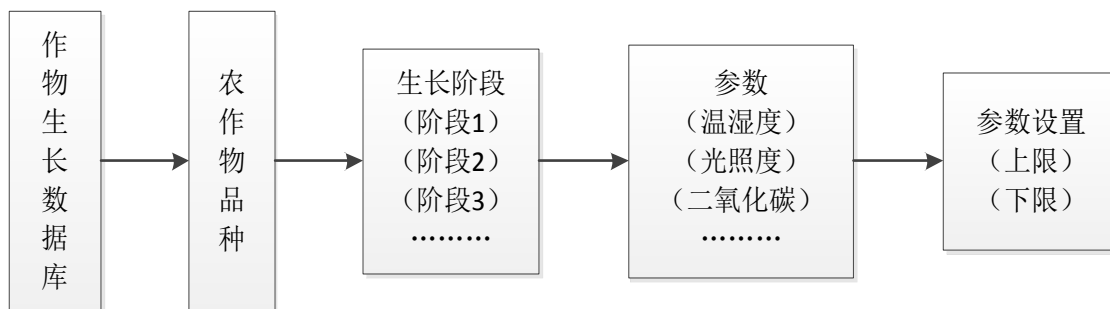


图 4-3 作物生长数据库程序设计框图

Fig 4-3 Crop growth database programming block diagram

4.2.3 环境因子采集设备软件设计

1.DHT11 温湿度采集模块

DHT11 温湿度传感器单总线通信功能是分时完成的,因此对时间间隔和时序的读写都有严格的要求。温室大棚将控制系统对于 DHT11 温度采集模块的各种操作都按照此协议进行^{[46][47]}。通信操作协议为:(1)DHT11 的初始化(2)温湿度转换(3)延时(4)读取温湿度, DHT11 通信操作协议流程图如图 4-4 所示。

DHT11 数字温湿度传感器数据传输采用的是单总线数据格式,即通过单个数据引脚端口完成输入输出双向的数据传输。其数据包有 5Byte(40Bit)组成,一次通讯时间最大为 4ms,数据共分为小数部分和整数部分两部分,一次完整的数据传输为 40Bit,高位先输出,数据格式为 8Bit 湿度整数数据+8Bit 湿度小数数据+8Bit 温度整数数据+8Bit 温度小数数据+8Bit 校验数据^[48]。数据输出程序如下所示:

```
GPIO_Init(DHT11_PORT, &GPIO_InitStructure);//DHT11 初始化  
uint8_t humi_int;//湿度的整数部分  
uint8_t humi_deci;//湿度的小数部分  
uint8_t temp_int;//温度的整数部分  
uint8_t temp_deci;//温度的小数部分  
uint8_t Read_DHT11(DHT11_Data_TypeDef *DHT11_Data);
```

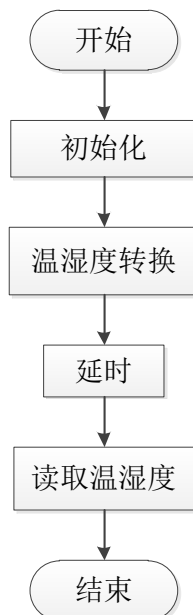


图 4-4 DHT11 通信操作协议流程图

Fig 4-4 DHT11 the communication flow chart of operation agreement

2. 气体传感器采集模块软件设计

MG811 电化学式二氧化碳传感器、MQ-135 金属半导体式氨气传感器以及 MQ-2 烟雾传感器采集模块均属于气体传感器采集^[49]，所以在软件设计上有很多相似之处。各个模块上电之后，首先初始化模块，经过延时程序预热传感器，预热完成后对温室大棚内的环境因子进行检测，并将监测的数据传回中央处理器，中央处理器将数值显示在液晶屏幕上。气体传感器程序设计流程图如图 4-5 所示：

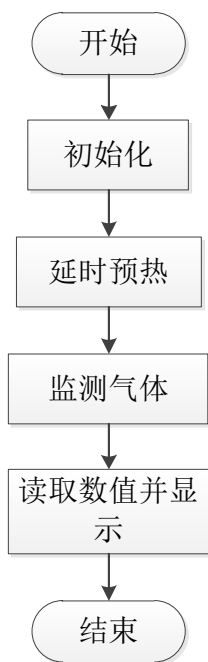


图 4-5 气体传感器程序设计流程图

Fig 4-5 Gas sensor programming flow chart

3. BH1750FVI 光照度传感器模块软件设计

BH1750FVI 光照度传感器模块使用的是 I²C 总线接口^[50]，因此需要对 I²C 进行通信协议编程。

I²C 总线结构为两线式结构，分别由数据线 SDA 和时钟线 SCL 构成。元器件要保证有 I²C 通信功能才能保证信号的传输。I²C 总线的传输过程是同时进行的，是一种串行总线结构，数据信号和时钟信号在同一个时间进行，通过串口连接模块与电脑连接进行数据传输，主器件寻找地址，寻址完成后启动总线的数据传输，同时时钟信号产生相应的脉冲。总线在传输过程中所有的操作状态都有自己相应的编码，主器件则按照这些协议编码对总线进行控制和管理。当被寻址的从器件接受到主器件发出的请求时，会做出应答，数据传输过程结束后，主器件释放总线。

I²C 总线从数据开始传输到结束一共会出现三种信号形式，分别是开始信号、应答

信号和结束信号。数据线状态为高电平时,时钟线处在下降沿,此时总线数据开始传输。传输的数据经 I²C 总线接收到总量为 8bit 的数据后,数据线发出低电平脉冲信号,向总线做出应答信号。数据线为高电平时,时钟线突然升高到高电平,这时总线数据传输发出结束信号。

I²C 总线上的外围扩展元器件均是电压型负载的 COMS 元器件,所以在总线上挂接的元器件的个数由电容承受的负载能力确定。一般来说 I²C 总线的负载能力是 400pF(驱动扩展),那么根据已知选用的电容可承受的负载能力和总线负载能力就可以计算出元器件的个数。例如电容的负载能力为 800pF,那么可连接的元器件就是两个。

I²C 总线的寻址方式是总线寻址方式,也就是说 I²C 总线上的所有元器件都只能连接在一条公共的数据传输总线上,主器件在进行数据传输前会选取所需要通信的元器件。在 I²C 上挂接的设备有唯一对应的地址,地址分为器件地址和引脚地址两部分,总共是 7bit 数据。主器件在出厂时对地址进行了设定,无法进行更改。但是引脚地址则可通过 I²C 总线外设地址引脚进行设定,通过引脚接地、接电源等方式组成不同的地址编码,引脚地址数则可以决定在同一器件上最大接入数。

I²C 总线的寻址字节是由一个方向位和地址位共同组成。寻址字节格式见表 4-1。方向位(R/W)规定了总线上的主器件、从器件的数据传输方向。当方向位 R/W=0 时,表示主器件发送数据到从器件;当方向位 R/W=1 时,表示主器件读取从器件中的数据。

表 4-1 寻址字节格式

Table4-1 Addressable byte format

定义	器件地址	引脚地址	方向位
位序	DA3 DA2 DA1 DA0	A2 A1 A0	R/W
	D7 D6 D5 D4	D3 D2 D1	D0

I²C 总线数据传输协议步骤如下:首先,主器件发出一个开始信号,也就是主器件发出的第一个字节通常用来选通相应工作的从器件,然后从器件会产生一个应答信号,之后进入到下一个传输周期,如果从器件没有产生应答信号,则此时的主器件就会产生一个结束信号,那么传输数据周期结束,此次传输的数据没有结果。在 I²C 总线上每次传输的数据字节不会受到限制,但必须保证传输的数据每个字节是 8 位的,传输的时候先高位后低位。当一个字节传送完毕后就会再发出一个应答位(此为第 9 位),因此每次传送一个字节都需要有 9 个时钟脉冲。

BH1750FVI 在系统中选用高精度模式,精度为 1lx,首先此时应先发送一条高精度的模式指令,再等待 180ms 后读取 BH1750FVI 器件结果即可完成对光照度的测量。BH1750FVI 光照度传感器程序步骤如图 4-6 所示。

写指令：



读指令：



图 4-6 BH1750FVI 光照度传感器程序步骤

Fig4-6 BH1750FVI light sensor application steps

4.3 环境因子调控软件设计

温室大棚监控系统根据作物生长数据库确定温室内农作物生长所需环境因子的标准数据之后，对温室大棚的内部环境进行调整。调控软件结合九点控制法通过采集设备对温室大棚内环境因子参数的采集，将参数传送给中央处理器，中央处理器根据预先设定的环境因子参数上下限判断是否需要调控设备发出启动/停止指令，并通过对调控设备的开关控制温室大棚内的环境因子，在达到所有合适条件后自动关闭调控设备。

4.3.1 环境因子策略分析

环境因子作为影响农作物生长重要因素之一，在温室大棚半封闭的循环系统对农作物的生长状况起到了一定的作用。环境因子策略分析是根据农作物的生长环境存在的各个环境因子进行调整。图 4-7 为温室大棚监控系统监控策略流程图，第一步需要从作物生长数据库中提取确定农作所需要的生长环境及参数；再通过采集设备采集的温湿度、二氧化碳浓度以及光照度等数据传输到中央控制器，中央控制器将数据库的标准数据与采集的数据进行对比；最后再通过对对比结果判断是否需要开启或关闭输出控制设备（加温、加湿、通风、补光等），最终达到对温室大棚内部环境因子进行调控的目的。

4.3.2 九点控制原理

九点控制引用基于偏差和偏差变化的模糊控制思想理论，以相平面作为分析工具，将控制对象在相应曲线上的运动轨迹通过相平面来分析，同时结合 $PID^{[51][52][53][54]}$ （比例(proportion)、积分(integration)、微分(differentiation)）控制中的 $P^{[55]}$ 特征，引进偏差零带（偏差允许的范围）和偏差变化零带（偏差变化允许的范围），通过这两个因素将相平面分为九个不同的区域，并对应不同的 P 按照区间在相平面进行分布，通过调节 P 的大小以达到控制对象的目的和效果，即九点控制理论体系。九点控制可以处理在工业生

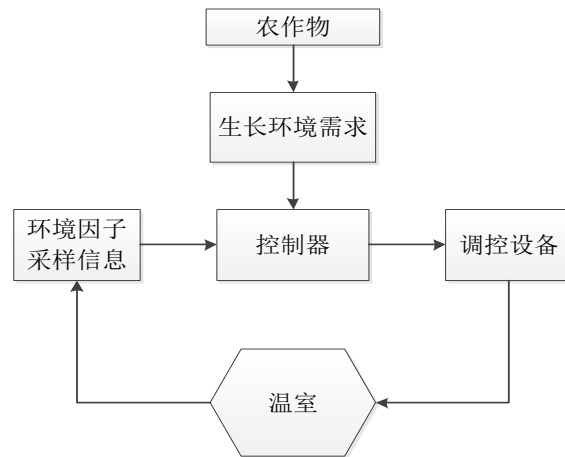


图 4-7 温室大棚监控系统监控策略流程图

Fig4-7 The flow chart of greenhouse monitoring and control system for monitoring strategy

产中的控制问题，特别是针对多变量、多影响因素、系统模型难以确认的系统，使用九点控制法可将控制问题简单化。图 4-8 所示为九点控制原理图，当数据传输到九点控制器后，九点控制器根据数据传输结果选择要执行的命令，执行元件将命令传输至被控对象，被控对象执行命令结束再将数据传输至九点控制器，最终达到预期的控制目的。

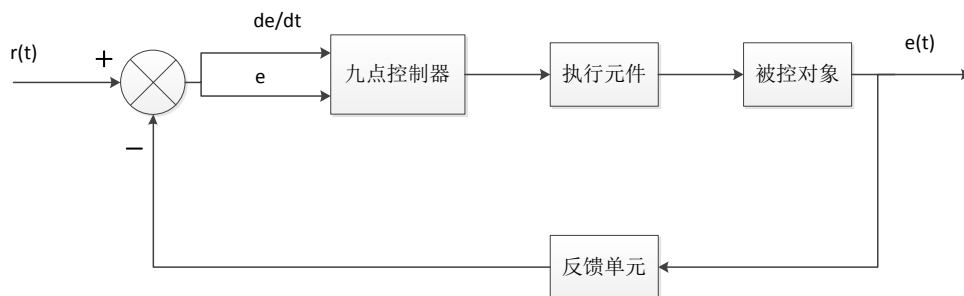


图 4-8 九点控制原理图

Fig 4-8 Nine point control schematic diagram

4.3.3 九点控制理论研究分析

九点控制理论的研究主要是围绕着九点控制器相平面曲线图和九点控制器阶跃响应曲线图进行研究分析，如图 4-9 九点控制器相平面曲线图和 4-10 九点控制器阶跃响应曲线图所示，图中包含若干符号，概念定义如下：

设定值 $r(t)$ 为系统期望值；

系统输出值 $c(t)$ ；偏差 $e(t)=r(t)-c(t)$ ；

偏差变化率 $\dot{e}(t) = [e(t) - e(t - 1)] / T$ ， T 为采样周期；

偏差变化零带 $\pm e_0$ ($+e_0$ 为偏差上限， $-e_0$ 为偏差下限)；

偏差变化率零带 $\pm\dot{e}$ ($+\dot{e}$ 为偏差变化率上限 $-\dot{e}$ 为偏差变化率下限);

图 4-9 九点控制器相平面曲线图, 偏差 e 和偏差变化 \dot{e} 各分为三种情况: $e > e_0$ 、 $|e| \leq e_0$ 、 $e < -e_0$; $\dot{e} > \dot{e}_0$ 、 $|\dot{e}| \leq \dot{e}_0$ 、 $\dot{e} < -\dot{e}_0$, 这样 e 和 \dot{e} 的组合就有九种变化。在偏差 e 和偏差变化 \dot{e} 组成的相平面上有四条直线 L1、L2、L3、L4。L1 和 L2 所夹的区域构成期望偏差变化率 \dot{e} 的零带, L3 和 L4 所夹的区域构成期望偏差 e 的零带。这 4 条线将整个相平面分成 9 个区域 I 到 IX, 表示一个系统可能存在的九种不同的工作状态, 也就是说系统需要用九种不同的控制方法来控制这些工作状态, 九点控制规则见表 4-2, 其中 K 值的大小取值关系为: $|K_{4\pm}| \geq |K_{3\pm}| \geq |K_{2\pm}| \geq |K_{1\pm}| \geq |K_0|$ 。运行的状态不一样, 控制器输出的能量值就有所不同, K_+ 代表补充能量, K_- 代表消耗能量^[56]。

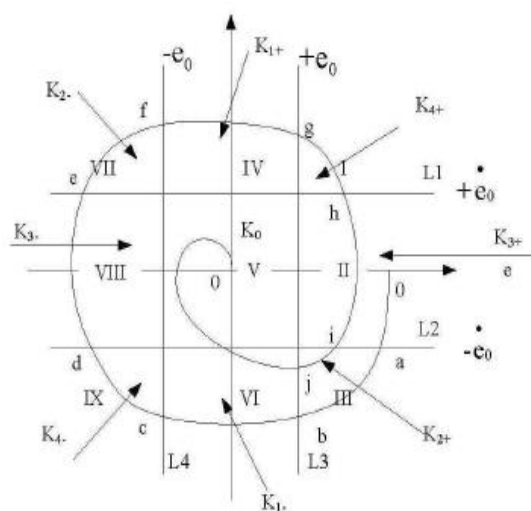


图 4-9 九点控制器相平面曲线图

Fig4-9 Nine-point controller phase plane graph

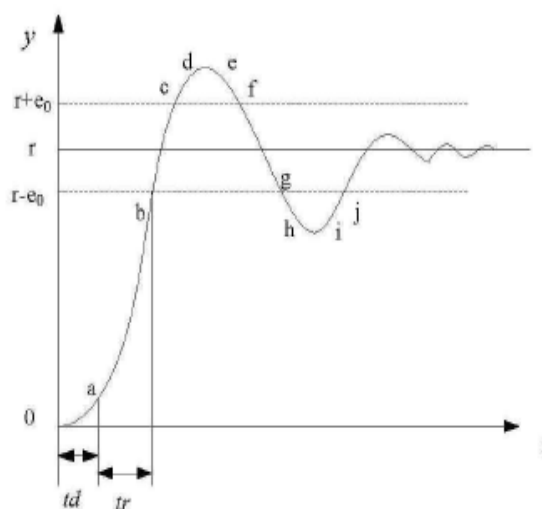


图 4-10 九点控制器阶跃响应曲线图

Fig4-10 Nine point control of portrait step response curve

表 4-2 九点控制规则表

Table4-2 Nine point control rule table

偏差变化率 偏差	$\dot{e} \geq \dot{e}_0$	$ \dot{e} < \dot{e}_0$	$\dot{e} \leq -\dot{e}_0$
$e \geq e_0$	K_{4+}	K_{3+}	K_{2+}
$ e < e_0$	K_{1+}	K_0	K_{1-}
$e \leq -e_0$	K_{2-}	K_{3-}	K_{4-}

系统运行过程中，系统会在这几种状态中随时变化为其中的一种状态。

(1) I 区， $e \geq e_0$ ， $\dot{e} \geq \dot{e}_0$ ，对应 gh 段，输出值小于设定值，并有正向偏离的趋势，控制器输出 K_{4+} ，即加强能量。

(2) II 区， $e \geq e_0$ ， $|\dot{e}| < \dot{e}_0$ ，对应 0a，hi 段，输出值小于设定值，无变化趋势，控制器输出 K_{3+} ，即稍加能量。

(3) III 区， $e \geq e_0$ ， $\dot{e} \leq -\dot{e}_0$ ，对应 ab 段，输出值小于设定值，向设定值接近，控制器输出 K_{2+} ，即弱加能量。

(4) IV 区， $|e| < e_0$ ， $\dot{e} \geq \dot{e}_0$ ，对应 fg 段，输出值等于设定值，并有正向偏离的趋势，控制器输出 K_{1+} ，即微加能量。

(5) V 区， $|e| < e_0$ ， $|\dot{e}| < \dot{e}_0$ ，输出值处于设定范围，控制器输出 K_0 ，既保持能量。

(6) VI 区， $|e| < e_0$ ， $\dot{e} \leq -\dot{e}_0$ ，对应 bc 段，输出值等于设定值，并负向偏离，控制器输出 K_{1-} ，即微减能量。

(7) VII 区， $e \leq -e_0$ ， $\dot{e} \geq \dot{e}_0$ ，对应 ef 段，输出值大于设定值，向设定值接近，控制器输出 K_{2-} ，即弱减能量。

(8) VIII 区， $e \leq -e_0$ ， $|\dot{e}| < \dot{e}_0$ ，对应 de 段，输出值大于设定值，无变化趋势，控制器发出 K_{3-} ，即稍减能量。

(9) IX 区， $e \leq -e_0$ ， $\dot{e} \leq -\dot{e}_0$ ，对应 cd 段，输出值大于设定值，且有负向变化趋势，控制器输出 K_{4-} ，即强减能量。

4.3.4 环境因子调控策略研究

温室大棚监控系统是根据作物品种和生长阶段设置作物生长数据库中的标准数据，经过中央处理器对采集设备的数据和作物生长数据库中的标准数据进行对比，判断是否对调控设备发出动作指令。

图 4-11 为温室大棚调控设备程序流程图，在调控设备中有许多开关量需要控制，所以各个设备之间的组合工作对内部环境的调控需要进行严格分配^[57]。例如根据有些温室大棚的结构来说，其通风环节需要开关不同方向的窗口。

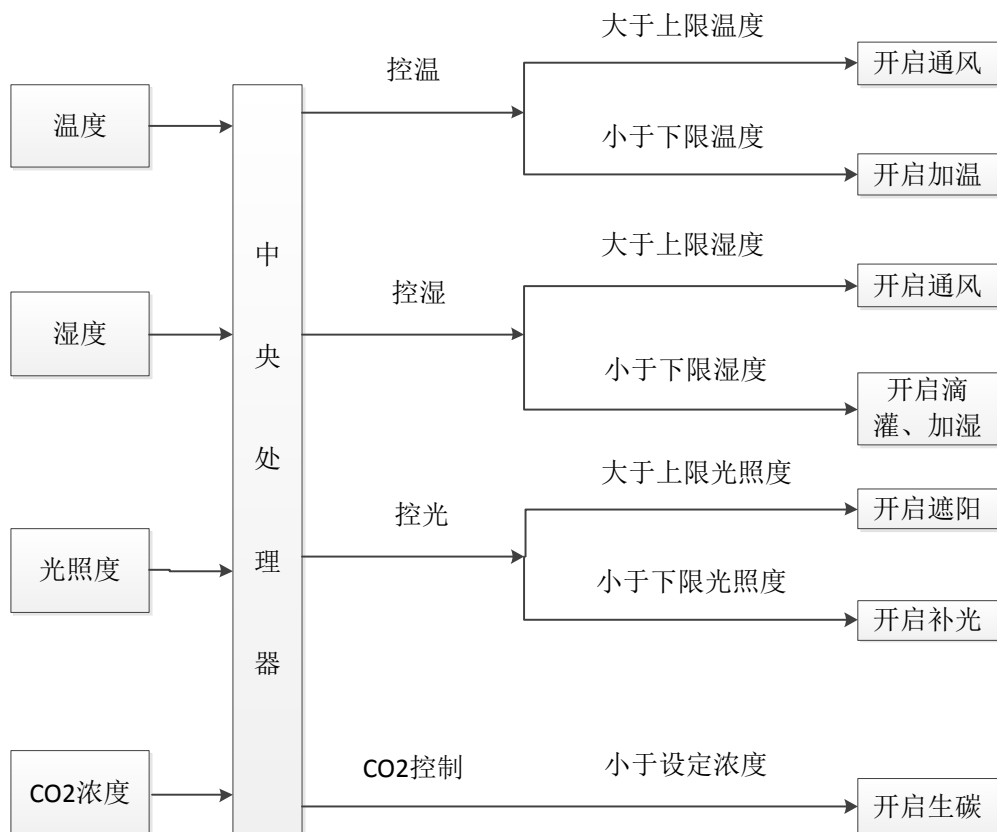


图 4-11 温室大棚调控设备程序流程图

Fig4-11 The procedure flow charts of greenhouses control equipment

除此之外，温室大棚的采集设备和调控设备在运行过程中存在延时，长时间操作会导致系统的控制性能降低，使得整个系统的监控精确性下降。

根据九点控制原则，本系统在软件设计过程中针对温室大棚单个环境因子控制中需要开关的组合控制进行了性能的优化，根据温室大棚环境内的设定值于作物生长数据库中的标准值的比较产生的误差，对相应的调控设备配合进行优化调试，减少设备的开关次数，保证设备能够长时间运行。

4.4 本章小结

温室大棚监控系统的软件设计包含了对数据监测、输出控制等方面的程序设计，主要完成了中央处理器控制系统、环境因子采集设备以及环境因子调控的软件设计，并对环境因子调控设备程序设计中使用的九点控制原理进行了介绍。

5 系统测试

5.1 实验测试平台

通过对温室大棚监控系统的软硬件设计，搭建了一个温室大棚监控系统的测试平台，硬件的测试设备主要包括笔记本电脑、STM32 开发板、仿真器以及各个传感器模块、输出控制模块等。温室大棚监控系统测试平台如图 5-1 所示，通过电脑操作实现软件仿真调试。

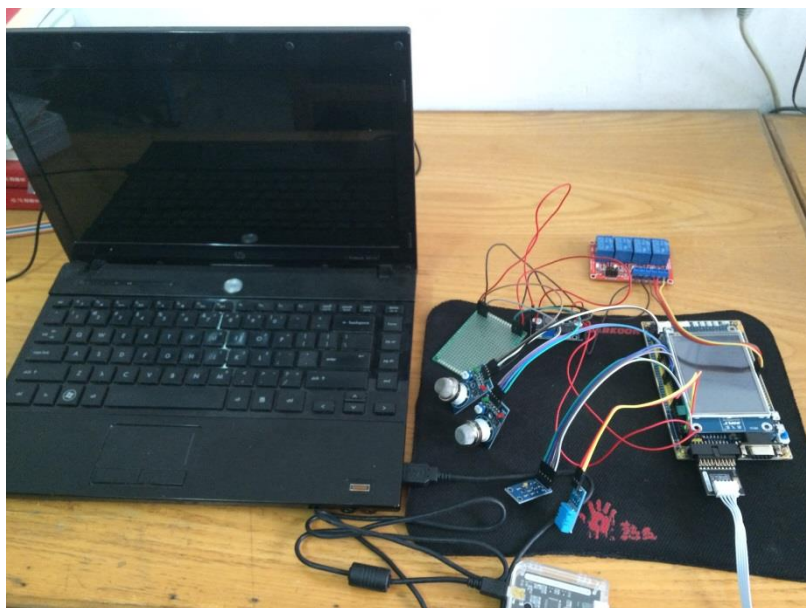


图 5-1 温室大棚监控系统测试平台

Fig5-1 Greenhouse monitoring system test platform

5.2 实验调试及数据分析

测试平台调试完毕之后，将设备放置到温室大棚中进行实验，各个模块运行状态良好，软件运行良好。通过在温室大棚中对部分环境因子的监控得到了一些实验数据，并对结果进行了分析，得到一些研究结论。图 5-2 为种植番茄的温室大棚，测试过程中设置为植株生长的最后一个阶段的环境参数。表 5-1 为早八点到晚八点每隔一小时的温室大棚监控系统监控数据。



图 5-2 温室大棚

Fig5-2 Greenhouse

表 5-1 温室大棚监控系统监控数据

Table5-1 Greenhouses monitoring system monitoring data

测试时间	温度(℃)	湿度(%)	CO ₂ (ppm)	光照度(lx)
8:00	12.2	58	1250	2205
9:00	17.5	55	851	5540
10:00	16.7	50	324	7481
11:00	19.4	51	680	9935
12:00	22.8	52	956	10945
13:00	25.1	50	1027	11560
14:00	27.4	50	1105	10483
15:00	24.8	48	1100	8073
16:00	20.2	47	1016	7386
17:00	17.8	50	1204	0.001
18:00	16.6	52	1100	0.001
19:00	14.1	51	1134	0.001
20:00	13.4	50	1240	0.001

本次测试是在冬季北方的普通温室大棚中进行的，通过测试平台的数据监控，可知温室大棚监控系统运行状态良好，并对温湿度、光照度以及二氧化碳浓度实现了调控，使温室大棚内的环境基本满足农作物生长条件，基本达到了设计要求。

6 总结

6.1 总结

随着科技的不断进步与发展，农业生产自动化、设施化的要求不断提高，温室大棚监控系统在农业生产中的作用越来越重要。

本文对国内外温室大棚研究现状以及温室大棚发展方向进行了分析，针对国内温室大棚监控系统控制功能单一、稳定性较差等问题设计了一套功能较多、稳定性较高的温室大棚监控系统。温室大棚监控系统硬件设备包括 STM32F103ZET6 中央处理器、采集设备、输出控制设备等；软件系统结合了九点控制法并使用 C 语言在 Keiluvision4 软件环境进行编写。

在硬件设计方面，完成了中央处理器、采集模块、输出控制模块、电源模块以及液晶显示模块的芯片的选型设计及电路设计，并对中央处理器进行了复位开关、数据存储和时钟电路设计。为了保证中央处理器运行的稳定性，设计了单独的供电电路。采集部分设计了 DHT11 温湿度采集模块、MG811 电化学式二氧化碳采集模块、BH1759FVI 光照度采集模块、MQ-135 金属半导体式氨气传感器模块以及 MQ-2 烟雾传感器报警模块。模块设计中采用了模块化电路设计，以保证系统运行时各模块间互不干扰，提高了系统的可维护性。输出控制模块主要是针对调控设备的控制，调控设备包括加热设备、加湿设备、通风设备、遮阳设备等。由于中央处理器 I/O 口对输出控制模块的驱动能力较弱，在输出控制模块中加入了 ULN2804 芯片加强驱动能力，保证了输出信号对调控设备的控制。

在软件设计方面，实现了中央处理器、作物生长数据库、环境因子采集设备以及调控设备的软件设计。中央处理器软件设计包括系统的初始化、时间校准、数据的接收及显示等模块。作物生长数据库则建立了一个农作物生长阶段所需要环境因子参数的集中数据库，通过采集模块的数据与库中的标准参数进行对比，及时调整温室大棚内环境因子参数。环境因子采集设备的软件设计包括了各传感器的延时、采集数据输出参数值到中央处理器等。环境因子调控软件设计结合九点控制法，实现了协调各设备间的调控运行、合理的分配使用资源的目的。

通过在温室大棚中对系统进行现场测试，各个模块运行状态良好。

6.2 展望

本文在温室大棚监控系统环境因子采集、调控方面做了设计实现，该研究设计对温室大棚监控系统的发展与设计，有一定的促进作用。

由于时间所限，本文在研究过程中对系统的硬件进行了必要的简化，且温室大棚环

境因子调控规则的设定有点简单化。以后,根据系统实际运作状况,可以逐步丰富完善。

攻读学位期间参加的科研项目及发表的学术论文

发表学术论文：

- 1.师素娟,满达,马少丹. 基于 Matlab Simulink 设计的直接转矩控制系统仿真[J]. 河南科技, 2015.12, 578: 30-32.

致谢

三年的研究生学习生活即要结束了，蓦然回首入学仿佛就是昨天的事情。回忆起这三年的点点滴滴，我很欣慰在人生中最具奋斗意义的三年时间是在拼搏和实践中度过的，学到了很多東西，我也庆幸有一个很好的学习环境，遇到了许多良师益友，是你们的帮助是我能够顺利的完成学业，在此谨向所有关心、支持和帮助过我的老师、同学表示最真挚的感谢！

最深的谢意献给我的导师师素娟老师。在研究生学习阶段，师老师严谨的治学态度、求实的科研作风，让我敬佩不已，也是我学习的榜样。您在学习和研究方面给了我很多方面的指导，从论文的选题、研究理论以及论文整体的框架结构等方面严格把关，是本论文能够顺利的完成。师老师不但在学习上给了我孜孜不倦的教导，也在生活上给了我温暖，在为人处事上也教会了我很多，感谢老师在这三年来对我的教导和鼓励。

此外，感谢华北水利水电大学机械学院的各位老师，是你们悉心的教导和培育，才有了我今天丰硕的成果。感谢 2013 级 04 班的全体同学，是你们的陪伴与关怀，伴我度过了研究生这三年的生活。

感谢论文的主审老师和答辩委员会的全体成员，你们诚恳的建议将使本文更加完善。

参考文献

- [1] H.F.M. ten Berge,M.K. van Ittersum,W.A.H. Rossing,et al. Farming options for the Netherlands explored by multi-objective modelling[J]. Eur J Agron, 2000,13(2-3):263-277.
- [2] TM Boers, S Schubert, A Ghafoor, et al. Agricultural water management in water-starved countries:challenges and opportunities[J]. Agric Water Manage, 2003, 62(3): 165-185.
- [3] 杜尚丰, 李迎霞, 马承伟等. 中国温室环境控制硬件系统研究进展[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 7-1.
- [4] 吴小伟, 史志中, 钟志堂等. 国内温室环境在线控制系统的研究进展[J]. 农机化研究, 2013, 35(4): 1-6, 18.
- [5] 季宝杰, 邹彩虹, 王永田. 基于单片机的温室自动控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2007, 15(1): 73-75, 105.
- [6] 戴勇, 周建平, 梁楚华等. 基于 AT89S52 单片机的多功能智能温室测控系统[J]. 农机化研究, 2009, 31(5): 135-139.
- [7] 唐立伟, 刘理云. 基于 PLC 的智能温室综合控制系统的研发[J]. 自动化技术与应用, 2009, 28(7): 106-108.
- [8] 程武山. 智能控制理论与应用汇[M]. 上海交通大学出版社, 2006.
- [9] 王立新. 模糊系统与模糊控制教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [10] 高飞, 薛忠. 模糊控制技术中的几个问题[J]. 西安电子科技大学学报, 1998, 3(25): 359-273.
- [11] 刘曙光, 俊民竺, 志超. 模糊控制技术[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2001.
- [12] 廉小亲. 模糊控制技术[M]. 北京: 电力出版社, 2003.
- [13] 韩峻峰, 李玉惠. 模糊控制技术[M]. 重庆大学出版社, 2003.
- [14] 诸静. 模糊控制原理与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [15] 席爱民. 模糊控制技术[M]. 西安电子科技大学出版社, 2008.
- [16] 崔涛, 赵莉. 模糊控制理论和应用的发展概括[J]. 自动化仪表, 2002. 23(7): 13.
- [17] 樊国平. 智能 PID 控制系统的设计与研究[D]. 浙江: 浙江工业大学硕士学位论文, 2005: 17~20.
- [18] Hong LIU,JinhuaXU.Researh of Hybrid Fuzzy PID Control Teehilology based on the Temperature and Humidity Control[J].International Symposium on Computational Inielligeneeand Design,2008.

- [19] 夏红, 赏星耀, 宋建成. PID 参数自整定方法总综述[J]. 浙江科技学院学报, 2003. 12.
- [20] 张化光, 何希勤. 模糊自适应控制理论及其应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [21] 孙王芳等译. 嵌入式计算系统设计原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002: 1~10.
- [22] 骆丽译. 嵌入式系统设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004: 10~12.
- [23] 季星, 林俊超, 宋飞 ARM 嵌入式应用系统开发典型实例[8]. 中国电力出版社, 2005: 39~40.
- [24] 王田苗. 嵌入式系统设计与实例开发[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [25] 周立功等. ARM 嵌入式系统基础教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [26] 师黎, 陈铁军, 李晓媛等. 智能控制理论及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [27] 姜长生, 王从庆, 魏海坤等. 智能控制与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [28] Atmel.D/AtasheetofAT91RM9200.http://www.atmel.com,2003.
- [29] AtmelCorporation.AT49BV322AD/Atasheet,2003.
- [30] 丁欣, 孙智卿, 郭鹏举. 基于 ARM 的智能温室控制系统[J]. 山西农业大学学报, 2010, 30(1): 56-60.
- [31] 刘鹏. Visual C++编程实例教程[M]. 北京: 北京希望电子出版社, 2002.
- [32] 杜春雷. ARM 体系结构与编程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [33] DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. www. maxim-ic.com.
- [34] 耿海龙. 基于 ARM 嵌入式的蔬菜大棚监测系统设计与实现[D]. [硕士学位论文]. 武汉理工大学: 信息工程学院, 2013.
- [35] Atmel Corporation. ARM920T Technical Reference Manual. www.atmel.com, 2004.
- [36] Joseph Yiu .The Definitive Guide to the ARM Cortex-M3.
- [37] Steve Furber.ARM System-on-Chip Architecture.Addison Wesley Longman, 2000.
- [38] 夏德铃, 编著. 自动控制理论. 机械工业出版社, 1998.
- [39] 王孝武, 编著. 现代控制理论基础, 机械工业出版社, 1998.
- [40] 数据手册 STM32F103xC STM32F103xD STM32F103xE.
- [41] 宋延昭. 嵌入式操作系统介绍及选型原则[J]. 工业控制计算机, 2005, 18(7).
- [42] 傅仕杰. 基于 STM32 的分布式智能温室控制系统[D]. [硕士学位论文]. 山西太原:

- 太原理工大学, 2011.
- [43] 邵裕森, 戴先中. 过程控制工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000:1~2.
- [44] 王福瑞, 单片微机测控系统设计大全[M]. 北京: 航空航天大学出版社, 1984, 04.
- [45] 赵星寒, 周春来, 刘涛. ARM 开发工具 ADS 原理与应用[M]. 北京: 航空航天大学出版社, 2006.
- [46] 姜忠良, 陈秀云. 温度的测量与控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [47] 赵梅, 胡宏平. 基于 ARM 的嵌入式系统在温控仪表中的应用[J]. 自动化仪表, 2007, 28(11): 32~33.
- [48] ServetSoyguder, HasanAlli .An expert system for the humidity and temperature control in HVAC systems using ANFIS and optimization with Fuzzy Modeling Approach.2009.
- [49] K.A.GopalaRao,B.AmarendraReddy,P.DurgaBhava-ni.Fuzzy Pi And Inlegraling type Fuzzy Pid Controller of Linear,Nonlinear and Time-Delay Systems [J].
- [50] MarkNelson 著, 潇湘工作室译. 串行通信开发指南(第二版)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [51] 王述彦. 基于模糊 PID 控制器的控制方法研究[J], 机械科学与技术, 2011(1): 167~172.
- [52] GU Jun-jie,ZHANG Yan-juan,GAOD/A-ming.Application of Nonlinear PID Controller in main steam temperature control [J].Power and Energy Engineering Conference,2009.APPEEC2009.Asia-Paeifie.
- [53] KoivoHN,TanttuJT.Tuning of PID controllers:survey of SISO and MIMO techniques.In:PrePrints of IFAC International Symp.On Intelligent Tuning andAD/APtiveConirol,SessionI,SingaPore,1991.
- [54] KJ Åström, T Hagglund Automatic tuning of PID controllers.cds.cern.ch,1998.
- [55] Daniel E. Rivera , Manfred Morari , SigurdSkogestad Internal model control: PID controller design Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev., 1986 25 (1), 252–265.
- [56] 方箫. 基于 STM32 的温室环境控制系统的设计与研究[D]. [硕士学位论文]. 湖北武汉: 武汉科技大学, 2014.
- [57] 侯晓茜. 基于嵌入式系统的温室大棚参数采集与传输[D]. [硕士学位论文]. 辽宁沈阳: 沈阳工业大学, 2013.

附录 I 测试程序

```
#include "bsp_dht11.h"

/*
 * 函数名: DHT11_GPIO_Config
 * 描述   : 配置 DHT11 用到的 I/O 口
 * 输入   : 无
 * 输出   : 无
 */

void DHT11_GPIO_Config(void)
{
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;
    RCC_APB2PeriphClockCmd(DHT11_CLK, ENABLE);
    GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = DHT11_PIN;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_Out_PP;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_50MHz;
    GPIO_Init(DHT11_PORT, &GPIO_InitStructure);
    GPIO_SetBits(DHT11_PORT, GPIO_Pin_10);
}

/*
 * 函数名: DHT11_Mode_IPU
 * 描述   : 使 DHT11-DATA 引脚变为输入模式
 * 输入   : 无
 * 输出   : 无
 */

static void DHT11_Mode_IPU(void)
{
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = DHT11_PIN;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_IPU ;
    GPIO_Init(DHT11_PORT, &GPIO_InitStructure);
}
```

```
/*
 * 函数名: DHT11_Mode_Out_PP
 * 描述   : 使 DHT11-DATA 引脚变为输出模式
 * 输入   : 无
 * 输出   : 无
 */
static void DHT11_Mode_Out_PP(void)
{
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = DHT11_PIN;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_Out_PP;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_50MHz;
    GPIO_Init(DHT11_PORT, &GPIO_InitStructure);
}

static uint8_t Read_Byte(void)
{
    uint8_t i, temp=0;

    for(i=0;i<8;i++)
    {
        while(DHT11_DATA_IN()==Bit_RESET);
        Delay_us(4);
        if(DHT11_DATA_IN()==Bit_SET)
        {
            while(DHT11_DATA_IN()==Bit_SET);

            temp|=(uint8_t)(0x01<<(7-i));
        }
        else
        {
            temp&=(uint8_t)~(0x01<<(7-i));
        }
    }
}
```

```
    }  
    return temp;  
}  
  
uint8_t Read_DHT11(DHT11_Data_TypeDef *DHT11_Data)  
{  
    DHT11_Mode_Out_PP();  
    DHT11_DATA_OUT(LOW);  
    Delay_ms(18);  
    DHT11_DATA_OUT(HIGH);  
  
    Delay_us(3);  
    DHT11_Mode_IPU();  
    if(DHT11_DATA_IN()==Bit_RESET)  
    {  
        while(DHT11_DATA_IN()==Bit_RESET);  
        while(DHT11_DATA_IN()==Bit_SET);  
  
        DHT11_Data->humi_int= Read_Byte();  
  
        DHT11_Data->humi_deci= Read_Byte();  
  
        DHT11_Data->temp_int= Read_Byte();  
  
        DHT11_Data->temp_deci= Read_Byte();  
  
        DHT11_Data->check_sum= Read_Byte();  
  
        DHT11_Mode_Out_PP();  
        DHT11_DATA_OUT(HIGH);  
  
        if(DHT11_Data->check_sum==DHT11_Data->humi_int+DHT11_Data->humi_deci+DHT11_Data->temp_int+ DHT11_Data->temp_deci)  
            return SUCCESS;  
    }  
}
```

```
        else
            return ERROR;
    }
    else
    {
        return ERROR;
    }
}
```

附录 II 温室大棚监控系统电路图

