



分类号: TM926 密 级: 公开  
U D C : \_\_\_\_\_ 学校代码: 10127

内蒙古科技大学

# 硕士学位论文

论文题目: 基于物联网技术的智慧农业系统开发与实现

英文题目: Development and Implementation of  
Intelligent Agriculture System Based on  
Internet of Things Technology

学 位 类 别: 工程硕士

研 究 生 姓 名: 白鲁尧 学 号: 2019022142

学 科(领 域)名 称: 控制工程

指 导 教 师: 杨培宏 职 称: 教授

协 助 指 导 教 师: \_\_\_\_\_ 职 称: \_\_\_\_\_

2021 年 6 月 5 日

## 摘要

传统农业模式存在动态反馈迟滞、控制精度误差大等固有缺陷，在能耗、效益等多个维度严重影响我国农业现代化、智慧化进程。因此，以物联网技术为载体，开展现代农业监控配套装置研究具有重要意义。但由于温室大棚内环境复杂，且大棚内温度、湿度和光照强度之间互相影响，存在一定的耦合关系，控制模型建立较为复杂。因此，为了保证智能温室大棚稳定运行和精准控制，本文引入模糊控制理论，为物联网技术实现智慧农业提供了理论依据。

温室大棚是我国农业的关键一环，其高效发展攸关国计民生。因此，本文遵循以远程监控替代传统人力的智慧发展理念，通过实地调研和查阅资料掌握了农作物生长主要的环境因子，合理选择相应的传感器，充分分析了简便性操作需求和成本因素后提出了基于物联网技术的智慧农业系统开发设计方案。针对反季节植物生长的温室，设计和实现了将温室内的环境数据通过 RS485 通讯协议传输到触摸屏客户端，通过 PLC 与触摸屏一体机直接控制大棚内排风扇等开关。同时，采用温湿度传感器采集农作物在温室大棚内的环境数据。一方面，利用串口模块传输采集到环境数据并将其通过模糊控制进行耦合以达到植物生长的最优效果，另一方面，利用通讯模块把触摸屏发来的控制指令传输到 PLC 模块上，进而通过 PLC 来控制和监测大棚内各种设备的状态，实现了对温室环境精细化、系统化的控制。

本文通过搭建基于物联网技术的智慧农业监控系统平台，利用 ZigBee 通信技术开发无线传感器和移动终端应用程序，验证了所提策略的有效性和可行性。实验结果表明相较于传统控制方案，本文所提议的控制策略能实时监控棚内环境因子，将采集到的环境因子进行耦合，具有响应速度快，抗干扰能力强，控制精度高等优势，能让用户在产量、人力成本投入等多角度获益，同时能达到植物生长的最优效果，满足温室大棚的智能控制要求，利于工程实践。

**关键词：**物联网；远程监控；智慧农业；模糊控制；智能化

## Abstract

Traditional agricultural models have inherent shortcomings such as delayed dynamic feedback and large errors in control accuracy, which have severely affected my country's agricultural modernization and wisdom in multiple dimensions such as energy consumption and benefits. Therefore, it is of great significance to carry out research on modern agricultural monitoring equipment with Internet of Things technology as the carrier. However, due to the complex environment in the greenhouse and the mutual influence of temperature, humidity and light intensity in the greenhouse, there is a certain coupling relationship, and the establishment of the control model is more complicated. Therefore, in order to ensure the stable operation and precise control of smart greenhouses, this paper introduces fuzzy control theory to provide a theoretical basis for the realization of smart agriculture by the Internet of Things technology.

Greenhouses are a key part of my country's agriculture, and its efficient development is critical to the national economy and people's livelihood. Therefore, this article follows the smart development concept of replacing traditional manpower with remote monitoring, grasps the main environmental factors of crop growth through field research and access to data, selects the corresponding sensors reasonably, and fully analyzes the simplicity of operation requirements and cost factors. The development and design plan of smart agricultural system based on Internet of Things technology. For the greenhouse where plants grow out of season, the design and realization of the environmental data in the greenhouse are transmitted to the touch screen client through the RS485 communication protocol, and the switch of the exhaust fan in the greenhouse is directly controlled through the PLC and the touch screen integrated machine. At the same time, temperature and humidity sensors are used to collect environmental data of crops in the greenhouse. On the one hand, use the serial port module to transmit and collect environmental data and couple it through fuzzy control to achieve the optimal effect of plant growth. On the other hand, use the communication module to transmit the control commands sent by the touch screen

to the PLC module, and then through PLC controls and monitors the status of various equipment in the greenhouse, and realizes the refined and systematic control of the greenhouse environment.

This paper verifies the effectiveness and feasibility of the proposed strategy by building a smart agricultural monitoring system platform based on the Internet of Things technology and using ZigBee communication technology to develop wireless sensors and mobile terminal applications. The experimental results show that compared with the traditional control scheme, the control strategy proposed in this paper can monitor the environmental factors in the shed in real time, and couple the collected environmental factors. It has the advantages of fast response speed, strong anti-interference ability, and high control accuracy. Users benefit from multiple perspectives such as output and labor cost input, and at the same time can achieve the optimal effect of plant growth, meet the intelligent control requirements of greenhouses, and facilitate engineering practice.

**Key Words:** *Internet of things ; Remote monitoring ; Smart agriculture ; Fuzzy control ; Intelligence*

# 目 录

<b>摘 要</b> .....	1
<b>Abstract</b> .....	11
<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 课题的研究背景及意义.....	1
1.2 物联网架构下的智慧农业国内外现状.....	2
1.2.1 智慧农业国外研究现状.....	2
1.2.2 智慧农业国内研究现状.....	3
1.2.3 智慧农业的国家政策.....	4
1.3 解决的主要问题 .....	5
1.4 本课题的主要工作.....	5
1.5 本章小节.....	7
<b>2 农业物联网相关技术</b> .....	8
2.1 物联网技术 .....	8
2.2 传感器技术 .....	9
2.3 ZigBee 无线网络通信技术 .....	10
2.4 现场总线技术 .....	12
2.5 本章小节.....	12
<b>3 智慧农业系统开发</b> .....	13
3.1 系统功能需求及可行性分析 .....	13
3.1.1 系统的功能需求分析.....	13
3.1.2 系统的可行性分析 .....	14
3.2 系统的整体设计 .....	14
3.3 基本结构硬件系统的设计 .....	15
3.3.1 硬件选型介绍 .....	15
3.3.2 硬件通信的建立 .....	16
3.4 系统的软件设计 .....	18
3.4.1 软件的总体开发 .....	18

---

3.4.2 梯形图程序的编写 .....	23
3.5 本章小结.....	25
<b>4 模糊控制算法.....</b>	<b>26</b>
4.1 温室大棚模糊控制系统.....	26
4.2 控制模型与控制策略.....	27
4.2.1 系统对温度的控制 .....	28
4.2.2 系统对湿度的控制 .....	28
4.2.3 系统对光照强度的控制.....	29
4.3 模糊控制器 .....	30
4.3.1 模糊化.....	30
4.3.2 模糊规则与推理 .....	31
4.3.3 解模糊.....	32
4.4 本章小结.....	33
<b>5 温室大棚智慧系统调试与实现.....</b>	<b>34</b>
5.1 系统整体实现方案.....	34
5.1.1 数据采集层的设计与实施.....	34
5.1.2 网络传输层的设计与实施.....	35
5.1.3 终端应用层的设计与实施.....	36
5.2 系统的功能测试 .....	37
5.2.1 系统设计的主控界面及其工作原理.....	37
5.3 控制测试的结果 .....	39
5.4 对控制结果的分析.....	41
5.5 本章小结.....	41
<b>6 总结与展望.....</b>	<b>43</b>
6.1 总结 .....	43
6.2 展望 .....	44
<b>参考文献 .....</b>	<b>45</b>
<b>致    谢.....</b>	<b>50</b>

# 1 绪论

## 1.1 课题的研究背景及意义

近年来，传统的农业在当下这个社会发展的背景下已经难以满足精准、集约、可靠、实时、便捷的要求。因此，智慧农业逐渐兴起<sup>[1]</sup>。智慧农业依靠农业生产过程中的智能决策和量化分析，并且结合多种有关的先进技术，比如物联网技术、传感技术、现场数据采集及测量技术及各种智能化自动控制技术，对农业生产进行集约化运作，以达到提高农作物产量和品质，实现优产和高产的目的<sup>[2,3]</sup>。

数千年来，我国都是以农业生产为主，农业的发展一直都占有非常重要的地位。尽管我们国家可以依靠农业养活 14 亿人口，但与日本，荷兰及以色列等农业强国相比，我国的农业模式要落后很多。随着国家科技实力的提升，如何发展农业科技已经成为党和国家最关心的问题之一。限制农作物生长发育的因素有很多，而传统的农业受自然天气环境的影响最大，智能温室大棚的出现对这一问题提供了解决方案。温室大棚不但能够克服恶劣天气等环境因素对农作物的影响，而且能给农作物提供一个良好的生存环境，满足了人们在不同的季节不同的天气情况下对农产品的需求。同时为解决我国的“三农”问题提供了一个良好的解决方案，一定程度上加速了我国农业农村现代化的建设进程<sup>[4,5]</sup>。智慧农业领域中的核心产业是温室大棚栽培，其主要的协调方式是根据不同的天气不同的农作物来不断调整生长环境，通过对植物生长环境的调节最终能够得到不同的收益数据，然后再根据这些数据进行分析对比，最终判断得到最大收益的生长环境。根据这个生长环境，对目标作物进行有针对性的培养便可以实现降低农作物种植成本、使作物产量翻倍，提高温室种植效率的目的。随着科学技术的发展，人们的需求不仅仅是产量翻倍，更多重视的是产品的质量问题。因此，人们迫切的希望提高农产品的质量和营养价值。而温室大棚栽培恰好可以通过掌握作物的最佳生长环境数据，对作物的生长周期进行合理调整，从而改善其品种，提高其品质。由此可以看出，掌握温室大棚环境数据是提高作物产量的重要举措，也是温室大棚栽培的重点<sup>[6~8]</sup>。

进入 21 世纪以来，传感器技术、计算机控制技术、网络技术以及新兴的物联网技术蓬勃发展，利用这些技术来提高大棚的生产效率变得刻不容缓。在此基础上开发的温室大棚监控系统在使用这些技术的同时，也同样提高了温室大棚智慧系统的控制效率。随着科学技术的不断进步，人们所追求东西也越来越多。因此，大力发展战略物联网技术和智慧农业已成为时代的趋势<sup>[9]</sup>。

## 1.2 物联网架构下的智慧农业国内外现状

### 1.2.1 智慧农业国外研究现状

在大力发展智慧农业事业的方面，一些农业强国在温室环境控制技术方面于上世纪六十年代便做出了初步的研究，如以色列、日本及荷兰等。现阶段，这些国家在智慧农业的发展上已经位列全球前列。不论是温室环境远程操控技术还是温室栽培技术。毫不夸张的说，这些国家在智慧农业方向的发展足以代表该行业最先进的发展水平。国外最早构建的温室大棚控制系统是选用模拟式仪器，仅凭最简单的传感设备进行数据采集和监控。这种控制方式的优点在于其设备成本较小，易于部署的同时也便于使用。缺点是功能较为单一，控制过程只是针对其中的单因子进行控制，没有考虑各环境因子之间的耦合关系。因此，该控制方式效果不佳，也存在局限性。到了上世纪八十年代，温室环境控制技术在计算机技术迅速发展的背景下又进步了一个台阶。人们在之前系统的基础上，开发了基于计算机技术的控制系统。它是一种以计算机和可编程逻辑控制器（PLC）为核心的控制系统，将温室环境内的参数耦合考虑在控制范围内，通过一系列实验探索，制定出科学合理的控制策略。同时，由于计算机具备直观清晰的人机界面，可以实时观测温室内的情况，大大提升了温室环境栽培技术的运行效率<sup>[10~12]</sup>。现阶段，一些发达国家在温室种植上无一例外的都使用上位机监测控制系统，该系统具备高度的智能化特征。这些发达国家的智慧农业技术的普遍发展，为其他一些发展中国家的农业向智能化、专业化和网络化发展指明了方向<sup>[13~16]</sup>。

由以上描述可知，国外一些发达国家在智慧农业研究方向起步早，技术成熟，设备先进，拥有众多优势。另外，还存在一部分国家由于其国内的国情，决定了其大力发展智慧农业。这些国家在早期的农业发展中不断探索，已经形成了一套具备各自特点的、完整的温室大棚监控系统。而对于中国来说，要想大力发展智慧农业，就必须在其基础上，形成一套自己独特的生产模式，才能在奋力直追的情况下成为后起之秀，实现农业现代化。创新是科技发展的第一动力，在研究和设计符合我国国情的基础上，大力创新发展，努力打造属于自己的温室大棚种植监控系统<sup>[17]</sup>。到目前为止，一部分发达国家已经应用物联网技术在农业发展上取得一定的成绩，这些发达国家同时大力发展卫星技术，将通过发射卫星的方式对其农业发展情况实施全方位监测。通过网络将监测结果传送到有关部分进行分析，大数据时代背景下，通过数据分析，将设施农业技术提升到更高的水平。国外发达国家在大力发展信息化技术和设备的同时，兼顾硬件设置和理论技术的发展，提高了效率，节省了人力物力，为智慧农业的可持续发展提供了良好的基础<sup>[18~22]</sup>。

### 1.2.2 智慧农业国内研究现状

由上文可知，对比一些发达国家如美国，日本，丹麦和其他欧洲国家，我国的智慧农业事业发展起步较晚。上世纪50年代中期，我国辽宁省率先打响了智慧农业革命的第一枪，通过将日本的塑料薄膜技术引入到温室环境中，使用日光栽培蔬菜，逐步发展拱棚栽培技术。在这之后的很长一段时间里，我国的温室大棚栽培技术一直没有实质性的进展，直到上世纪70年代末，在改革开放的浪潮中，我国从国外引入了众多先进技术。由此，我国农业工业化迈出了第一步。我国在改革开放后的80年代开始，对温室大棚环境控制系统进行深入研究，但由于缺乏技术人员，科研条件有限等原因，控制方式采用的都是较为单一的单因子控制。直到上世纪90年代，计算机技术才被引入到温室大棚控制系统中，开启了计算机控制系统的时代，并且提升了控制的效率<sup>[23~25]</sup>。

近现代以来，我国的农业硬件设施不够完善，由于一些政治原因，国家发展的重点没有放在农业上，顾及农业发展的劳动人员也普遍不具备专业的素质，农业发展较为传统和迟缓。新中国建立前夕，我国首次出现了农业温室大棚，但水平较为粗糙。改革开放以来，国家颁布相应文件，决定实施农业现代化战略，在农业发展进程中大力宣传使用现代化技术。由此，国内的信息化水平和机械化水平得到了进一步的提升。在智慧农业的发展过程中引入物联网技术后，变得更加智能化和高效化<sup>[26]</sup>。农业工业化的发展凭借着计算机技术、物联网技术和传感器技术，变得更加节约化和精细化，这对于我国农业现代化的发展起到了关键性的作用，同时也促进了农业相关领域科研方面的发展<sup>[27]</sup>。

我国的蔬菜花卉研究所和农科院气象研究所通过合作，在上个世纪 90 年代引入了计算机控制温室大棚环境的技术，开发了一套较为完备的计算机温室控制系统。“九五”期间，江苏理工大学研发了一套可协调温室控制系统。该系统在当时处于国内领先的地位。在这之后，中科院和中国农业大学等众多高校研究院都对计算机温室控制系统进行了开发和完善。我国的农业温室大棚控制技术在 21 世纪后进入了一个发展的辉煌阶段，中国农业大学开发出了一套采用现场总线技术的智能温室大棚监控系统，此系统在各项试验条件下均满足农业生产的基本要求。同时，江苏大学也开发出了一套针对不同地域环境、不同类型光照条件的温室控制系统。北京农林科学院则开发出了一套针对不同时间段，采取不同控制模式的，具备高效节能优点的温室控制系统<sup>[28~30]</sup>。

尽管在表面看来，国内外的农业发展都取得了一定的进步，研究成果颇丰，但要想实现农业现代化，仍有很长的路要走。许多现代化技术还远远未达到理想的控制效果，这些技术均需要进一步的改善。搭建一套近乎趋于完善的智能管理系统是实现我国农业

智能化的前提。但就国内目前形势来看，我国的农业专业技术不足，技术人员稀缺成为农业发展的最大阻碍。因此，从国家层面考虑，只有从上而下切实意识到发展智慧农业的重要性，从资金和技术人才等多方面入手加以重视和培养，才能真正实现国内农业现代化的目标。从技术人员层面考虑，要秉持谦虚的学习态度，力求创新。借鉴国外的先进技术，考虑我国南北土地差异、气候差异和人文差异等特点，结合国家政策和国情，努力开发出一套专门适用于我国温室环境的控制系统。届时可以使用该系统，与农业发达国家进行技术交流，也为我国智慧农业的现代化持续高效快速发展贡献一份力量<sup>[31~33]</sup>。

### 1.2.3 智慧农业的国家政策

在当今社会高速发展的背景下，国家大力推出新政策扶持智慧农业的发展。国家十分重视智慧农业的发展，因它是农业现代化发展中的核心部分。近年来，国家多次发布政策文件，表达了要大力发展智慧农业的态度。由此可以得知，“智慧农业”的发展符合我国的基本国情和实际需求，也符合国家支持的方向<sup>[34]</sup>。

在 2018 年至 2019 年这段时间里，中共中央国务院和农业农村部等相关部门大力支持智慧农业的发展，多次发布相关政策文件，如图 1.1 所示。

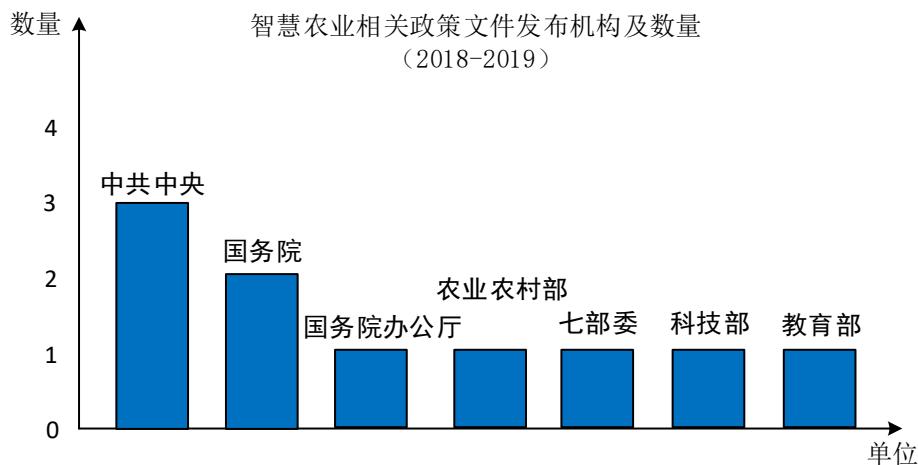


图 1.1 智慧农业相关政策文件发布机构及数量

关于发展“智慧农业”的相关国家政策具体如下：

- (1) 中共中央国务院颁布政策，要求执行乡村振兴战略；
- (2) 农业农村部发布，2018-2030 年间，实施农业绿色发展技术；
- (3) 中共中央国务院发布，2018-2022 年，实行国家乡村振兴战略规划；
- (4) 国务院出台政策，农业机械化和农机装备产业转型升级加快推进；

- (5) 教育部指出，2018—2022年，要实行高等学校乡村振兴科技创新行动。
- (6) 中共中央国务院在2019年中央1号文件中明确要求坚持做好“三农”工作，农业农村优先发展；
- (7) 科技部提出2018—2022年，实现创新驱动乡村振兴发展专项规划；
- (8) 农业农村部联合国家发改委等发布国家质量兴农战略规划；
- (9) 中共中央办公厅要求促进小农户和现代农业发展有机衔接；
- (10) 国务院政府报告同样对发展智慧农业做出了重要指示。

不管是在“十三五”规划还是最近的“十四五”规划期间，党和国家都高度重视发展农业现代化，国家出台了相关文件要求将在现有水平的基础上进一步提升农村信息化水平，加速完成农业信息化向高速高质量发展阶段的过渡。由此智慧农业在国家的大力支持下迈入了一个飞速发展的阶段，众多企业都纷纷响应国家号召，将业务拓展到智慧农业的发展领域中，给智慧农业的发展注入了新鲜的血液。在各行各业纷纷加入智慧农业发展领域的背景下，智慧农业的发展已经由过去的缓慢发展逐步演变成一个“百家争鸣”良好现象。这也表明智慧农业的发展迎来了更高速发展的黄金时期，相信随着时代的进步，国家会在发展智慧农业的道路上给予更多的支持<sup>[35~37]</sup>。

### 1.3 解决的主要问题

本文解决的主要问题如下：

- (1) 利用物联网技术中的数据感知功能层采集并传输智能大棚内部的环境因子；
- (2) 利用物联网应用层为大棚内部的植物提供可监视化环境，同时可以进行远程操控；
- (3) 用物联网网络传输层将变送器采集回来的数据建立模型进行对比和分析；
- (4) 利用ZigBee无线通信技术结合GPRS网络模块开发无线传感器和移动应用程序；
- (5) 对各环境因子的耦合关系通过模糊控制进行解耦；
- (6) 在此基础上引入模糊控制算法，模糊控制参数变量使作物达到最优生长环境。

### 1.4 本课题的主要工作

本课题针对智能温室大棚运行不稳定，产量不高的现状，为了保证智能温室大棚正常稳定运行，对其远程操控进行深入研究，通过实地调研和查阅资料掌握了农作物生长主要的环境因子温湿度，合理选择温湿度传感器，对要建立的控制系统进行合理性分析，

然后提出主要设计方案。针对反季节植物生长的温室，设计和实现了将温室大棚内的温湿度数据利用物联网技术无线传输到触摸屏客户端并显示，通过 PLC 触摸屏直接控制大棚的排风扇，遮阳帘和人工光源等开关。在此基础上引入模糊控制算法，对采集到的环境因子进行模糊控制，从而使作物达到最优生长环境。在引用物联网技术的基础上，对物联网应用层开发的应用程序加以合理利用。这些功能的实现对于智慧农业的精细化智能化控制有着重要的价值。本文的主要工作如下：

(1) 第一章 绪论。本章从发展智慧农业的背景和意义入手，介绍了物联网构架下智慧农业的国内外研究现状以及相关智慧农业的国家政策，指出了本论文解决的主要问题以及本文的主要研究内容。

(2) 第二章 农业物联网相关技术。本章在系统开发之前，对开发系统所需要利用的相关技术逐一做了详细介绍。其中，对物联网技术的分层进行了重点描述，对传感器技术的工作原理做出了详细介绍，对 ZigBee 无线通信技术结合 GPRS 网络模块开发无线传感器做出了细致讲解，对现场总线技术的发展及其优势给出了确切说明。温室大棚的智能监控系统开发离不开这些技术的支持。

(3) 第三章 智慧农业系统开发。对构建温室大棚监控系统的硬件开发做了详细介绍，提出设计的整体方案，该方案内容包括对系统的功能性需求分析及可行性分析，基本结构硬件系统的设计以及系统的软件设计。确定了 PLC 和触摸屏的选型，通信方式的选定、软件程序的设计以及 PLC 端口的配置。软件部分包括整体的开发流程、数据读取程序、通信程序、温湿度光照度控制、触摸屏 HMI 画面控制。

(4) 第四章 模糊控制算法研究。通过建立一套完备的模糊控制系统策略，对大棚内温度、湿度和光照强度等环境参数进行模糊控制。首先对采集到的数据进行模糊化，通过模糊化规则建立模糊规则表，然后利用重心法进行解模糊。最终实现了对温湿度等参数解耦的目的。

(5) 第五章 温室大棚智慧系统调试与实现。本章首先对该系统的整体设计方案进行了开发，通过物联网技术，分别在数据采集层、网络传输层和终端应用层讲述了设计与实施的过程，在数据采集层利用无线传感设备采集温室数据，通过 ZigBee 无线通信技术及 GPRS 网络模块将数据传送至移动终端，并在应用程序中显示出来。通过系统的功能测试，主控界面和工作原理的介绍，最终得到系统控制测试的结果。对得到的结果进行分析，最终证明，本课题开发的温室大棚监控系统能够建立更有利农作物生长的环境，并且提高作物产量，增加经济收入，达到控制的最优效果。

(6) 第六章 总结与展望。本章主要介绍了两点，分别是总结全文内容和对课题设计的展望，同时也对不足之处进行了说明，提出了建设性的意见。

### **1.5 本章小节**

本章的内容首先对智慧农业的发展背景和意义做了简要介绍，在此基础上分析了该课题的研究现状和发展趋势，明确了研究此课题的重要意义。然后对本文需要解决的问题进行了罗列，明确了课题研究的主要工作和内容，为接下来的论文撰写奠定了理论基础。

## 2 农业物联网相关技术

本章重点强调了开发智慧农业监控系统所选用的相关技术，包括物联网技术、传感器技术和 ZigBee 无线通信技术，并且介绍了各项技术的优势以及选用此技术的背景和原因。在上一章的基础上，明确了该课题的研究内容所采用的技术方向，同时为接下来的研究工作奠定了理论基础。

### 2.1 物联网技术

物联网一词起源于第三次信息科技产业革命，它指的是通过某种特定的信息传感设备，凭借特定的通信协议或网络，将物体与物体之间连接成一个整体，从而达到物物相息、信息交换的目的。最终实现监控、追踪和操纵等功能。物联网技术中的网络传输层、终端应用层和数据感知层分别对应数据传输、远程监控和数据采集的功能。本课题研究利用物联网技术开发了智慧农业的智能监控系统，通过对温室环境内的参数进行采集、传输和分析，实现了对温室大棚的智能控制<sup>[38~40]</sup>。

随着物联网这一概念问世以来，传统的思维模式随即被打破。传统观点认为互联网设施与物理设施是分别独立存在的，一边是电脑、宽带和数据中心，另一边是公路、铁路和其他建筑物。进入物联网时代，电缆与芯片融为一体，组建成一个新的基础设施。用新生时代的眼光去看待此设施，那么它就像是被发现的新大陆。因此，在这个全新领域里，有人认为新生的物联网和智能电网都是包含在智慧地球这个有机整体当中的。

智能温室大棚结合物联网技术搭建而成的构架由三部分组成。其中，应用层的主要职能是操作人员可以进行远程监控，通过被程序化的触摸屏和PLC一体机进行一系列远程监控和操作。网络层的主要职能是将感知层部分通过传感器感知到的环境数据进行传输，通过传输协议RS485和Modbus RTU，将传感器采集到的温湿度和光照度等参数传输到触摸屏，并显示出来，构成人机界面。感知层的主要职能是通过光照温湿度变送器等传感器，将外界的环境因子数据进行采集。各层之间环环相扣，搭建成物联网架构。

物联网技术的应用十分广泛，本课题利用物联网技术实现智慧农业监控系统的开发，实现管理和监控温室大棚的功能。远程检测与远程控制的物联网框架如图2.1所示，该框架分为应用层、传输层和感知层。其中，应用层包括对生产环境和过程以及

其他应用的管理，实现对感知层的远程控制，通过大数据与云计算服务平台与传输层进行信息传递。传输层通过一些无线通信节点，例如ZigBee、Wifi、蓝牙和CAN节点，将感知层采集到的温湿度等数据通过无线网络传输到应用层，从而实现对温室环境数据的远程检测。通过对采集到的数据进行分析，合理掌控农作物的生长情况，进而提出对温室大棚的智能决策方案。

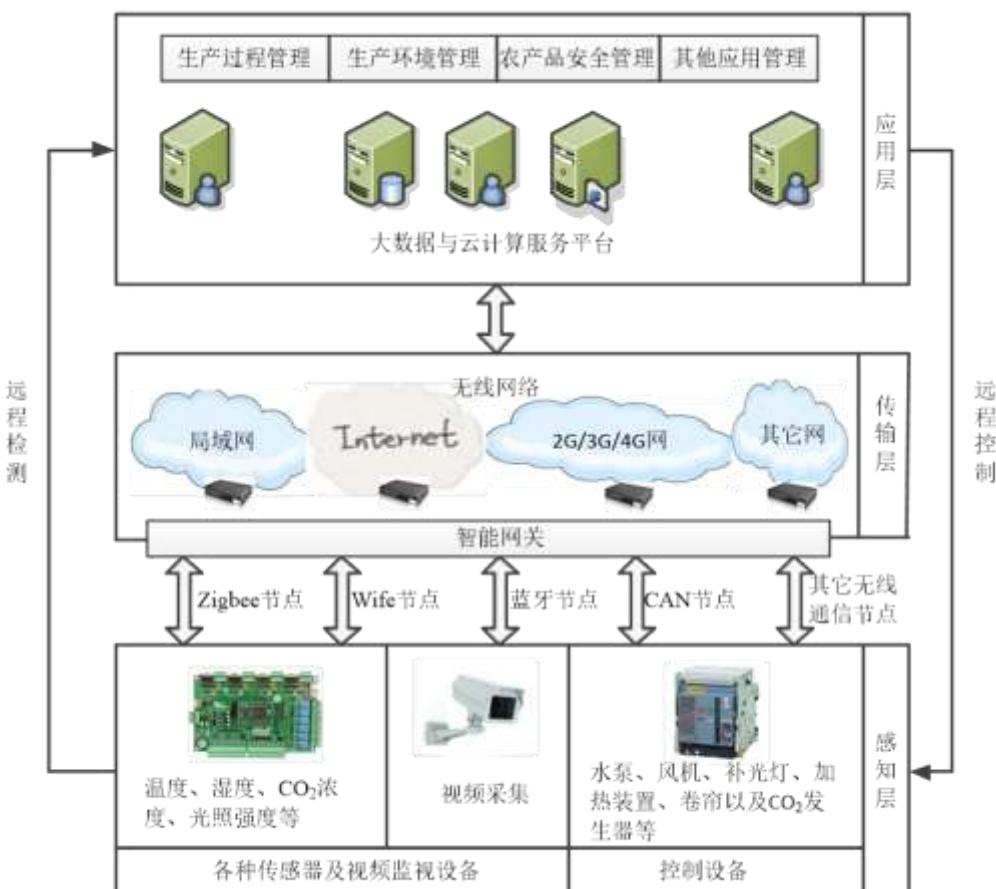


图 2.1 远程检测与控制的物联网框架示意图

## 2.2 传感器技术

传感器技术就是利用传感器的工作原理，即通过传感器内部的敏感元件采集外部信号，将采集到的物理量转换成另外一种电信号，然后再将转换后的信号输出，从而进行数据通信的过程。多数情况下是将某种物理量转换为电信号。变送器是一种特殊的传感器，输出信号被规定为一种特定标准的传感器称为变送器。变送器的作用毋庸置疑，在整个监控系统中起着至关重要的作用<sup>[41~44]</sup>。因此，传感器的精度要求颇高，为实现对温室大棚内环境数据的采集，本文选用具备信息感知、信息传输以及信息处理三大信息技术的光照温湿度变送器，该变送器精度高，采集数据效果显著。



图 2.2 传感器工作结构图

传感器的工作结构如图 2.2 所示，通过对外界信息的感知，经过敏感元件后直接进入转换元件，部分传感器通过敏感元件感知外界信息后直接进入转换电路，将转换后的物理量以电信号的形式输出。然后针对输出的电信号进行一系列控制、转变、记录和显示的操作。

### 2.3 ZigBee 无线网络通信技术

ZigBee 无线网络通信技术是根据蜜蜂绕 Z 字形状飞行与同伴进行信息交流而得出灵感命名的，音译过来又称作紫峰无线网络通信技术。该无线通信技术具备众多优点，如成本低，功耗低，可靠性高，具有灵活性和易干扰性。该技术开发过程中不存在专利费用，开发者希望能将其推广至全球范围，因此受到大多数人的青睐。又因为该无线通信技术特别适用于几十米至几百米的短距离传输，与温室大棚这种室内环境完美契合，因此，本课题选用 ZigBee 无线网络通信技术来搭建智慧农业温室监控系统。

ZigBee 无线网络通信技术通过其 MAC 层和 PHY 层，扩展到该无线通信协议的网络层和应用层，协议结构是被 IEEE802.15.4 规定的。在该通信技术开发的初始阶段，被定义的是 NWK 层和 MAC 层，随着 ZigBee 的不断改进， APL 层也逐渐被开发出来。MAC 层的主要职能是完成各节点间的通信，实现通信高效机制的同时也尽可能避免通信冲突；PHY 层的主要职能是为 MAC 层和无线物理传输介质提供接口，同时也负责接收和发送数据；NWK 层负责给节点分配地址，创建新网络，连接和断开各个设备；APL 层则主要是维护绑定数据和设备之间的数据传输，创建新的安全机制运用到网络设备中。

ZigBee 无线网络通信技术组网成本低，包括众多不需要导线就能进行信息传递的通信技术，如移动通信和无线接入通信。GSM 和 CDMA 协议与 ZigBee 无线网络通信技术工作原理相似，它们都是传输模块与网络基站发挥同等的作用，并且通信的距离范围在几十米到几百米之间，随着技术的不断发展，甚至可以达到几千米通信。若要实现网络通信就必须考虑协议，而 ZigBee 协议恰好能够提供对无线传感网络的支持。ZigBee 的工作频率为 2.4GHz，工作速率超过 10Mbps。因此，当使用 ZigBee 无线通信时需要将通信的效率和距离问题考虑周全。

开发移动终端的应用程序需要 GPRS 网络模块，该模块在应用程序和 ZigBee 无线通信

之间起着中间枢纽的作用。**GPRS**模块因其技术成熟且性能稳定，同时模块内部具备完善的TCP/IP协议栈。因此，本文在开发智能温室大棚监控系统时选用**GPRS**模块来实现无线数据传输。该模块拥有1200-115200b/s的通信传输速率，在执行通信操作前需要对其进行初始化，初始化后生成TCP数据包，然后利用固定的IP在**GPRS**网络上将数据发送到监控终端。利用无线通信技术开发的无线传感器示意如图2.3所示，该无线传感器为内蒙古科技大学研究团队自主开发，提高了采集和传输数据的灵活性。在设备进行组网后，移动终端的应用程序会以短信形式发送编译指令到**GPRS**模块，然后再传输到协调器，协调器收到指令后经过处理再反馈回移动设备，然后经过**GPRS**模块在移动终端设备上显示出来。



图 2.3 无线传感器开发示意图

本课题中传感器与PLC之间采用RS485串口协议，与人机界面触摸屏选择ModBus-RTU通信方式，该方式的波特率和地址支持自定义。在硬件系统开发过程中，涉及到的光照温湿度变送器、电动卷膜器和PLC触摸屏一体机均采用24V直流电源供电。该套设备常用于一些对光照度有明确要求的环境中，如温室大棚、农业生产和电子设备生产线上。其中，变送器采集光照强度数据的工作原理是通过变送器内部的光敏元件，将感知到的光信号通过转换元件转变成电信号，然后再将这个电信号输出到主控制器上进行数据分析。假如该光照值低于设定的期望值，那么系统就会自动发出预警，提醒操作人员进行补光操作。

## 2.4 现场总线技术

施耐德电气公司于1979年开发的一种命名为Modbus的串行通信协议，该协议是参与通信的重要组成部分，由于其支持在多个设备之间进行通讯并且通讯效果极佳，因此受到多数人的青睐。ASC和RTU是Modbus通信协议的两种传输方式，这两种传输方式都可以在标准的Modbus网络上进行传输通信，但由于前者具备更多的位数，相同条件下传输信息量相对较少，因此本文采用Modbus RTU传输方式。Modbus RTU在通讯过程中发送的指令帧由四个部分组成，分别是设备地址、功能码、信息域和CRC校验码。同时，该传输方式具备众多优点，它不仅节约成本，而且通俗易懂<sup>[45]</sup>。

## 2.5 本章小节

本章节从课题研究需要的角度出发，重点介绍了几项开发智慧农业监控系统涉及到的相关技术，分别是物联网技术、传感器技术、ZigBee 无线通信技术和现场总线技术。讲述了物联网技术的构成及其各部分的工作原理和作用，传感器技术工作原理和现场总线技术的发展由来和选用标准。通过对这几项技术的研究介绍，对后文系统的开发提供了相应的技术支持和理论铺垫。

### 3 智慧农业系统开发

通过上一章对本文系统研究的技术铺垫，本章在利用物联网技术、传感器技术和ZigBee无线通信等技术的基础上，对智慧农业系统进行开发。开发该系统之前，首先分析了系统的可行性及功能需求。确定该系统可行，然后对该系统的硬件和软件分别进行开发和介绍。介绍了硬件的选型以及通信的建立，通过部分梯形图的编写，初步实现了智慧农业系统的构建。

#### 3.1 系统功能需求及可行性分析

##### 3.1.1 系统的功能需求分析

在本系统开发之前，首先需要对其功能需求进行合理性分析，该步骤在系统开发的过程中占据着十分重要的地位。系统功能需求分析的原因是为了弄清此次系统开发具体所需要完成的任务。因此，在确定系统整体开发方案前需要明确对功能的需求。在大力发展智慧农业的背景下，要想提高农作物的质量和产量，需要对种植环境做出精准的控制。其中最基本的要求是通过传感器采集并传输温度、湿度和光照强度等环境数据，而系统的功能需求由一系列操作构成，对温室环境中参数因子的实时采集以及监控，并通过硬件之间建立的通信将采集到的数据发送到PC端，以期实现可视化界面完成对温室的监控与管理。后期引入智能控制策略对不达标的因子进行远程操控，最终实现对温室环境的智能控制<sup>[46~49]</sup>。

对该系统提出以下性能需求：

(1) 连续采集数据

通过传感器技术采集的数据必须具备连续性，并将采集到的数据源源不断的发送到监控终端。

(2) 可操作性

系统所提供的智能操控服务必须具备可操作性，各项操作按钮通俗易懂，让种植用户操作起来简单便捷。

(3) 可靠性和安全性

系统应该具备较强的容错能力，当种植业用户误操作引发故障时，系统应该像电力保护装置那样能够自动断电，实现自我保护。

(4) 操作精度

系统监控过程中需要对温室内部进行遮光，加湿或升温等操作。在系统发出命令后，各项操作的时间要尽可能短且精确，误差应保持在可控范围内。

综合以上需求分析以及对未来智慧农业的发展要求，本课题开发的智慧农业温室监控系统应能够实现以下功能：

- (1) 能够远程监控温室环境内的每一个角落，包括每种植物的生长环境因子。
- (2) 能够在远程监控平台监控的基础上完成对植物环境因子的智能控制。

### 3.1.2 系统的可行性分析

本系统选用采集数据稳定，运行速度快且精度高的光照温湿度变送器作为数据采集单元，EX3G系列文本一体机，同时可以实现界面监控和远程操作。引入物联网技术，将各实物之间通过RS485、Modbus RTU通信协议建立通信，实现物物相息。选用HMI组态画面软件开发监控画面，能达到让用户直观清晰控制的目的。该软件监控平台运行环境稳定，具备一定的平台兼容性和拓展性<sup>[50]</sup>。对整个开发系统的部分具备一定研究基础，在此基础上确定该智慧农业的监控系统开发是具备可行性的。

## 3.2 系统的整体设计

通过上文对系统功能需求的介绍以及系统的可行性分析，在此基础上设计了智能温室大棚的整体结构框图。系统总体结构如图3.1所示，通过A/D采集单元采集数据，将得到的结果与预先设定好的数据进行对比，当参数不符合要求时，通过PLC一体机远程操控，实现温室补光、升温或者加湿等操作，完善作物的生长环境。另外，还可利用触摸屏采集变送器的数据，做到对温室环境的实时监测。该控制系统需要DC24V电源供电，选用温湿度和光照度三合一的光照温湿度变送器，采集温室内的环境数据，同时，还可以实现查看历史数据，绘制历史曲线，达到或者超过阈值自动进行报警等操作。

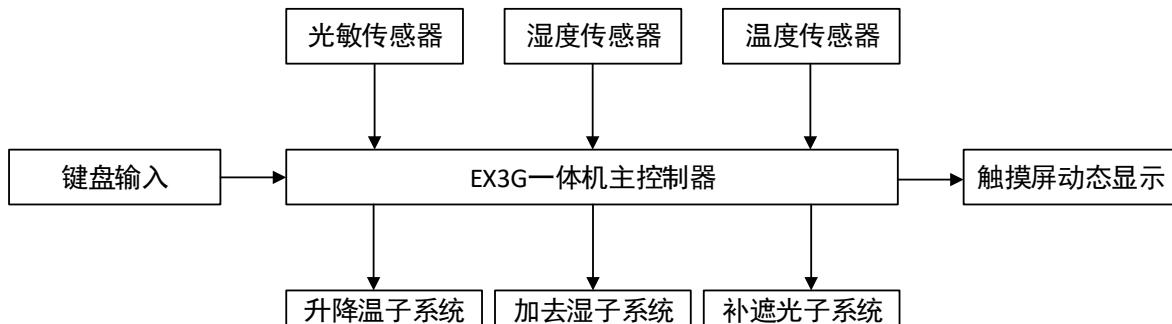


图 3.1 智能温室大棚整体设计结构图

### 3.3 基本结构硬件系统的设计

#### 3.3.1 硬件选型介绍

智慧农业系统开发硬件设计是以便捷高效为基础的，其设计的主要目标是开发成本低，规模小，具备该系统所要求的全部内容。本设计从传感器和触摸屏的选型入手，选择直流24V供电电源，直流24V电动卷膜器，EX3G系列触摸屏，通过RS485黄蓝两线进行连接通信。该套硬件设备可以减少人工操作，同时还拥有性价比高和高效便捷的优点，可以满足系统开发的要求<sup>[51~53]</sup>。

本课题选用具备采集温度、湿度和光照强度三项参数的光照温湿度变送器作为收集环境因子数据的传感器，该变送器为三合一类型传感器，它可以通过对外部环境的感知将温湿度和光照度等数据实时采集并显示到监控终端。同时，温室环境内可以实现多个变送器同时使用，具备准确性、兼容性、拓展性以及经济性等众多优点。该监控平台的传输节点结构示意如图3.2所示，其中主要模块包括温湿度等环境因子的数据采集传感器，负责接收数据的接口单元以及信号调制单元。通过转换模块将接收到的数据进行传输，最后还包括为以上模块提供能量的供电模块。

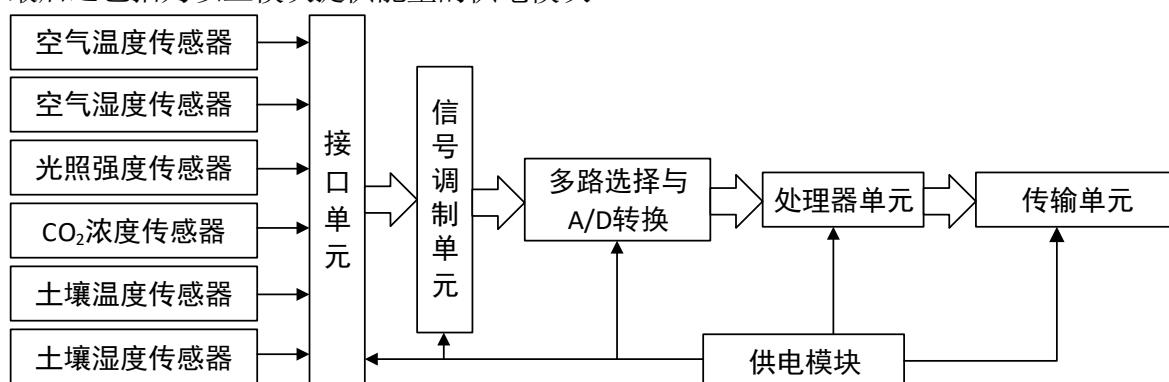


图 3.2 传输节点结构图

本课题开发的温室大棚智慧系统的主控制器由EX3G触摸屏与PLC的一体机组成，通过光照温湿度变送器对温室内环境的参数进行采集，经过A/D信号转换，将转换后的信号传输到主控制器中进行分析和处理。在主控器CPU内部预先设有一个微型数据库，将采集传输处理后的数据与库存数据比对后由主控器给出决策。然后根据决策内容，操作人员可以进行远距离操控温室环境的改善，通过触摸屏上的按钮发出命令，进而温室内的输出设备进行动作，为农作物提供最适宜的生长环境，以期达到最佳控制的目的。

EX3G-70KH系列的触摸屏一体机作为本课题开发系统的主控器，其系统接线示意如下图3.3所示。

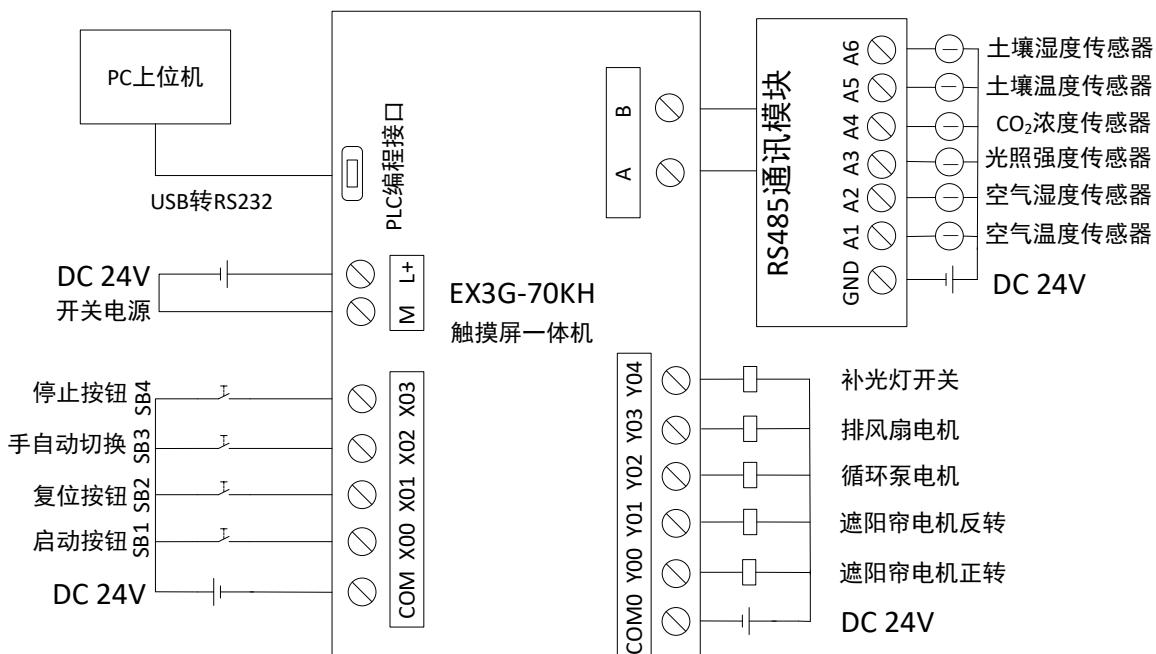


图 3.3 PLC 一体机系统接线图

### 3.3.2 硬件通信的建立

在农业应用方面多采用上位机与外部设备进行数据采集和传输的 RS232 和 RS485 串口通信协议。RS485 通信协议与 RS232 协议相比提升了传输速度、传输距离、以及能与多个从站进行通信。因此，本课题设计为满足温室大棚中种植环境的要求，选用传输速度快，传输距离远，能同时与多个从站进行通信的 RS485 通信协议。该协议能满足在复杂的温室环境内采集并传输多个环境参数，并且能在高温度、高湿度的环境下正常使用。

控制电机的转动可以实现风机，遮阳帘等实物的开关闭合，以达到控制温室大棚内 CO<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub> 的浓度比例，或对植物进行遮光补光等操作。本设计中电动卷膜器（电机）采用 DC24V 恒压供电，通过两个继电器与 PLC 互连实现电机正反转功能。如下图 3.4 所示，电机通过两个继电器与直流电源相连，实现电机的正反转功能。正转时，电机带动温室大棚内遮阳帘转动，遮阳帘上升，实现采光补光的操作，此时电机绿灯点亮，继电器 1 工作，在梯形图程序里与继电器 2 形成互锁，即继电器 1 工作时，继电器 2 停止工作，反转时同理。光照温湿度变送器与 PLC 触摸屏一体机均为直流 24V 供电，且二者之间通过 RS485 通信协议，RS485AB 黄蓝两线连接进行通信。同时，PLC 触摸屏一体机需连接作为上位机的个人电脑，通过梯形图程序对 PLC 一体机发布监控指令。

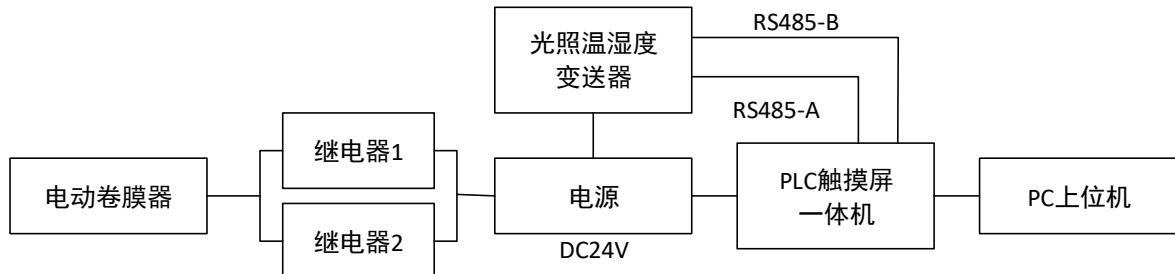


图 3.4 通信建立示意图

光照温湿度变送器的通信具备经济实用方便的特性，仅通过两根 485 线就可以实现数据采集。接线时 RS485A 为黄线，与触摸屏一体机上的通信 A 口相连，RS485B 为蓝线，与触摸屏一体机上的通信 B 口相连，通信的基本参数如下表 3.1 所示。

表 3.1 光照温湿度变送器通信基本参数

编码	8 为二进制
数据位	8 位
奇偶校验位	无
停止位	1 位
错误校验	CRC (冗余循环码)
波特率	出厂默认为 4800bit/s，可自定义设为 2400bit/s 或 9600bit/s

传感器与PLC之间采用RS485串口协议，与人机界面触摸屏选择ModBus-RTU通信方式，该方式的波特率和地址支持自定义。在硬件系统开发过程中，涉及到的光照温湿度变送器、电动卷膜器和PLC触摸屏一体机均采用24V直流电源供电。该套设备常用于一些对光亮度有明确要求的环境中，如温室大棚、农业生产和电子设备生产线上。其中，变送器采集光强数据的工作原理是通过变送器内部的光敏元件，将感知到的光信号通过转换元件转变成电信号，然后再将这个电信号输出到主控制器上进行数据分析。假如该光强值低于设定的期望值，那么系统就会自动发出预警，提醒操作人员进行补光操作。

通过编程软件进行测试：

打开软件GX-Works2，在传输设置窗口中选择COM2虚拟端口，设置波特率为9600k，点击通信测试，当出现如图3.5所示画面，表示通信建立成功，通信成功即可以对温室环境进行远程监控。通过Modbus RTU通信协议，远程控制由理论变为现实，智能控制摆脱了距离的束缚。另外，通过该控制系统不仅可以远程监控程序的运行状态，还可以对大

棚内超过正常阈值的报警信息进行改正操作，远程操控温室内设备的开启关断，解放了人力物力。



图 3.5 通信成功界面图

### 3.4 系统的软件设计

#### 3.4.1 软件的总体开发

硬件设计完成后便可针对软件进行开发。本课题使用的软件包括 CoolMay HMI、GX Works2、环境监控平台以及 RS485 参数配置工具。CoolMay 是专门面向 PLC 应用的软件工具，它的功能十分强大，具备诸多优点。CoolMay HMI 的主要功能完成是人机交互界面的设计，通过该软件，可以设计实现在触摸屏上按动某一个按钮，就可以实时查看温室内的环境参数，并对其进行远程操控。由于其开发方便，功能强大，因此在智能化、自动化领域使用十分广泛。应用场所包括自动停车洗车服务，智能管理大厦及智能车间生产监控等。对比传统的 GX Developer 软件，GX Works2 在其设计基础上，做出了进一步的完善。作为目前最先进的编程工具，它具备众多优点，其中包括方便操作和功能完善等。另外，该编程软件自带仿真功能，适用于 Q 系列、L 系列、FX 系列 PLC。因此，本文选用 CoolMay HMI 和 GX Works2 构成了智慧农业温室大棚监控平台的软件开发系

统，前者可以实现对监控画面的编辑与应用，后者可以利用梯形图编程实现对温室大棚的自动控制功能。

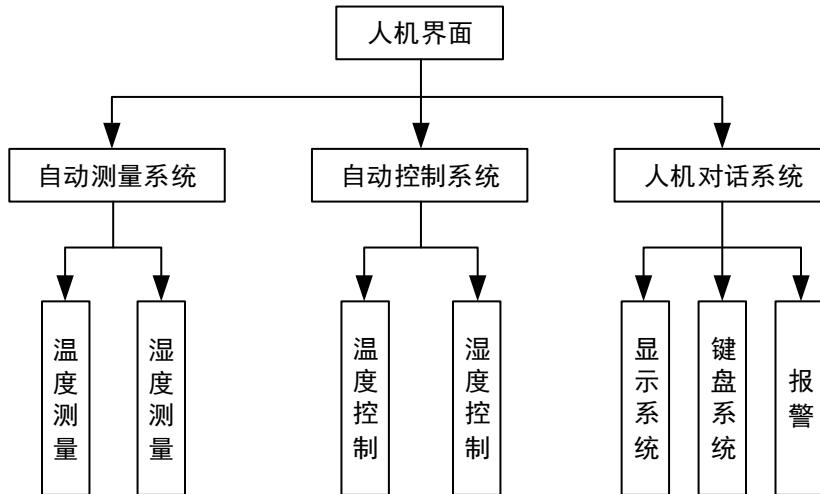


图3.6 系统的软件实现流程

如图3.6所示，可以看出，人机界面的开发由自动测量、自动控制和人机对话三部分组成。自动测量系统就是通过传感器采集测量温湿度等环境参数，自动控制系统就是对采集到的数据进行分析控制，而人机对话系统就是远程操控的部分，具备显示系统与超过阈值报警等功能。温室大棚智能监控系统由两部分组成，一部分是在PC端，另一部分在移动端。其中，主要部分是PC端的软件开发，可以说在整个软件开发部分中起着至关重要的作用。该部分开发需要通过RS485（Modbus RTU）通信协议来完成，在这个过程中，对温室环境内的作物生长环境数据进行一系列操作，包括采集、传输、分析、处理等，然后将其发送给操作人员，从而完成对温室环境的远程监控。

在开发软件系统的过程中，数据传输是必不可少的关键一环。为了保证数据的顺利传输，本文配置了如下设备：①数据采集需要首先建立通信，为保证通信的顺利进行，需要将寄存器与触摸按钮的地址设置为统一模式；②按要求定义各串口的波特率、数据位、校验码和停止位等信息后，便可以实现串口通信及其信息转换；③在网络方面，需要提前设定其IP地址，提供稳定的Web服务等。

人机界面的软件设计是在CoolMay HMI上进行的。如下图3.7所示，该软件的初始界面由众多工具栏和主控界面组成。其中，工具栏部分包括绘图元素、编辑工具、画面管理、标题栏、菜单栏、标准工具栏和设计部件。图中所示的画面编辑区域即为主控界面。菜单栏中包含文本、寄存器、数码显示、指示灯和位操作开关等功能按钮，通过拖动其中的按钮到画面编辑区域，即可对画面进行编辑。比如，当我们需要控制电机的正反转

时，只需要将位操作开关按钮拖动到画面编辑区域中，并且双击该按钮，将其赋值为电机的寄存器号和元件种类，再通过梯形图程序，便可以实现点击触摸屏上的按钮直接控制电机的目的。通过该软件，自定义绘制一个主控界面，然后通过下载线将PC端设计好的画面下载到触摸屏一体机端。开关的颜色、大小和位置都可以自定义。另外，该界面还拥有众多功能，包括离线模拟、在线模拟、实时显示时间、显示报警、显示历史曲线等。

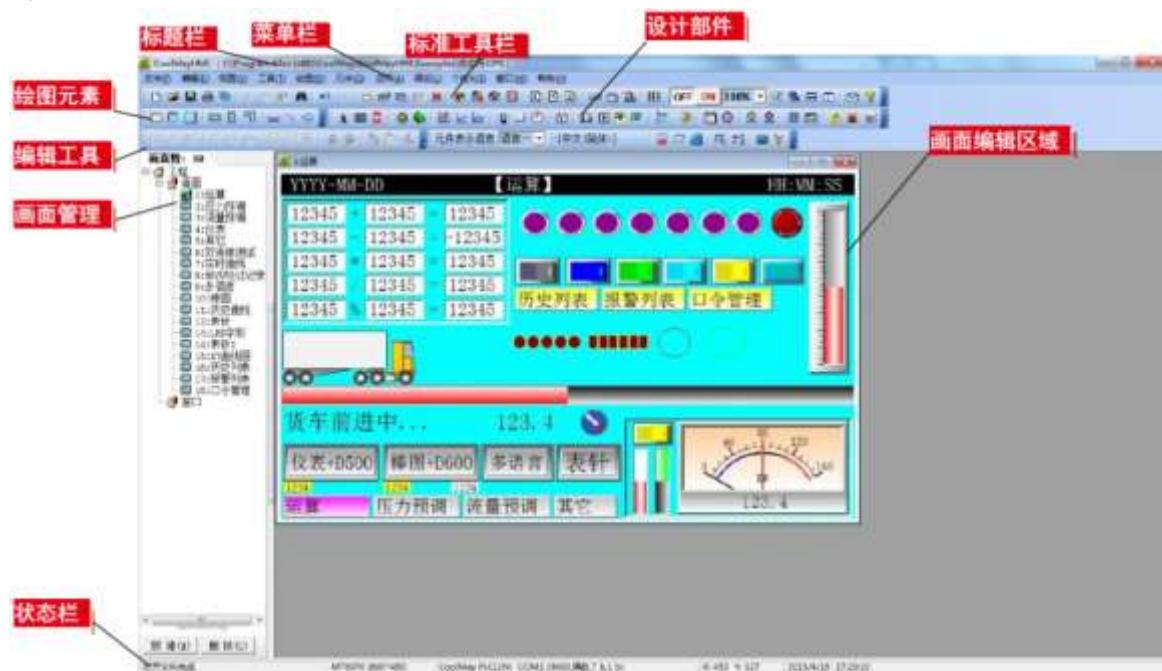


图3.7 CoolMay HMI编辑界面布局图

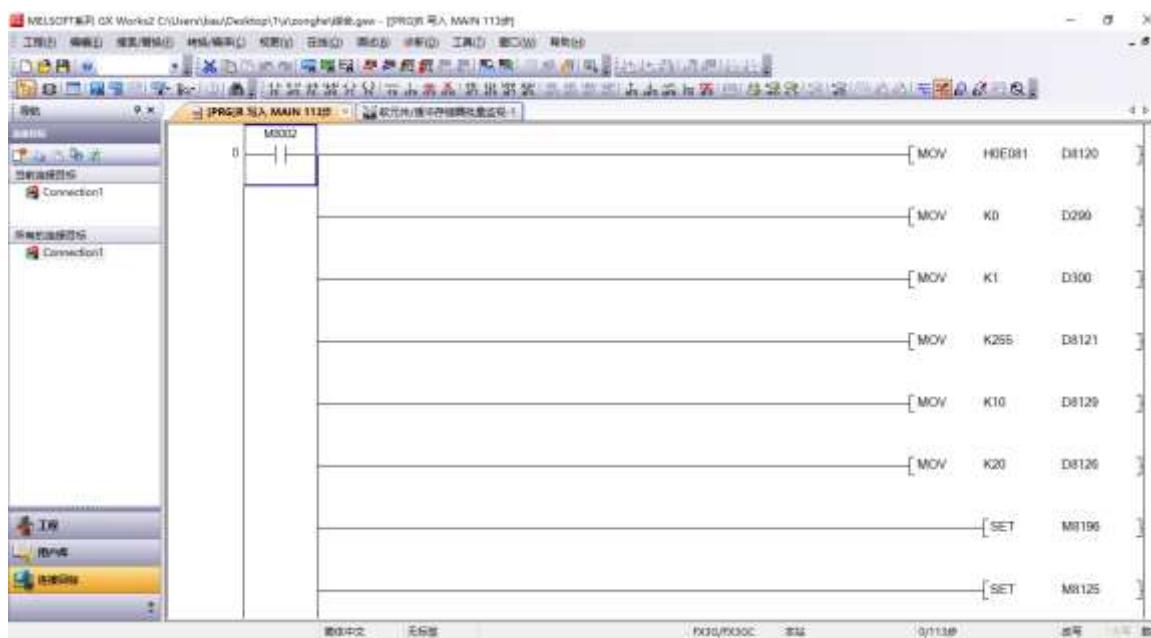


图3.8 GX Works2梯形图编辑界面图

GX Works2的编辑界面如图3.8所示，该软件是GX Developer的升级款，建立通信需点击左边任务栏的Connection按钮。上方工具栏在线里，可以将编辑好的梯形图写入文本一体机中。将该软件调整到“监视”状态后，根据梯形图上显示的蓝色实时数据，可以对温室环境的温湿度等参数进行实时监控。在本课题的系统开发中，正是利用该软件编辑梯形图程序，包括通信程序和监测程序，并将其下载运行到PLC一体机中，完成对温室环境的智能监控。



图 3.9 环境监控系统界面图

随着科学技术的不断进步，各式各样的智能终端不断被开发出来。具备对温室大棚环境监控功能的软件有很多，本文选择了能同时监控多个传感设备的环境监控系统。如图3.9所示，在同一界面中，可以添加多个传感设备，对温室大棚内各个角落的环境因子进行实时监控。每一个传感器可以将采集到的温度和湿度显示在监控系统上，并实时变化。当某一位置，某一传感器数据变红时，表示环境参数超出阈值范围，此时，监控设备会自动弹出报警信息，发出需对环境远程操控的提示，调节温室内的开关设备，进行通风换气或者遮光等操作。

上文描述的环境监控平台是安装在PC端的监控软件，其作用相当于一台独立的服务器。该软件功能强大，具备众多优势，如安装使用便捷、具备报警提示和查询历史数据功能。在系统的软件设计中，本文还选择能实时监测温室环境数据的485参数配置工具。如下图3.10所示，首先选择对应的串口号，将文本一体机上的RS485通信线接到485转换器上，然后通过USB插入PC端，在设备管理器中会显示该串口号，然后在485参数配置工具中选择相对应的串口号。设备地址可以自定义赋值，原则是将不同的传感器的地址设

定为不同的地址数据，以免造成地址冲突。同样，设备波特率也可以进行自定义更改，需要将此波特率值与人机界面通信时的波特率保持一致。下面的功能栏显示的是该工具可以对各式各样的传感器进行数据监测，本课题选用的是20W光照度温湿度一体传感器。温度、湿度和光照度等参数在下方实时显示出来，十分方便。



图 3.10 RS485 参数配置工具采集数据图

温室监控系统由传感器串口模块传输采集到的温湿度等环境因子建立而成。如图3.11所示。温室监控系统由物联网设备和自动控制部分构成。其中，数据采集模块通过接口与外界构成联系，通过软件编程实现对温湿度等参数的自动控制。简单来说，温室控制系统就是通过将温湿度光照度传感器安装在温室环境中采集数据，通过通信传输协议将采集到的数据传输到监控设备上，控制系统将指令发送到升降温、加湿去湿和遮光补光设备上，进而对温室环境进行调节控制，提高作物产量。

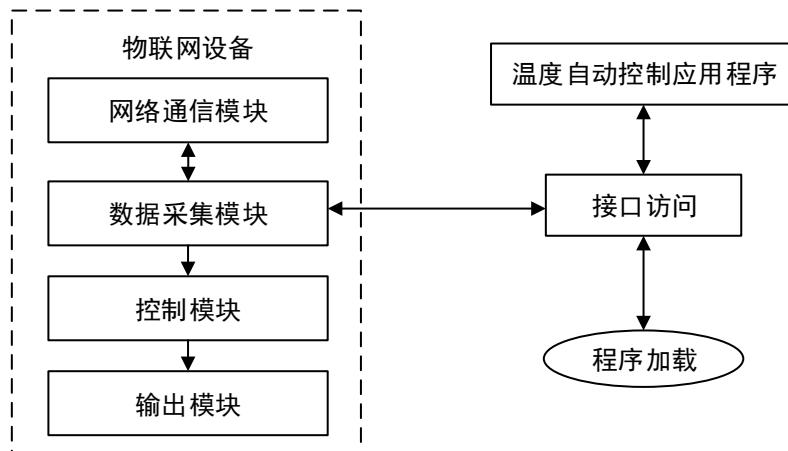


图3.11 温室监控系统控制框图

### 3.4.2 梯形图程序的编写

为实现系统的软硬件通信以及实时监测环境参数，按照表 3.2 的地址分配说明，在 GX Works2 程序编辑软件中设计的部分程序的梯形图如图 3.12、3.13、3.14 所示。其中，图 3.12 为通信程序，图 3.13 为数据监测程序，图 3.14 为控制电机正反转的程序。

表 3.2 PLC 地址端口分配说明

变量名称	对应的 PLC 地址	对应 A/D 端口
空气温度传感器	D8030	
空气湿度传感器	D8031	
光照强度传感器	D8032	
CO <sub>2</sub> 浓度传感器	D8033	485 通讯
土壤温度传感器	D8034	
土壤湿度传感器	D8035	
启动按钮	/	X00
复位按钮	/	X01
手动切换按钮	/	X02
停止按钮	/	X03
遮阳帘电机正转	/	Y00
遮阳帘电机反转	/	Y01
排风扇电机	/	Y02
循环泵电机	/	Y03
光源开关	/	Y04



图 3.12 PLC 程序图 (a)

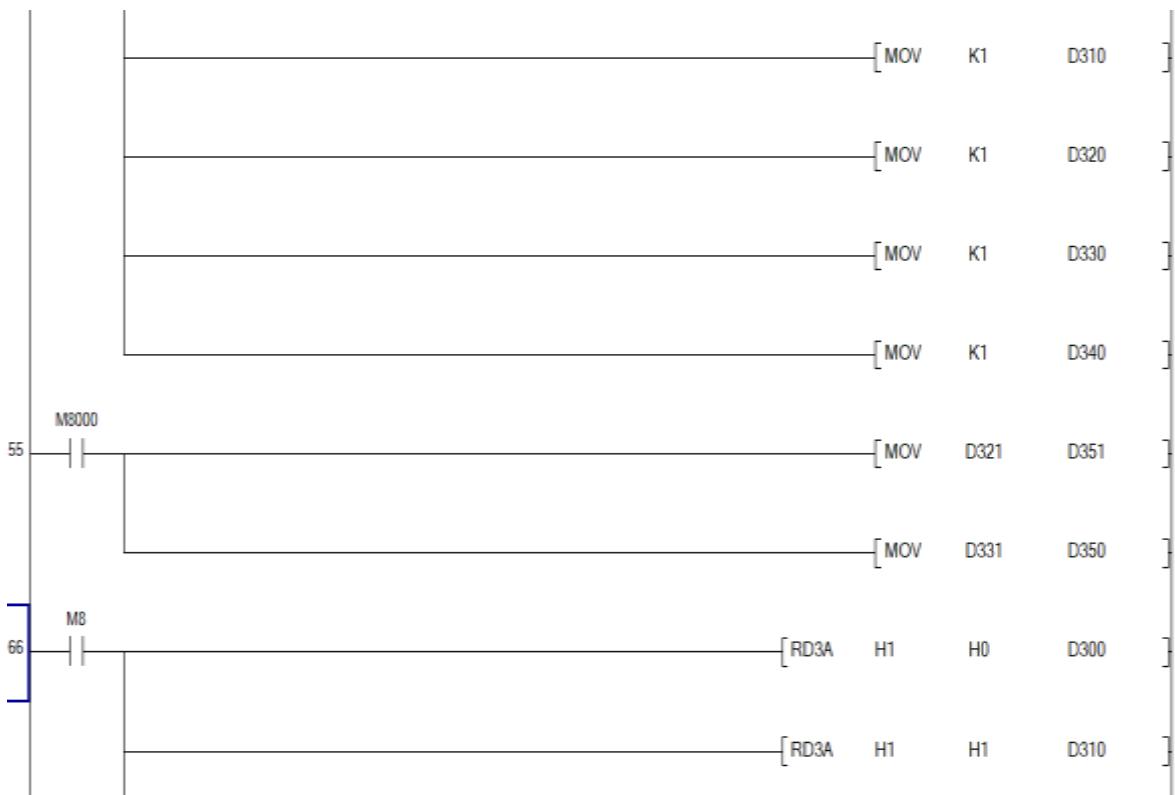


图 3.13 PLC 程序图 (b)

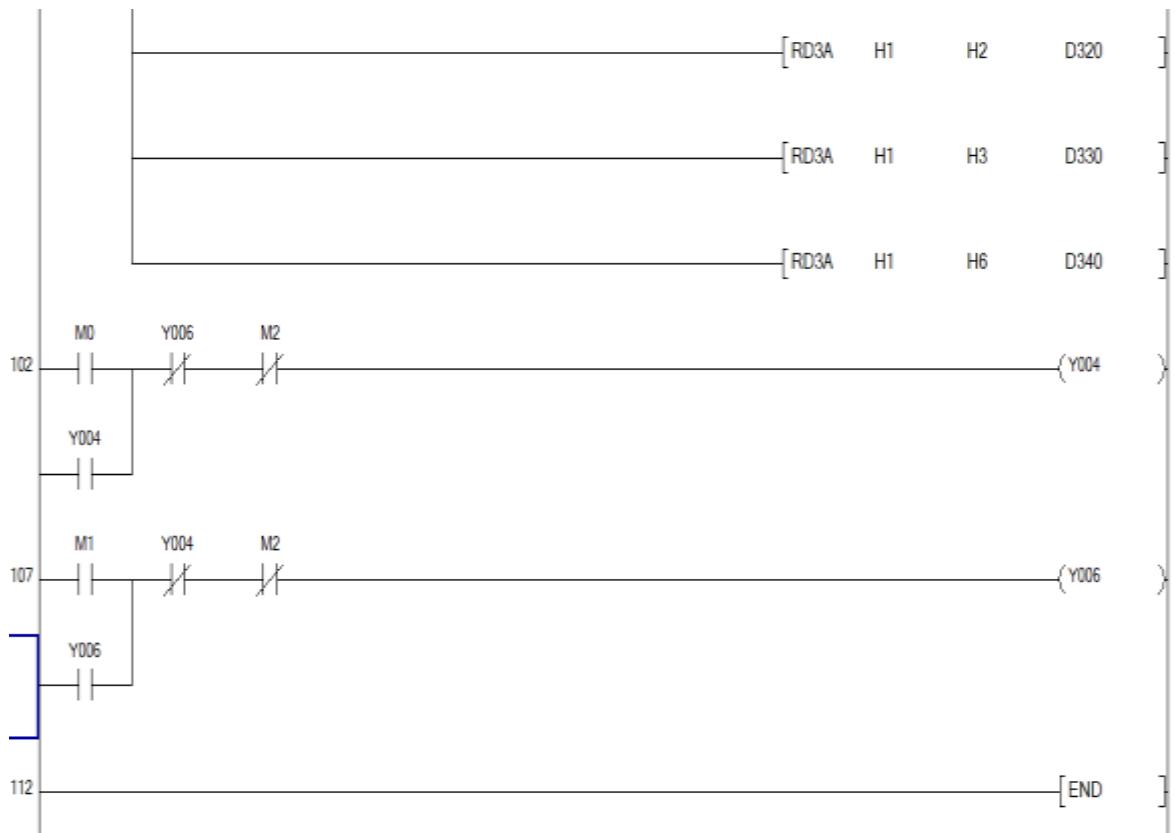


图 3.14 PLC 程序图 (c)

通信程序的控制流程如下，H0E081 D8120 为设置 D8120 为通信参数值，依次往下，设置从机站号，D299=0 在本程序中表示使用串口 2，设置 D300 为读取寄存器的个数，D8121 主从机站号，主机时须设为 255，K10 D8129 设置 RD3A 时通讯超时时间，K20 D8126 设置 RD3A 间隔周期数，SET M8196 中 M8196 置 1 使用串口 2 标志，SET M8125 指使用 ModBus RTU 功能，将 K1 指令分别发送到 D310、D320、D330 和 D340，通信建立后将传感器采集到的温度、湿度、光照强度和 CO<sub>2</sub> 浓度等数据传输到 PLC 终端进行监测，设置 D300 为读取寄存器的个数。控制电机正反转的程序中 M0 表示电机正转，M1 为反转，正转时输出结果由 PLC 触摸屏一体机上的 Y004 控制，与反转时的 Y006 互锁。本文采用控制电机正反转的策略实现对温室内作物的补光和遮阳操作，通过读取温室内的环境数据达到对作物生长的实时监测和优化处理。

### 3.5 本章小结

在该章节中，首先对系统的功能需求进行了说明，然后对系统的可行性做出了分析，介绍了智能温室大棚的传输节点，它由各传感器和接口单元等模块构成。总体介绍了温室大棚的体系结构，同时介绍了传感器和 PLC 一体机的选型及其参数标准和工作原理。然后描述了各个硬件之间通信的建立。通信的成功建立，表示温室大棚监控系统可以正常有效的进行监控工作。最后对温室大棚监控系统开发过程中所用到的各软件的选用依据和工作原理做出了介绍，包括 CoolMay HMI、GX Works2、环境监控平台和 485 参数配置工具。以上对软硬件的开发表明了将物联网技术融入农业领域符合智慧农业建设的需要。

## 4 模糊控制算法

温室大棚作为一种高度复杂的被控对象，它具有多变量、强干扰、强耦合等众多不确定特点。在温室环境内部，温度湿度和光照强度等环境参数之间具有互相制约的作用、它们不是孤立存在，而是互相耦合的。传统的温室控制系统只考虑了部分影响因素，不具备智慧农业的条件，在这种情况下，本文选用较为成熟的模糊 PID 控制，达到了控制效果显著的目的。

### 4.1 温室大棚模糊控制系統

在温室大棚这个复杂环境里，温湿度和光照度等参数备受影响，同时还有一些其他因素如天气状况、自然状况等不可控因素也扮演着极其重要的作用<sup>[54-57]</sup>。传统的PID控制虽然可以在改变比例积分微分系数的情况下适用于控制各种不同的对象，但对于那些像温室环境一般复杂的系统，很难做到精准控制。因此，本文系统引用模糊控制的思想，结合传统的PID控制技术，构成系统的复合结构如下图4.1所示。将温室内的环境数据作为输入量输入到PID控制器中，通过模糊控制识别器的控制作用，实现被控对象高精度输出的目标。通过PID控制器和模糊控制识别功能将采集到的环境因子进行模糊控制，达到调节的目的。

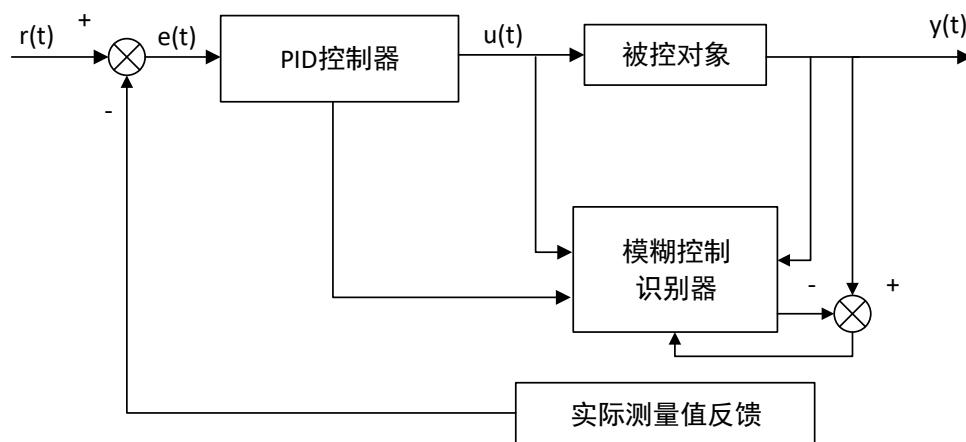


图 4.1 模糊 PID 控制复合结构

模糊控制具备诸多优点，比如：在该控制方法下，与传统的 PID 控制不同，对被控对象没有严格的要求，因为温室大棚内环境过于复杂，搭建准确的数学模型并非易事。因此，该方法对于那些复杂的控制系统可谓无缝衔接，适用性很强。模糊系统的开发环境要求也不是非常严格，可以在计算机端来实现建立模糊系统规则；另外，从稳定性和控制精确性的角度分析，模糊控制要优于 PID 控制。由此可以得知，本课题选用的模

模糊 PID 控制方法优势明显，不仅可以适应不断变化的被控对象数值，而且可以取得比单独使用 PID 控制更优的控制效果。

## 4.2 控制模型与控制策略

模糊控制的工作原理是首先将系统采集到的环境因子，包括温度、湿度和光照强度，输入到模糊控制器中，作为该模糊控制的输入变量，然后对其进行量化分析，输入变量经过量化后生成模糊量，对新生成的模糊量进行模糊推理，按照模糊系统的规则表，得到模糊控制量。但是，这个新生成的控制量不能作为输出变量直接输出，需要经过解模糊成为精确量，从而作为输出变量输出，输出后作用于被控对象<sup>[58~61]</sup>。将以上过程进行多次试验，最终实现模糊控制。简单来说，首先确定该系统的输入变量，即模糊化，然后生成模糊规则表，结合模糊规则表和规则库进行解模糊，最后得出一套完整的模糊控制策略。模糊控制系统模型如图4.2所示。

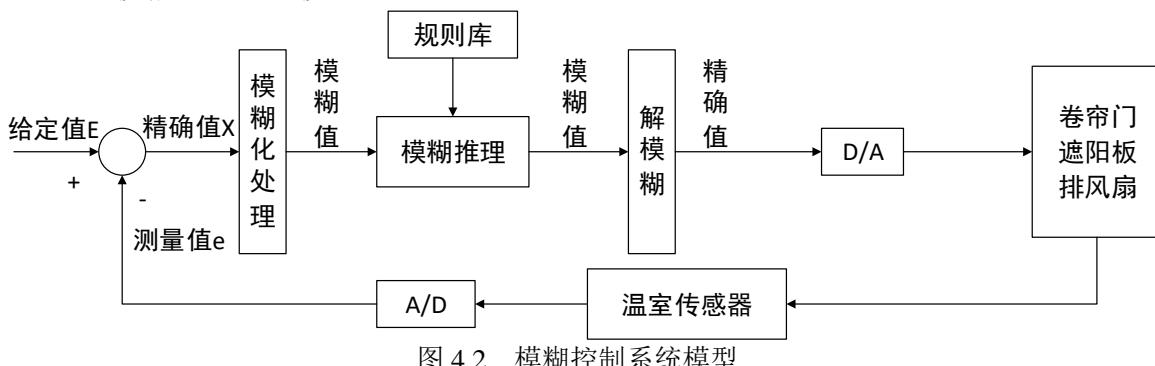


图 4.2 模糊控制系统模型

针对不同的环境，制定了一系列控制策略，具体如下：当温室内发现整体温度过高时，启动降温设备，冬季环境中，关闭遮阳帘，打开排风扇，将室外冷空气与室内空气进行循环交换，待温度达到期望值时，停止操作。在炎热的夏季，当发现温室大棚内气候过于干燥时，打开加湿器，给室内加湿直到温室内湿度与农作物生长环境所需达到平衡为止。当外界环境严重影响室内时，如多日连续阴雨天气或极寒情况，此时需要打开升温设备，保持室内温度平衡。同理，温度过低时执行相反的操作，即温度偏低时需要启动升温设备，如打开遮阳帘引入太阳光，对温室大棚内的天然气升温设备进行升温加热操作，对温室的环境进行锅炉水暖加热或锅炉地暖加热等。当温室内发现整体湿度过高时，启动除湿去湿设备，比如打开排风扇进行排湿换气。同理，当温室内发现整体湿度过低时，启动加湿设备，利用多台加湿器进行联合空气加湿。温室大棚对环境因子的控制流程如图4.3所示，其中，环境信息的采集处理分别包括对温室环境温度、湿度和光照强度的控制。

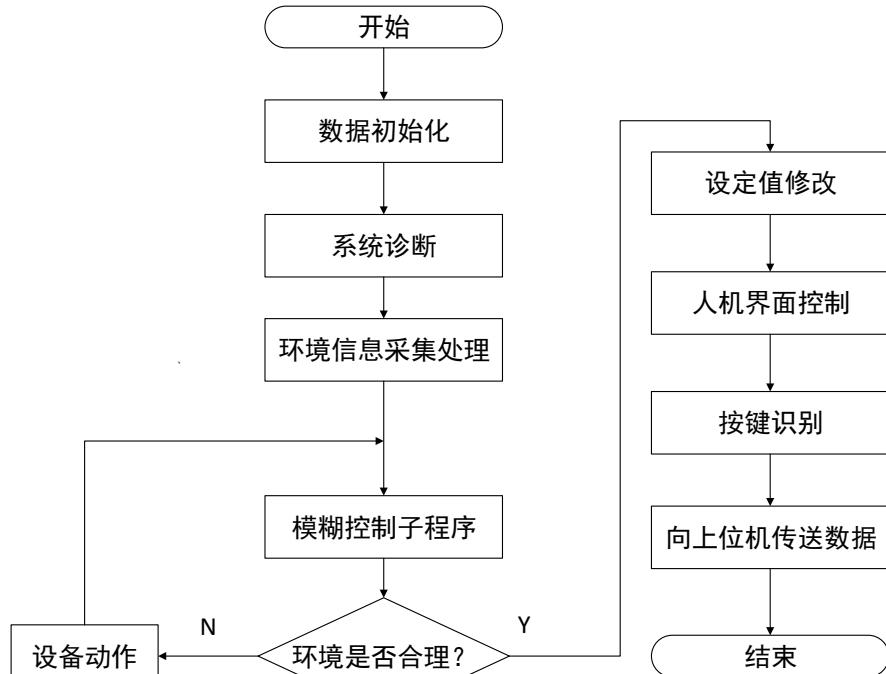


图 4.3 温室环境因子控制流程图

#### 4.2.1 系统对温度的控制

对大棚内的温度进行合理控制，能够实现植物生长的促进作用。温室大棚对温度的自动控制由升温和降温两种方式构成。升温的控制方法包括加热器升温，热风取暖升温，关闭天窗升温等。降温的控制方法包括开窗通风，开动排风扇和喷水设备进行冷却降温等。

系统对温度的控制是通过 A/D 采集单元实现的，该采集单元以光照温湿度变送器为数据采集节点，首先经过传感器对温室环境进行温度检测，当采集单元将温度数据采集回来后，将实际数据与设定值进行比对。如果测量值保持在设定范围内，即执行保持操作。保温的方法可以使用保温覆盖膜，将温室大棚顶部铺上一层保温膜即可实现。当测量值大于设定值时，即温室环境温度过高，此时应执行降温操作，包括开窗通风、遮光降温、蒸发冷却降温、棚顶流水降温等。当测量值小于设定值的时候，即温室环境温度偏低，此时应该执行升温操作。升温的方式也是多种多样，包括锅炉水暖地暖升温、炉灶煤火升温、开热水蒸汽升温、热空调方式升温等。

#### 4.2.2 系统对湿度的控制

湿度控制对温室作物的生长也起着至关重要的作用。对温室环境的湿度控制包括加湿和除湿两种操作。加湿可以用喷雾处理，除湿可以采用自然通风，也可以采用开动排风扇进行操作。

温室大棚湿度自动控制系统是与温度控制系统互相影响的，温室内湿度的控制范围大多在 60%RH-80%RH，上下波动土 5%。由于湿度和温度之间互相制约、存在耦合关系，因此对湿度的调节过程要兼顾温度的变化。温室大棚内部的湿度控制首先是变送器经过采集温室内部湿度数据，进行湿度检测。将采集到的湿度数据与预先设定好的湿度范围进行对比分析，当湿度保持在安全阈值范围内时，保持室内的湿度，不作任何变化。当测量到的湿度值大于设定值时，即温室内的实际湿度偏高，此时，温室内部气候湿润，需要执行除湿操作。除湿方法包括干燥剂除湿法、化学除湿器吸附法、排湿换气法、加热控制法等。同理，当测量到的湿度值小于设定值时，即温室内的实际湿度偏低，温室环境干燥，需执行加湿操作。加湿方式一般为蒸汽加湿、多台加湿器联合加湿和水喷雾加湿等。

#### 4.2.3 系统对光照强度的控制

光照强度对作物光合作用具有重要影响。当光照强度过强或者接受光照时间太久时，需要拉低遮阳帘进行减少光照的操作。当遇到连续阴雨天气或者夜间光照度不足时，需要开启补光灯对植物进行补光操作。通常情况下，大部分作物都需要进行光合作用，尤其是绿色植物。光合作用的过程离不开光照，但并不代表光照强度越高，对植物越有利。植物内部的光合作用通过光照积累有机物，光照充足的情况下，积累速度相对较快。但当光照强度大于临界值时，植物积累有机物的速度便不再提升，反而对植物内部的水分有了一定影响。

温室大棚内部的光照强度控制是首先系统经过传感器中的光敏元件感知温室内部的光照度，然后将光强数值采集回主控器与设定值进行对比。当温室内的光照强度保持在安全阈值范围内时，保持室内光强，不做任何操作。当变送器采集到的光照强度大于设定值时，此时，温室内光强较足，需进行遮光操作。常用的遮光操作有降低温室内的遮阳帘，为部分植物进行套袋处理等。反之，当采集到的光照强度小于设定值时，温室光强较弱，需进行补光操作，打开人工光源延长光照时间。温室大棚内部的智能补光示意如下图 4.4 所示，一般情况下，需要在温室大棚内部打开多个电灯对植物进行补光操作。



图 4.4 温室大棚的智能补光示意图

### 4.3 模糊控制器

#### 4.3.1 模糊化

模糊化过程是构建模糊控制的一个重要环节，该阶段的主要任务是将传感器采集到的温室大棚内的环境参数进行模糊化，模糊化的主要目的是将具体的温湿度等实际输入量变换为模糊量，该模糊量可以与模糊集合进行对应。

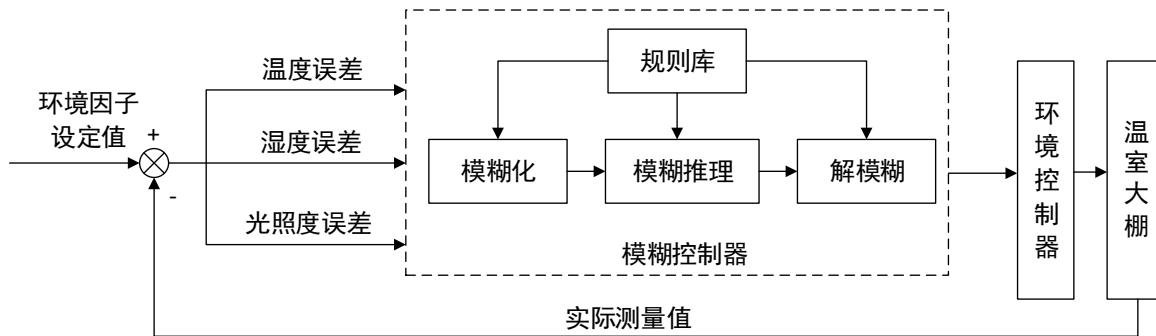


图 4.5 温室环境控制模型

本课题中，重点对温度、湿度和光照强度这三个环境因子进行模糊控制。温室环境控制模型如图4.5所示。温室内对作物生长影响较大的环境因子包括温度、湿度和光照强度，将这些环境参数分别赋值 $E_1, E_2, E_3$ ，传感器实时测得的数据为 $e_1, e_2, e_3$ ，则 $X_1 = E_1 - e_1$ ,  $X_2 = E_2 - e_2$ ,  $X_3 = E_3 - e_3$ ，其中， $X$ 为精确输入量。三角隶属度模糊等级形状如图4.6所示，该模糊控制分为

七个子集，分别为NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB。将输出设备加湿器、遮阳帘、通风扇、补光灯分为三个等级：高输出，低输出，零，然后由实际情况，进行取值操作。该套输入输出设备初步具备了完成模糊化的要求。

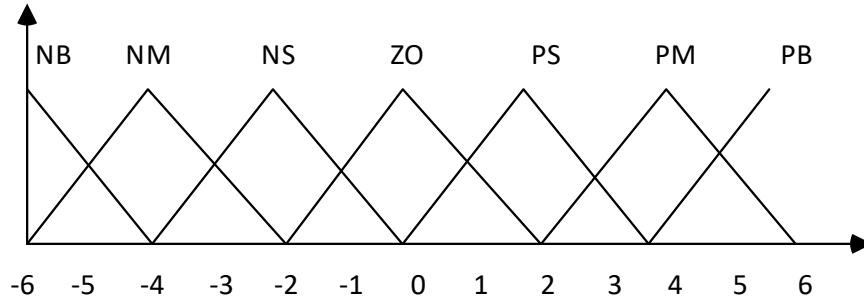


图 4.6 三角形隶属度模糊等级示意图

#### 4.3.2 模糊规则与推理

模糊规则与推理是建立在前文模糊化的基础上进行的，在本课题设计中，对温度、湿度和光照强度进行模糊化的过程，推动了模糊控制的进程。模糊控制规则是模糊控制器的核心部分，它是建立在语言变量的基础上的。模糊规则的正确与否直接影响到模糊控制器的控制性能。而模糊推理是以模糊集合为基础进行实现的，它属于一种不确定性推理，对于智能化开发有重大意义。

模糊控制器的设计原则就是尽可能使该系统的各项性能都趋于稳定，包括动态性能和稳定性。其中，稳定性能是优先考虑的因素。每个系统都或多或少存在误差，当误差较大时，应尽可能将其消除或降到最小，从而保证系统的稳定性。本文对温室内的环境因子模糊化后得出的数据，结合预定期望达到的效果，自适应调节后生成模糊规则表。如表4.1所示。

表 4.1 部分规则矩阵表

X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>
PB	PB	PB	PB	PB	ZO	ZO
PB	PM	PS	PB	PB	ZO	ZO
PB	PB	ZO	PB	PB	ZO	ZO
PM	PB	PS	PS	PB	ZO	ZO
PM	NB	ZO	PS	PS	PB	ZO
NM	PB	PB	PS	ZO	ZO	ZO
NS	NB	NS	ZO	ZO	PB	PS
NS	NB	PS	PS	ZO	PS	ZO
NB	ZO	NS	ZO	ZO	ZO	PS
NB	NB	PB	PS	ZO	PB	ZO

注：X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>分别代表温度、湿度、光照强度；Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>, Y<sub>3</sub>, Y<sub>4</sub>分别代表遮阳板、排风扇、喷雾机、人工光照。

模糊推理一般由两部分组成，一部分是将该模糊控制器的输入与模糊规则中的内容进行比较，根据比较得出适用于此系统的部分，然后得到这些规则的确信度。另一部分是通过之前得到的确信度从而得出模糊集合。

根据该模糊控制系统的输入和输出，对其模糊关系进行模糊推理，可以得到相应的模糊状态。推理机制表示如下：IF...is...and...is...THEN...is...。

蕴含的模糊关系为：

$$R = (A_1 \times B_1 \times C_1) \times Y_i \quad (\text{式4.1})$$

隶属度的运算规则算法为：

$$\mu_R = (A_1, B_1, C_1, Y_i) = \bigvee_i [\mu_{A_i}(X_1) \wedge \mu_{B_i}(X_2) \wedge \mu_{C_i}(X_3) \wedge \mu_{Y_i}], i=1,2,3,4 \quad (\text{式4.2})$$

由此可得推理机制：

IF  $X_1$  is PM and  $X_2$  is PB and  $X_3$  is PS THEN  $Y_1$  is PS and  $Y_2$  is PB and  $Y_3$  is ZO and  $Y_4$  is ZO.

由此推理机制可知，当温度误差为PM，湿度误差为PB，光强误差为PS时，该监控系统控制遮阳帘关闭，即此时植物不需要补光，不需要加湿。

由于温湿度之间存在强烈的耦合关系，本文采用模糊补偿解耦的方法对其进行解耦。模糊解耦就是把采集得到的温度、湿度和光照强度等环境参数，作为模糊控制系统的输出变量，然后对该变量进行推理，得到对应的模糊补偿输出。当温室大棚内部温度过高时，对湿度的影响就可以忽略，此时系统对湿度的补偿相对来说较小。温度较低的时候，对湿度影响较大，因此补偿也需求大。同理，当湿度增大的时候，对温度影响较小，可以忽略温度带来的影响，补偿温度需求低。而当湿度减小的时候，对温度影响较大，因此对温度的补偿也比较大。

### 4.3.3 解模糊

在实际应用的过程中，因为模糊控制量不能直接输出，为了将其顺利输出，需要将上文所描述的模糊推理控制量，经过相应操作，转变成精确控制量。这一转变过程即为解模糊，或者称作反模糊化。对输出信号进行模糊控制是解模糊的最终目的，为完成这个过程需要对模糊集合进行解模糊。解模糊可以通过很多方法进行解决。在本课题中，解模糊采用能够包含所有输出元素信息的重心法，该法可以精确感知输入信号的细微变

化，并且能够使输出的控制过程相对平滑。将模糊曲线函数在坐标轴上与横坐标围成的面积的重心作为最终值输出，这种方法被称为重心法。其计算公式如下：

$$u = \sum X_i \cdot \mu(X_i) / \sum \mu(X_i) \quad (\text{式4.3})$$

经过解模糊的过程可以得到该模糊控制器的输出变量。要想得到系统实际的控制输出，只需将温度、湿度和光照强度等参数模糊控制输出和对应的模糊补偿解耦输出进行合成即可。

#### 4.4 本章小结

通过之前章节的技术研究以及系统的整体开发，本章在其基础上引入了模糊控制算法。首先介绍了模糊控制系统的开发背景和原理，讲述了温室大棚是一个复杂多变的环境，无法对其进行精准控制，因此选用模糊控制。确定了控制方式后，对控制的模型与策略进行了详细讲解，采取分别对温湿度等环境参数控制的方式。最后经过对环境参数的模糊化，模糊规则与推理，解模糊等步骤，搭建了一套完整的模糊控制器，实现了对温室环境的模糊控制。

## 5 温室大棚智慧系统调试与实现

### 5.1 系统整体实现方案

温室大棚智慧系统的整体设计方案按照上文提到的设计原则进行分层设计，物联网系统组成的结构示意如图5.1所示，该系统由作为终端数据采集的数据采集层、网络传输节点的网络传输层、远程监控系统的终端应用层组成，用户直接与终端应用层实现对话，通过监控终端实现对温室的远程监控。从系统的需求分析和实际出发，本着系统减少亲和度的原则，实现系统功能模块化，提高系统的可维护性。

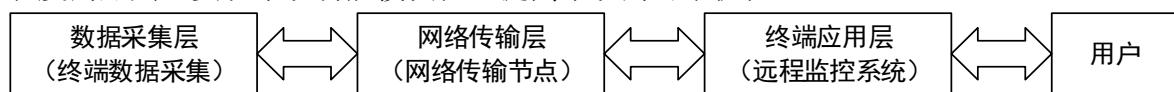


图5.1 物联网系统组成结构示意图

#### 5.1.1 数据采集层的设计与实施

数据采集层的设计是物联网架构中十分重要的组成部分，又被称作数据感知层。它的作用相当于人体的“五官”或“皮肤”。该层主要职能就是让各种功能传感器按一定的时间频率进行数据采集，包括温室大棚中空气的温度、湿度、光照强度等现场数据，利用无线传感器节点对数据进行收集，同时也对温室大棚中的灯光、喷淋、顶棚遮帘等进行反馈控制。

数据采集层的功能主要依靠传感器进行实现，温室环境控制系统中主要用到的传感器包括温度传感器、湿度传感器和光照强度传感器，本文选用了具备这三种功能的光照温湿度变送器，主要实现对温室环境信息的采集，对周围环境的监测。对于温室环境中的作物而言，不同类型的植物对环境的要求也不尽相同。考虑这一点，本文建立了自动遮阳系统。遮阳设备的启动不仅能够降低温室环境的温度，而且还可以对幼小植物或者不需要强光照射的植物给予一定的保护。另外，在气温较低的恶劣天气或者冬季环境中，遮阳设备还可以充当温室环境保温被的角色，阻止大棚内温度的散失，同样起到对温度控制的作用。

温室大棚内的传感设备必须具备足够的功能，比如感知环境数据，采集环境信息，处理采集到的信息等。数据采集层的工作流程如图5.2所示。

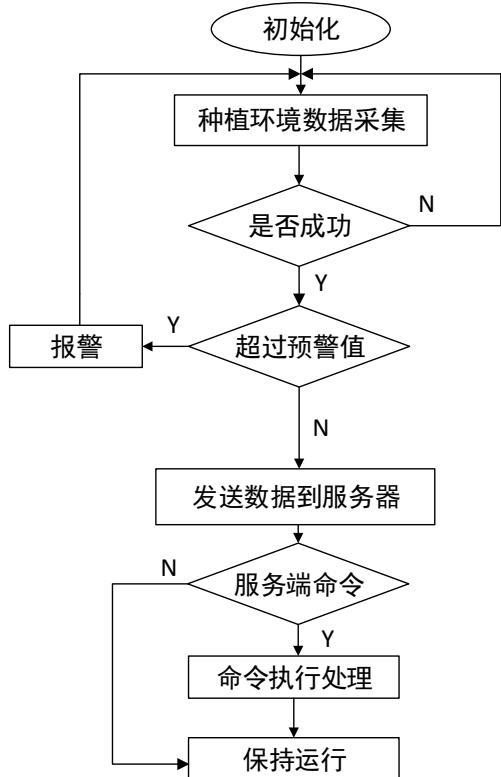


图 5.2 数据采集层的工作流程图

### 5.1.2 网络传输层的设计与实施

网络传输层在整个物联网架构中的作用相当于人体的“中枢神经”。该层的主要职能是以基站为中转站，可靠安全地将传感器节点接收的各种数据通过互联网发送到服务器，同时也随时接受来自客户端的控制指令，实现上行的信息数据和下行的控制数据传输。数据通过互联网传输到后台服务器存储，因此，管理人员或者工作人员可以通过办公室中监控显示器查看大棚现场环境数据，也可以通过远程登录实时了解种植环境和条件的变化并做出合理的处理。本网络层主要实现两种通信协议，分别是 RS485 通信协议和 Modbus RTU 通信协议，也是连接温室大棚内各种传感器和控制节点的网络协议。

网络传输层的职能就是构建一个可靠安全桥梁，连接温室大棚现场和后端的服务器，对系统数据进行实时传输，保证采样数据能正确传到并存储在服务器中，保证控制指令能及时操作控制节点的工作。温室大棚内的直接采集的是模拟信号，为了让计算机进行处理必须通过数模转换器获得数字信号，其步骤如图5.3所示。最后，系统还需要增设报警功能。当传感器的采样数据值超出了系统的预设值，可以通过在温室大棚内悬挂触摸屏显示进行报警，或者通过网络向手机用户发送信息提示，以方便管理员及时处理。

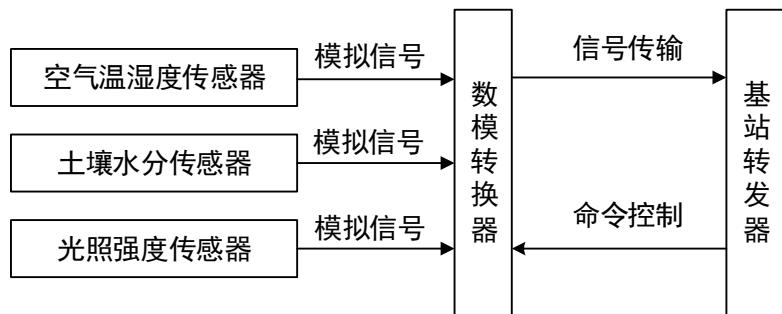


图 5.3 数模转换步骤

### 5.1.3 终端应用层的设计与实施

终端应用层在物联网架构中的作用相当于人体当中的“手脚”，用来去实现，去实践，去应用。该功能层主要职能是操作人员通过远程终端登录系统，根据用户权限，在权限范围内对各种数据进行实时监测、向控制节点发送指令，查询历史记录、设置报警阈值等。应用层可通过触摸屏应用程序界面展示应用，向用户提供良好的操作界面。在本层的设计中，利用物联网技术开发了远程监控系统，该系统可以通过触摸屏文本一体机实现对温室大棚种植园区内的各种传感数据的查询功能以及各感知节点的远程控制功能，让用户真正做到足不出户，便可以对温室大棚中的植物进行补光，升温等操作。其中，计算机远程单机监控系统通过运行项目开发的软件与远程网关直接互联，实时监控远程感知节点数据和控制节点操作。

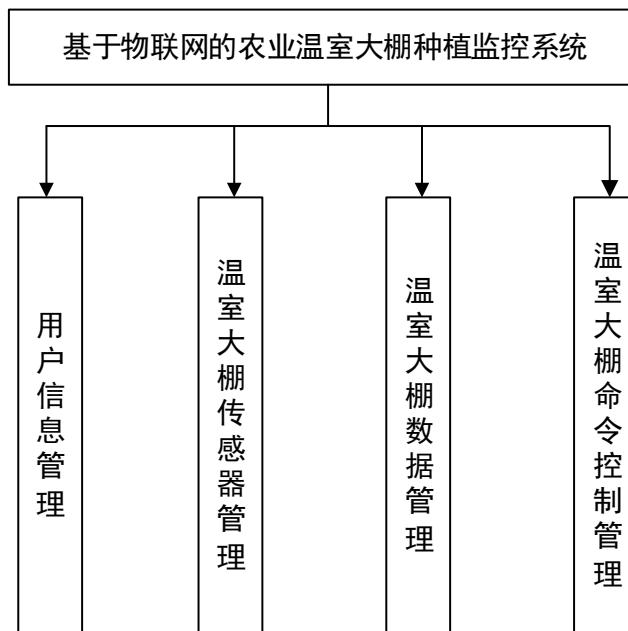


图 5.4 温室大棚监控系统的功能模块示意图

监控系统如图5.4所示，主要包含了四个子功能模块，分别为用户信息管理、传感器信息管理、传感数据管理和温室命令控制管理。用户信息管理模块的功能是针对用户进行服务的，它可以管理用户的权限，对用户的登陆时间或者操作行为进行记录。传感器管理模块的功能是实时监测温室环境内传感器的工作状态，对传感器的分布、型号等信息进行监管。数据管理模块的功能是对传感设备采集到的数据进行记录和保存，这是农作物高效种植经验的最原始数据，可以对比分析农作物生长的最优条件。该模块还具备手动设定环境安全阈值的功能。命令控制管理模块的功能是对系统进行命令发布，控制管理，在用户登录该控制系统时，对其进行信息登记，登记的同时也可以进行控制调整的命令。

## 5.2 系统的功能测试

### 5.2.1 系统设计的主控界面及其工作原理

温室大棚远程监控界面如图5.5所示，其中包括温度显示，湿度显示，光照强度数据显示和CO<sub>2</sub>浓度显示。实时数据的显示可以实现远程监控温室大棚内部环境的功能。另外，该监控界面还包含通风风扇、遮光卷帘和补光灯三个功能按钮，通过点击通风风扇置ON按钮可以实现温室环境通风换气，降温和改变CO<sub>2</sub>浓度等操作。而关闭遮光卷帘的作用即将温室大棚内的遮阳帘由原来的遮阳状态转变到补光状态。当遇到阴雨等极端天气状况或夜晚需要光照时，自然光无法满足温室内农作物的生长需求，此时需要打开补光灯进行人工光源补光。

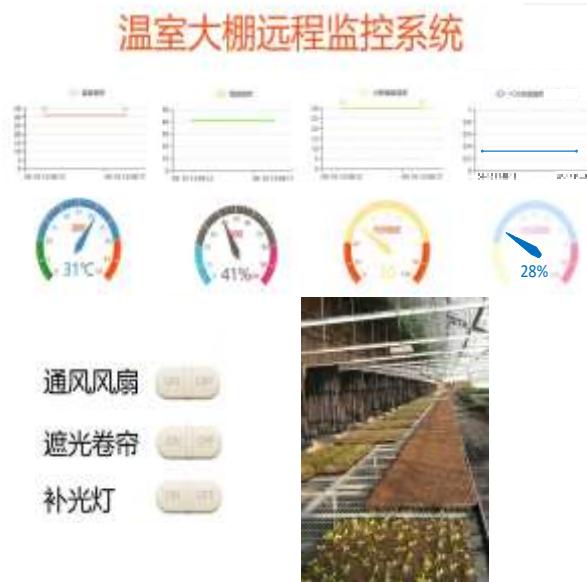


图 5.5 温室大棚远程监控系统示意图

温室大棚监控示意如下图5.6所示，用户可以不必亲临种植现场，只需借此实验平台即可完成对温室环境的数据监测和远程操控。



图 5.6 现场监控示意图



图 5.7 智能放风系统

为实现智能温室大棚的监控系统功能，温湿度间互相制约的因素应考虑在内，即温湿度的耦合关系。夏季炎热环境中应优先考虑湿度，夏季气候湿润，湿度过大时，应打开去湿干燥设备，当环境中的湿度达到平衡后再考虑温度的调节。同理，冬季气候干燥，温度偏低，应优先考虑温度，再满足湿度条件。由此开发温室大棚的智能放风系统，如图5.7所示，该系统包含多个传感器及开关，由于多个传感器共同作用，并通过物联网模块将采集到的数据信息传递到终端进行处理，终端设备会按照预先设定好的作物生长条件进行智能放风操作。不但能提高作物的生产效率，而且可以节省人力物力。



图 5.8 移动终端智能放风系统

移动终端的智能放风监控系统如图 5.8 所示。在温室大棚不同的位置放置三个传感器，分别监测不同位置的温度和湿度。同时放置四个输出开关，分别控制遮阳卷帘、通风风扇、灌溉循环水泵和人工光源。当不同位置的同一种植物监测到的温湿度数据差异较大时，需要人为操作对温室环境进行干涉。即当温度或湿度不符合作物生长的适宜范围时，需进行相应的调整。

### 5.3 控制测试的结果

由 CoolMay HMI 软件开发的智能监控系统页面如图 5.9 所示，通过变送器对温室环境数据的采集，将温度、湿度和光照强度在 RS485 通信协议下，把采集到的模拟量转换为数字量，然后经过 HMI 画面设置实时显示到触摸屏上。通过两个继电器，将一个功率

80W，电压 24V (DC) 的电动卷膜器连接到 EX3G 一体机上，然后进行程序通信，当按下绿色按钮电机正转时，电动卷膜器会进行正转操作，进而带动卷帘门控制植物的光照强弱。同理，按下红色按钮电机反转时，同样可以带动风机反向转动进而提供植物生长所需要的 CO<sub>2</sub> 浓度以及 O<sub>2</sub> 浓度。该智能监控系统还包括对土壤内部温度和湿度的检测传感器，当温度、湿度或者光照强度某一项参数严重超标时，机器会通过程序进行报警，否则，显示机器运转正常。



图 5.9 智能控制系统图

在实验室搭建由上位机控制系统和下位机控制柜组成的实验平台，该系统的控制流程是光照温湿度变送器采集周围环境的温度、湿度以及光照强度，通过 RS485 通信将采集的模拟量转换为数字量，通过 HMI 画面设置实时显示到触摸屏上。当温度、湿度或者光照强度等参数完全符合植物生长要求时，系统会自动记录数据信息，并保存到历史数据中，根据系统生成的历史曲线得到植物生长的最适宜环境。

由实验数据可得：温度为 30℃，湿度为 60%RH，光照强度 300Lux 为实验作物最适宜生长的环境。当温室内传感器监测到的环境数据为温度 35℃，湿度 80%RH，光照强度 5000Lux 时，需要进行差值运算。由模糊 PID 控制的操作步骤得到的模糊规则为 PM，ZO，NS。此时，经过模糊规则表演算，需进行降温、去湿和遮光操作，打开排风扇、遮阳板和加湿器。

## 5.4 对控制结果的分析

通过以上实验可以得知：上位机可以显示并监测到大棚内的温湿度和光照度等参数，实时并高效的掌握温室内环境的变化。下位机可以准确的采集环境数据，并将其传输到监控设备上。



图 5.10 移动终端监控温室界面示意图

本文采用的模糊 PID 控制策略可以根据各环境因子的变化实现自适应调节，从而达到智能控制的目的。该监控系统由一套完备的 PLC 触摸屏设备实现对温室内作物的温湿度光照度等参数监测和远程操控，根据其强耦合性和时滞性对温湿度光照强度等参数进行有效控制，并针对其耦合关系进行解耦控制。移动终端的温室监控如图 5.10 所示，根据实时显示的数据进行自适应调整。结果表明：基于模糊 PID 的解耦控制能使该系统稳定运行，并且提高了控制的高效性，满足了温室大棚智能控制的要求。

## 5.5 本章小结

本章从需求分析和实际应用场景出发，构建了该智能温室大棚的整体框架，分别从数据采集层，网络传输层和终端应用层进行课题的设计与开发，同时建立了对温度，湿度和光照强度等几个环境因子控制流程。实现了控制环境阈值设置，和控制管理系统对用户操作指令进行登记和调整。另外，还给出了本系统的测试结果以及分析，验证了模糊控制算法可以对温湿度耦合关系进行解耦，对温室大棚的智能控制做出了进一步的完善。

## 6 总结与展望

### 6.1 总结

本文深入研究了基于物联网技术的智能温室大棚监控系统，通过构建系统的数据采集层、网络传输层和终端应用层，设计实现了一套能够完成环境因子数据采集、自动上传、预警报警、后台操作和管理以及远程操控等功能的智能温室大棚监控系统。本系统通过光照温湿度变送器，在RS485通信协议下，与上位机PLC与触摸屏一体机达成有效通信。实时获取温室内的各类环境参数，通过电机的转动，实时自动或手动控制温室大棚内的遮阳帘、排风扇和加湿器等相关设备，为温室内作物生长的最佳环境提供了有力的支撑，由此可以实现对作物产量和质量的保证。该系统结合了国内外温室大棚监控系统的现状，通过不断调试和测试，最终实现了温室栽培的生产智能化，且控制效果显著，控制性能良好，控制系统相对稳定，开发环境易于操作。该系统的成功开发，使得温室内的种植和生产管理变得更加高效和直接。在提高管理效率的同时，还能更加直观全面和及时的监控和操控整个种植环境，为温室环境的管理人员提供更便捷的服务和技术支持，提高了作物的产量和品质，解脱了距离对控制的束缚，解放了人力物力。在国内的温室大棚种植行业中大力宣传，发展和使用该系统，可以对中国传统的农耕方式进行升级改造，进而达到节约种植资源，节约生产成本的目的。另外，该系统的成功开发也为我国的农业发展方向提供了参考依据。

论文完成的主要工作如下：

- 1、分析了国内外对于温室大棚控制系统的研究，针对最新出现的几种控制系统，充分考虑我国农村温室大棚的现状，设计了此套基于物联网技术的智慧农业监控系统，实现了对温室大棚的智能监控。
- 2、介绍了PLC一体机，光照温湿度变送器，RS485串口协议，对上位机HMI软件从建立画面开始到实现所有功能的有关步骤进行了详尽的叙述。PLC触摸屏一体机与传感器建立通信就可以实时监控大棚的所有数据，并自动控制设备的运转。
- 3、利用ZigBee无线通信技术和GPRS网络模块开发无线传感器及移动终端应用程序，做到了足不出户便可对温室大棚进行远程监控和操控。
- 4、考虑大棚内各环境因子之间的耦合关系，对温湿度之间的强耦合性进行了有效分析，在不同的情况下，针对参数复杂多变的温室环境，引入模糊控制的思想，进行了解耦合操作。

## 6.2 展望

虽然本文建立了温室大棚智能监控系统，并且通过模糊控制，改善并优化了控制方式，但由于研究时间有限，专业水平不足，仍存在些许问题与不足。比如温湿度耦合关系研究不成熟，缺乏实际考察；雨雪等极端天气特殊情况考虑不充分，研究样本较小；PLC 一体机触摸屏的用户界面设计不够直观美观，实际应用投入力度不足，实践水平有待提高。希望在未来的开发和维护的过程中予以修改和调整。同时，在环境背景下，还有如下方面需要完善：比如基础设施不成熟、资金投入力度不足、专业技术人员不足等。

在当前这个物联网技术应用水平有限的社会背景下，我们要加大力度发展物联网的应用，加强基础设施的建设，加大资金投入力度，尽可能多的培养专业技术人员，在现有的基础上，结合我国农业发展的特点，建立相关数据分析协调机制，进一步完善智慧农业的发展。在国家和政府更加坚定发展智慧农业的基础上，通过资金和政策的大力支持，鼓励更多的人参与到智慧农业的研究领域。联合各农业高校和科研院所，以智慧农业的研究为核心，着重培养一批懂农业、懂技术的专业人才。将传感器技术、物联网技术和无线通信等先进技术及时向农户做培训，加大质量监测、精准种植和业务信息化的联合培养。

伴随着信息时代的不断发展，物联网技术在日常生活中扮演着越来越重要的角色。作为一个人口大国，要想实现粮食产量自给自足，必须大力发展农业智能化，进一步优化温室控制技术。身处在这个科技不断发展的时代，物联网和智慧农业也会随之不断进步。

## 参考文献

- [1] 吴旭,潘华.基于农业物联网技术的智慧农业研究进展[J].农家参谋,2020(17):236.
- [2] 李楠,杨洋,李蔚然,郝宇,张阳.浅析我国智慧农业发展中存在的问题及对策[J].北方水稻,2020,50(04):48-49+61.
- [3] 付佳,安增龙.基于农业物联网技术的智慧农业研究进展 [J].现代农业科技,2020(05):232-233+235.
- [4] 秘立鹏,宋建成,王天水,郑丽君,范建年.设施农业温室大棚网络型自适应控制系统的开发[J].农机化研究,2014,36(07):124-128.
- [5] Muhammad Waleed,Tai-Won Um,Tariq Kamal,Aftab Khan,Adil Iqbal. Determining the Precise Work Area of Agriculture Machinery Using Internet of Things and Artificial Intelligence[J]. Applied Sciences,2020,10(10).
- [6] 续文敏,韩芳芳,赵岩,杨雷,沈乐乐.基于物联网的农业温室大棚多参数监控平台设计[J].自动化仪表,2019,40(03):50-54.
- [7] 刘灏.基于物联网技术的智慧农业发展策略研究[J].电子测试,2017,(24):57-58.
- [8] 蔡程程.基于物联网的智慧农业技术研究[J].数字通信世界,2018(03):62.
- [9] 苗德伟.基于物联网技术的智慧农业发展策略探究[J].新农业,2019(08):36.
- [10] Fang Wu,Junhai Ma,Youssef N. Raffoul. Evolution Dynamics of Agricultural Internet of Things Technology Promotion and Adoption in China[J]. Discrete Dynamics in Nature and Society,2020,2020.
- [11] 段淑萍.物联网技术在智慧农业中的应用及模式[J].电子技术与软件工程,2019(08):19.
- [12] 荆添,菅洪生,付丽华.基于物联网技术的温室养殖监控系统的设计与实现[J].农村实用技术,2019(06):61.
- [13] LI Q,WU H. Research on vegetable growth monitoring platform based on facility agricultural IOT[M]. Singapore(Springer):2017
- [14] Chunling Li,Ben Niu. Design of smart agriculture based on big data and Internet of things[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks,2020,16(5).
- [15] 王昆,贺海育.基于物联网技术的智慧农业大棚监控系统研究 [J].粘接,2019,40(08):183-186.
- [16] 徐晓雨,张旭,朱勇.基于物联网技术的智慧农业监控系统设计[J].信息记录材料,2018,19(05):100-102.

- [17] 何林婷.基于物联网技术的智慧农业发展策略探讨[J].农业与技术,2019,39(12):24-25.
- [18] 钟国荣,吴世海,鲍义东,王蓉.基于物联网技术的智能温室大棚控制系统[J].电子技术与软件工程,2019(08):238.
- [19] 谢光亚,尹锐.高产优质高效农业是我国农业发展的战略选择[J].湖南农业科学,1993(01):1-3.
- [20] 唐浩强.物联网技术在智慧农业中的应用与展望[J].南方农业,2020,14(21):182-183.
- [21] 周杰,刘宝,徐梦颖,等.智慧农业工程中的物联网、算法分析及设计技术[J].科技与创新,2019(22):50-51+54.
- [22] Andrei B.B. Torres,Atslands R. da Rocha,Ticiana L. Coelho da Silva,José N. de Souza,Rubens S. Gondim. Multilevel data fusion for the internet of things in smart agriculture[J]. Computers and Electronics in Agriculture,2020,171.
- [23] Sebastian Terence,Geethanjali Purushothaman. Systematic review of Internet of Things in smart farming[J]. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies,2020,31(6).
- [24] 乔恒博.智慧农业发展中物联网技术在设施农业中的应用[J].乡村科技,2019(20):125-126.
- [25] Nebojša Gavrilović,Alok Mishra. Software architecture of the internet of things (IoT) for smart city, healthcare and agriculture: analysis and improvement directions[J]. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing,2020(prepublish).
- [26] 黄柔.基于物联网的温室大棚种植监控系统的研究与设计[D].山东:山东大学,2016.
- [27] 赵翠芹,蒋联周,闫列友,等.基于物联网技术的智慧农业系统的设计与实现[J].电脑知识与技术,2018,14(10):103-105.
- [28] 王建平,房振宏,焦翠玲.基于物联网技术的智能蔬菜大棚构建[J].广东农业科学,2011,38(05):200-201.
- [29] 罗桂兰,张陈莉,许艺东,等.基于物联网的智能温室实时监测系统设计[J].安徽农业科学,2012,40(07):4389-4392.
- [30] 刘璐,刘光伟.关于物联网的设施农业温室大棚智能控制系统的研究[J].科技资讯,2018,16(24):95-96.
- [31] 王峰.基于物联网的农业大棚温度自动控制系统设计 [J].现代电子技术,2017,40(13):152-154、158.
- [32] 黄颖,张伟.基于物联网的智慧农业监控系统[J].物联网技术,2017,7(04):33-34.

- [33] Shadi AlZu’bi,Bilal Hawashin,Muhannad Mujahed,Yaser Jararweh,Brij B. Gupta. An efficient employment of internet of multimedia things in smart and future agriculture[J]. *Multimedia Tools and Applications*,2019,78(20).
- [34] 彭磊.基于物联网技术的智慧农业实施方案分析[J].*无线互联科技*,2015(21):34-35.
- [35] 关于加快推进农业机械化和农机装备产业转型升级的指导意见[J].*中国农村科技*,2019(12):23.
- [36] 王艳红,罗锡文.智慧农业是中国农业未来的发展方向[J].*农业机械*,2020(07):62-63.
- [37] 尹丽.物联网在智慧农业中的应用探析[J].*现代农业研究*,2020,26(09):36-37.
- [38] 张海兰,雷桂平.基于物联网的智慧农业大棚系统架构设计 [J].*信息记录材料*,2018,19(02):63-64.
- [39] 万雪芬,郑涛,崔剑,等.中小型规模智慧农业物联网终端节点设计[J].*农业工程学报*,2020,36(13):306-314.
- [40] Partha Pratim Ray. Internet of things for smart agriculture: Technologies, practices and future direction[J]. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*,2017,9(4).
- [41] 时生乐,魏素盼.基于 LoRa 技术的智慧农业监控系统研究 [J].*时代农机*,2020,47(02):105-106.
- [42] 赵强. 草莓种植温室自动化监控系统的设计与实现[D].北京工业大学,2016.
- [43] Benahmed Khelifa, Douli Amel, Bouzekri Amel. Smart irrigation using internet of things.[C] International Conference on Future Generation Communication Technology. IEEE, 2015.
- [44] 王逸鹏,张激.基于 ZigBee 的互联网+智慧农业系统设计[J].*单片机与嵌入式系统应用*,2021,21(01):76-79.
- [45] 宋俊廉,臧翔.基于 ZigBee 承载 ModBus-RTU 的智慧农业监测数据传输网络设计[J].*智能计算机与应用*,2020,10(07):247-249.
- [46] 张成年.基于物联网的智慧农业大棚系统的研究与实现 [J].*新疆农垦科技*,2016,39(01):55-57.
- [47] Chavero Navarrete Ernesto,Trejo Perea Mario,Jáuregui Correa Juan Carlos,Carrillo Serrano Roberto Valentín,Ronquillo Lomeli Guillermo,Ros Moreno José Gabriel. Pitch Angle Optimization for Small Wind Turbines Based on a Hierarchical Fuzzy-PID Controller and Anticipated Wind Speed Measurement[J]. *Applied Sciences*,2021,11(4).
- [48] 孙仟臻,张松伟.浅析物联网时代下的智慧农业[J].*科技经济导刊*,2017(15):24.

- [49] Hu Wenjun,Ma Xuan. Research on design and development of home virtual system based on internet of things system[J]. Microprocessors and Microsystems,2021,82.
- [50] 龚瑞昆,田野.模糊控制在 ZigBee 物联网智慧农业大棚中的应用[J].现代电子技术,2020,43(08):93-96+100.
- [51] 陈慧,欧阳兵,孙丽娟,朱伟,张震宇.数据融合及模糊控制在温室大棚的应用研究[J].浙江科技学院学报,2020,32(03):197-202.
- [52] Dongpo Li,Teruaki Nanseki. Empirical Analyses on Rice Yield Determinants of Smart Farming in Japan[M]:2021-02-26.
- [53] Zeng Wenjie,Jiang Qingfeng,Liu Yinuo,Yan Shoujun,Zhang Guangchun,Yu Tao,Xie Jinsen. Core power control of a space nuclear reactor based on a nonlinear model and fuzzy-PID controller[J]. Progress in Nuclear Energy,2021(prepublish).
- [54] 梁竹君. 基于模糊控制的温室大棚光度测控系统设计 [J]. 南方农机,2020,51(12):146-148.
- [55] 石征锦,谢峰,刘子弘,王博伦,张文娇.基于自适应模糊 PID 物联网智慧大棚控制系统的研究[J].现代制造技术与装备,2020(01):1-3.
- [56] Wang Yuzhong,Wei Min,Hu Xue,Jiang Minghong,Zhang Lixin,Gawin Dariusz J.. Research on Variable Universe Fuzzy PID Control Strategy of Pipe Lining Induction Heating System[J]. Modelling and Simulation in Engineering,2020,2020.
- [57] Manap Hany Hazfiza,Abdul Wahab Ahmad Khairi,Mohamed Zuki Fathiah. Control for Carbon Dioxide Exchange Process in a Membrane Oxygenator Using Online Self-Tuning Fuzzy-PID Controller[J]. Biomedical Signal Processing and Control,2021,64.
- [58] 刘亚伟,薛鹏.基于模糊自适应 PID 控制的温室大棚控制策略研究[J].科技与创新,2018(04):41-43.
- [59] 张奇. 基于 Android 平台蝴蝶兰大棚温湿度测控系统的设计与实现[D].安徽:安徽农业大学,2016.
- [60] Goel Raj Kumar,Yadav Chandra Shekhar,Vishnoi Shweta,Rastogi Ritesh. Smart agriculture – Urgent need of the day in developing countries[J]. Sustainable Computing: Informatics and Systems,2021,30.
- [61] 魏雨飞.基于模糊 PID 的温室温度控制系统设计[J].中国新通信,2018,20(02):218-220.

## 在学研究成果

### 一、在学期间参与的科研项目

- [1]稀土熔盐电解智能化生产开发与应用（2019Z3004-7）
- [2]稀土光源在设施农业中的应用及其智能控制系统开发；
- [3]分布式能源系统协同优化运行关键技术研究与应用（2020GG0156）。

### 二、在学期间发表的论文

- [1]白鲁尧,杨培宏,亢嵒,张自雷.基于物联网技术的智慧农业系统开发与实现[J].电工技术(已录用)

## 致    谢

时光飞逝，两年的读研生涯临近尾声。回顾研究生阶段的学习生活，有挫折坎坷，亦有收获快乐。这是我人生当中最难忘最有意义的两年，无论是学习还是生活，我都得到了锻炼和提高。在此我要对那些帮助我、鼓励我、指导和支持我的人们道一声诚挚的感谢，感谢“研”途漫漫，一路有你们相伴。

首先我要感谢的是我的导师杨培宏教授，他渊博的学识，勤勉的作风以及严谨的治学态度，无时无刻不在督促我前进。杨老师为我付出很多，凡事亲力亲为，从课题调研、论文选题再到撰写定稿，都离不开老师的耐心指导和帮助。大学是迈向社会的转折点，老师传授给我的绝非只停留在学校这个小舞台，除了学习方法，更多的是人生经验。他不仅是我学习上的导师，更是我的人生导师。师恩永难忘，在此致以我最诚挚的敬意和衷心的感谢！

其次感谢我的父母，感谢我的家人，感谢他们一直在背后默默的付出，感谢他们在我二十年求学生涯给予我无尽的关怀和厚爱，感谢他们的养育之恩，在读研期间给予我生活和精神上的鼓励和支持，让我可以坚定自己的信念，心无旁骛的完成学业。

最后感谢母校内蒙古科技大学对我的培养，给我提供了良好的学习环境。感谢贺彬、汪彪、赵锐、沈琦、江晖、戚盼、兰永健、何权港以及其他实验室的小伙伴们，感谢亓豪、张航、范卓、白志永和菅少晗等室友们，感谢你们两年来带给我无尽的帮助与欢乐。感谢李志颖以及其他在论文工作上给予我帮助的同学、朋友们。感谢论文引用参考文献的各位学者。同时我还要感谢所有不遗余力参加我论文答辩以及所有审核并为我的论文提出修改意见的老师们，你们严谨的学术态度以及给我提供的宝贵经验一直是我不断进步的动力。

感谢以上提到的每个人，感谢你们为我的生活添上了华丽的乐章。希望在未来，我们可以继续追寻梦想，不忘初心，努力学习，坚定不移，勇敢攀登高峰，时刻不忘母校校训——百炼成钢，努力让自己变成一个对国家和社会有贡献的人。