DOI：10. 16853/j. cnki. 1009-3575. 2026. 06. 009

日光温室环境变量远程监测及自动调控系统研究

许永超[1]，宗哲英[1,2,3,*]，王 帅[1]，刘 宇[1]，张春慧[1]，李浩冉[1]，冯 彪[1]，班泽宇[1]
（1. 内蒙古农业大学机电工程学院，呼和浩特 010018；2. 生物农药创制与资源利用自治区高等学校重点实验室，呼和浩特 010018；3. 牧草饲料生产全程智能化装备内蒙古自治区工程研究中心，呼和浩特 010018）

摘要：近年来，中国日光温室面积持续扩大，截至2024年，全国设施农业总面积已突破400万hm^2。为提升日光温室农作物的产量及质量，并便于工作人员实时监测和调控日光温室环境，本研究设计了一套基于PLC的日光温室远程监测及自动调控系统。该系统结合了PLC控制技术、LoRa无线扩频技术和移动物联网技术。利用LoRa无线传输技术搭建了传感器数据无线传输网络，通过编写触摸屏组态程序和PLC手自一体程序，实现了日光温室空气温度、空气湿度、光照强度、二氧化碳浓度、土壤水分、土壤温度6类重要环境变量的实时监测，并能根据实时环境数据自动控制日光温室执行设备的启停。此外，利用4G DTU无线通信模块和云服务器，系统实现了数据的远程实时监测与导出，日光温室执行设备的远程控制，以及上位机和下位机的远程无线通信。

关键词：日光温室；远程监测；PLC技术；LoRa技术
中图分类号：S625. 5 **文献标志码**：A **文章编号**：1009-3575(2026)06-0070-11

Remote Monitoring and Automatic Regulation System for Solar Greenhouse Environment

XU Yongchao[1], ZONG Zheying[1,2,3,*], WANG Shuai[1], LIU Yu[1], ZHANG Chunhui[1], LI Haoran[1], FENG Biao[1], BAN Zeyu[1]
(1. *College of Mechanical and Electrical Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot* 010018, *China*; 2. *Key Laboratory of Biopesticide Creation and Resource Utilization of Universities, Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot* 010018, *China*; 3. *Inner Mongolia Autonomous Region Engineering Research Center for Intelligent Equipment in the Entire Process of Forage Feed Production, Hohhot* 010018, *China*)

Abstract: In recent years, the area of solar greenhouses in China has continued to expand. As of 2024, the total area of facility agriculture across the country has exceeded 4 million hectares. To increase the yield and quality of crops in solar greenhouses and facilitate real-time monitoring and regulation of the greenhouse environment by staff, this study designed a remote monitoring and automatic control system for solar greenhouses based on PLC technology. This system combines the PLC control technology, LoRa wireless spread spectrum technology, and mobile Internet of Things technology. It built a wireless sensor data transmission network using the LoRa wireless transmission technology. By writing a touch screen configuration program and a PLC integrated program, real-time monitoring of six important environmental variables, including the air temperature, air humidity, light intensity, carbon dioxide concentration, soil moisture, and soil temperature, was achieved in a solar greenhouse. The system could also automatically control the start and stop of the equipment in the solar greenhouse based on real-time environmental data. In addition, using 4G DTU wireless communication modules and cloud servers, the system enabled remote real-time monitoring and data export, remote control of the execution equipment in the solar greenhouse, and remote wireless communication between the upper and the lower computers.

Key words: Solar greenhouse; Remote monitoring; PLC technology; LoRa technology

设施农业是农业现代化进程中的关键标志，日光温室凭借其结构简便、生产高效以及环境可控等优势，在我国北方寒旱地区得到了广泛应用。然而，当前多数日光温室监控系统仍存在诸多问题，例如数据采集方式受限、缺乏无线传输与远程交互能力、远程调控水平较低等。这些问题严重影响了日光温室环境监测与调控的及时响应能力，进而降低了环境调控效果[1-2]。随着物联网技术、蜂窝网络通信技术、传感器检测技术和计算机通信技术的迅猛发展，农业物联网技术逐渐形成并受到广泛关注。该技术通过部署多样化的传感器网络，实现了对日光温室关键环境参数的实时监控，

收稿日期：2025-08-26
基金项目：内蒙古自治区自然科学基金项目（2024MS06016，2024QN03027）；高校基本科研业务费项目（BR241401，BR230124）；内蒙古自治区“一流学科科研专项项目”（YLXKZX-NND-046）
作者简介：许永超（1999—），男，硕士，主要从事农业技术装备方面的研究，E-mail：1877179983@qq. com；*为通信作者，宗哲英（1975—），博士，教授，主要从事现代农牧业技术装备数字化与信息化研究，E-mail：zongzheying@163. com

进而优化作物生长环境，显著提高了设施农业的精准度和效率[3-6]。本研究将LoRa无线通信技术、物联网技术以及PLC控制技术相结合，研发了一套日光温室环境远程监测及自动调控系统，成功突破了传统监控系统的距离限制，实现了日光温室环境的远程实时监测与远程控制，具有重要的实践应用价值。

1　系统整体结构设计

本系统的整体结构如图1所示，分为环境信息采集部分、控制器部分、执行器部分和远程监控平台。环境信息采集部分通过多种传感器实时采集日光温室环境参数，采集的环境数据通过LoRa无线数传电台传输至控制器部分，控制器部分的组态触摸屏对接收到的数据进行处理，并将结果发送给PLC，PLC根据预设程序生成控制指令，执行器部分根据指令正确动作，维持日光温室内部环境在适宜植物生长区间。同时，系统通过云服务器与远程监控平台建立双向通信，实现远程监测与控制功能[7-12]。

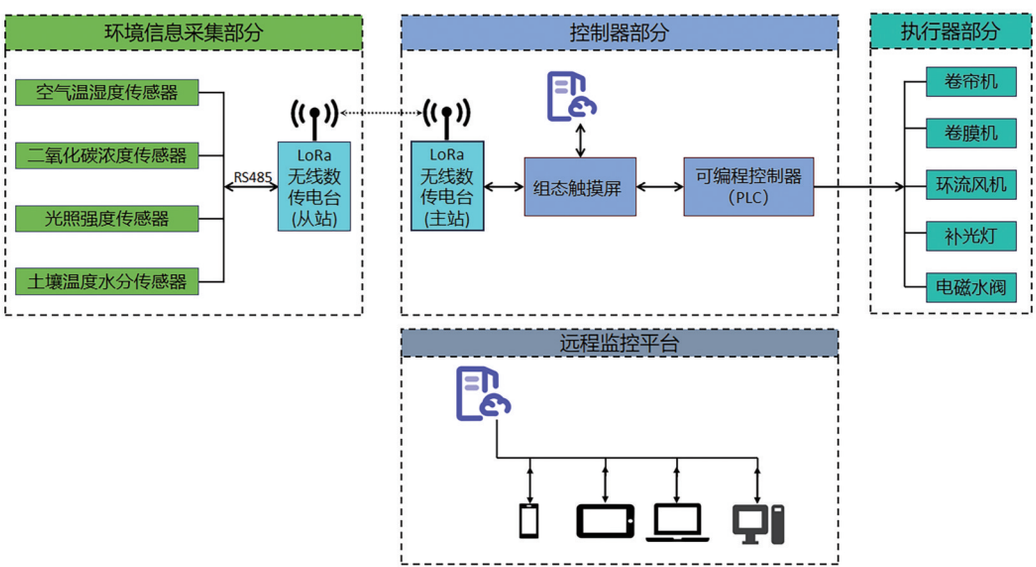


图1　系统整体结构

Fig. 1　Overall system structure

2　系统硬件模块的设计

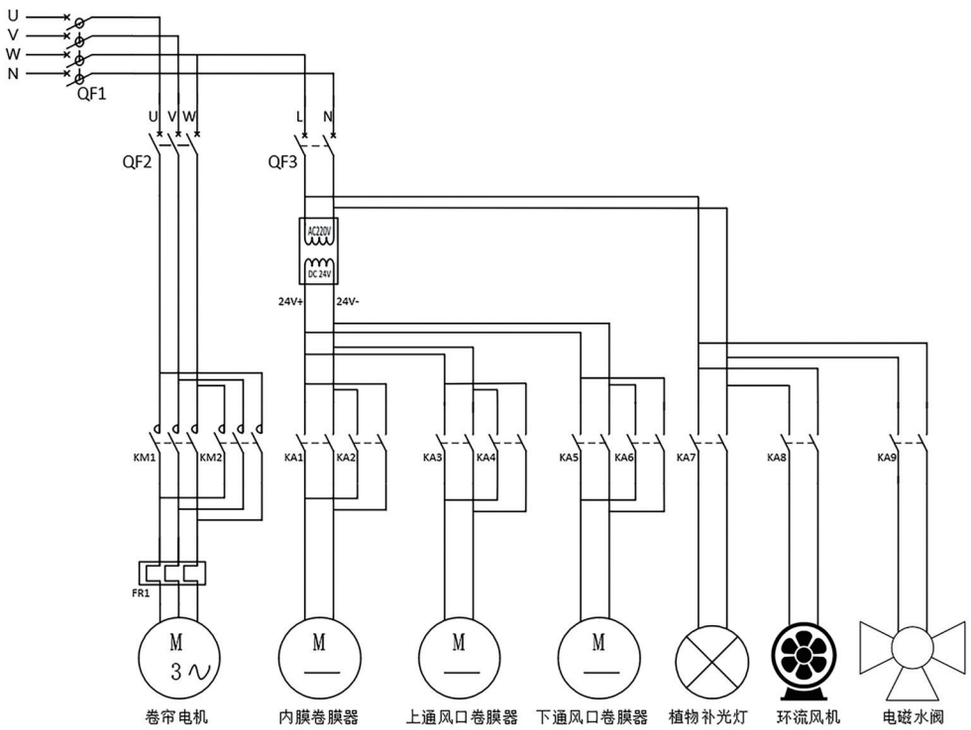
2.1　环境信息采集模块设计

系统环境信息采集模块主要由环境参数传感器、LoRa无线数传电台及大容量锂电池组成。该模块的主要功能是接收来自控制器模块的数据采集指令，根据指令报文的要求完成环境参数的采集，并将采集结果以应答报文的形式返回至控制器模块进行读取与处理。该模块具备良好的独立性与灵活性，适用于复杂日光温室环境中的分布式布设[13]。本系统选用的环境传感器为建大仁科公司生产的RS485数字型环境传感器。

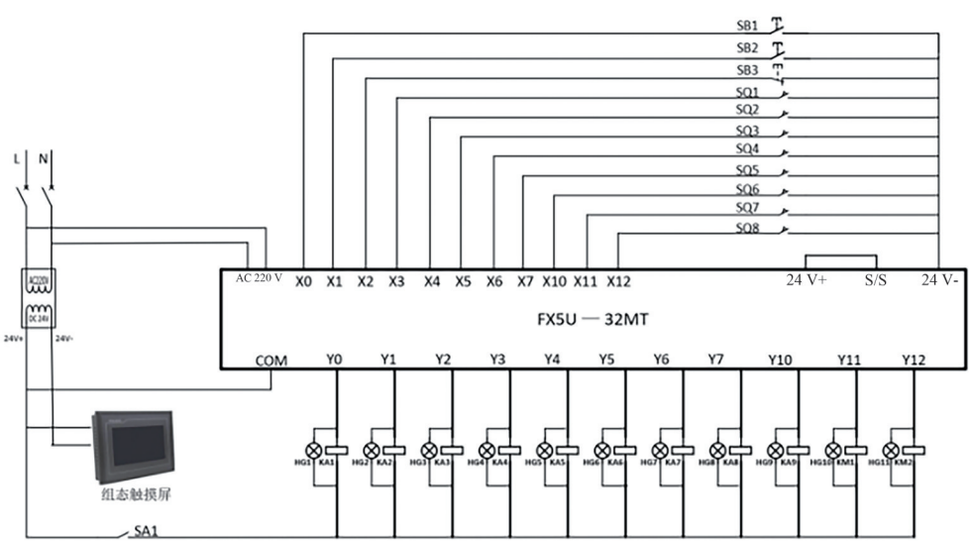
2.2　控制器模块设计

系统控制器模块由组态触摸屏、LoRa无线数传电台、PLC控制器以及落地型控制柜4个关键部分构成。其中，组态触摸屏采用昆仑通态品牌的1021NT 4G型号，LoRa无线数传电台选用了有人物联网科技公司生产的USR-LG206-L型号数传电台，PLC控制器则选用了三菱品牌的FX5U-32MT可编程控制器。落地型控制柜内部集成了保护类电气元件、控制类电气元件以及电源类电气元件等。该模块采用分层控制设计，以触摸屏为上位机提供人机交互界面，下位机则由PLC控制器与LoRa无线数传电台主站共同构成负责数据收发与设备控制[14]。

系统控制柜的电气接线图如图2所示，图2-a为主回路接线图，图2-b为控制回路接线图。系统触摸屏通过RS485总线与LoRa无线数传电台主站进行通信，通过以太网接口与PLC控制器实现数据交互，从而完成系统的数据采集、核心控制、状态监测、参数设置以及故障报警等功能。落地型控制柜主要任务是依据PLC输出指令，完成各执行设备电源主回路的通断控制，并为各功能模块进行配电[15-17]。



(a) 控制柜主回路接线图



(b) 控制柜控制回路接线图

图2 系统控制柜的电气接线图

Fig. 2 Electrical wiring diagram of system control cabinet

3 系统软件程序设计

3.1 环境数据的采集、存储、显示与导出

①数据采集:系统在组态触摸屏程序的设备配置界面中,依据系统所接入的传感器数量,添加等量的Modbus-RTU串口设备,并统一将其挂接于通用串口父设备节点下,利用触摸屏发送Modbus-RTU通信协议,与部署于日光温室内部的RS485数字型传感器进行数据通信,实现对各类环境参数的实时采集。

②数据存储:系统数据存储通过在组态程序中设定多个数字型实时数据变量实现,每个变量与相应传感器所对应的Modbus-RTU串口设备中指定数据通道进行变量绑定,从而将实时采集到的环境数据写入触摸屏内部寄存器中进行存储,便于后续功能模块调用与处理。

③数据显示：系统的数据可视化功能通过构建多个独立的数据显示界面实现。将实时数据库中存储的各类环境数据变量，分配至各类数据显示窗口中的数据框，以直观形式展现给用户。

④数据导出：系统的数据导出功能将历史数据导出至触摸屏的文件区域，利用触摸屏自带的远程FTP功能，将文件区域中的数据下载至本地计算机，完成数据的导出与备份。

通过上述步骤设计，系统已基本实现了环境数据的实时读取、存储、可视化显示、数据远程导出等核心功能。

3.2　数据异常值处理与数据的加权融合

3.2.1　传感器数据的异常值处理

系统传感器数据预处理程序的主要任务是去除多个同类型传感器采集节点中的异常值数据。系统选用了格拉布斯准则进行数据预处理[18]，其主要步骤如下：

首先，从触摸屏实时数据库中读取需要融合的传感器数据，并将读取到的数据存放到局部数组中。

其次，根据公式(1)和公式(2)，对局部数组中的数据进行算术平均值和标准差的计算。具体计算公式如下：

$$\bar{X} = \frac{1}{K} X_i \tag{1}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{K-1}\sum_{i=1}^{K}\left(X_i - \bar{X}\right)^2} \tag{2}$$

式中，X_i表示清洗的第i个数据值，K为清洗数据总数，$\bar{X}$为算术平均值，σ为标准差。

接下来，根据公式(3)对每个需要进行融合的传感器数据进行统计量G的计算。计算公式如下：

$$G = \frac{\left|X_i - \bar{X}\right|}{\sigma} \tag{3}$$

最后，根据融合数据的样本量和选定的显著性水平，查阅格拉布斯准则临界值表，确定异常值的临界值G_critical。若计算得到的统计量G大于G_critical，则判定该数据为异常值并予以剔除；若G小于或等于G_critical，则认为该数据正常，予以保留并存入新的数组中。

3.2.2　传感器数据的加权融合

为进一步提高数据的融合效果，系统编写了自适应加权平均融合程序。根据每个传感器数据点与整体均值的偏差来分配权重，偏差较小的数据将获得更高的权重，从而在最终的融合结果中占据更大的影响力。其计算步骤如下：

首先，程序对清洗后的数据根据公式(1)重新进行数组均值的计算，计算的均值记为m。其次，程序根据每个传感器数值与均值的偏差来计算每个传感器数值权重。权重计算如公式(4)所示，公式中分母使用了一个加1的常数，其目的是避免除零错误。公式中w_i表示第i个传感器权重，x_i表示第i个传感器数值，$\left|x_i - m\right|$表示第i个传感器数值与平均值的绝对差。

$$w_i = \frac{1}{\left|x_i - m\right| + 1} \tag{4}$$

最后，程序根据计算完的权重，通过公式(5)进行传感器数值的加权平均融合，从而得出最终的多个传感器数据融合值。

$$f = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i \times x_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \tag{5}$$

通过以上步骤加权平均融合得到的f即是融合后的环境数据，它包含了从多个传感器中获取的环境信息。此数值可以用于系统自动控制，或保存到实时数据库中进行进一步数据处理使用[19]。

3.3　控制界面的设计

本系统的控制界面主要由按钮、开关、显示框等组件构成，其界面示意如图3-a所示。界面左侧提供手动与自动模式的选择功能，用户选择模式后，运行状态对话框将实时显示系统当前的工作状态。为便于用户排查通信故障，界面左侧还设计有触摸屏与PLC之间的通信状态指示功能。当通信状态异常(指示值非零)时，系统将显示对应的错误代码，帮助用户快速定位并解决问题。

控制界面右侧设有日光温室执行设备的手动操作开关。在自动模式下，所有手动开关将被锁定，用户无法进行操作；切换至手动模式后，用户可根据实际需求控制设备启停。每个设备的运行状态通过开关下方的指示图标直观呈现：设备停止时，图标为红色，设备运行时，图标变为绿色，方便用户快速识别设备当前运行状态。

电机控制界面如图3-b所示，当系统为手动模式时，在电机控制界面，用户可点击对应电机的“上行”或“下行”按钮，以控制电机按设定方向运行。当电机运行后，所选方向的按钮颜色将由红色变为绿色，以明确提示电机的运行方向和运行状态。



（a） 系统主控制界面



（b） 系统电机控制界面

图3 控制系统的软件界面

Fig. 3 Interface of control system

3.4 PLC手动控制程序设计

本系统的电机正反转手动控制程序采用典型的“起—保—停”控制回路实现，手动控制程序梯形图如图4所示。对于仅需实现简单通断控制的执行设备（例如补光灯和风机），系统PLC手动控制程序采用单一常开触点指令进行控制。

3.5 PLC自动控制程序设计

本系统的自动控制程序设计基于PLC程序实现，主要通过读取触摸屏传输的日光温室环境参数、用户设定的自动控制阈值以及PLC内部时钟，驱动各类执行设备的自动化运行[20-23]。具体包括以下5个功能模块：

①揭帘自控程序。揭帘自控程序梯形图如图5-a所示，系统揭帘自动控制程序通过综合PLC内部时钟、室外光照强度及室内外温差实现自动控制。当日时间达到用户设定的揭帘时间后，系统继续判断室外光照强度是否达到设定阈值，若室外光照强度满足条件，程序进一步比较当前室内外温差，只有当温差小于用户设定的揭帘温差阈值时，系统才执行保温棉帘的揭起命令。

②闭帘自控程序。闭帘自控程序梯形图如图5-b所示，系统闭帘自动控制程序结合PLC内部时钟、室外光照强度及室内温差变化率综合判断是否执行闭帘操作。当系统检测到当前时间已达到用户设定的闭帘时间，将立即关闭保温棉帘；若尚未到达该时间，系统继续实时监测光照强度及温度变

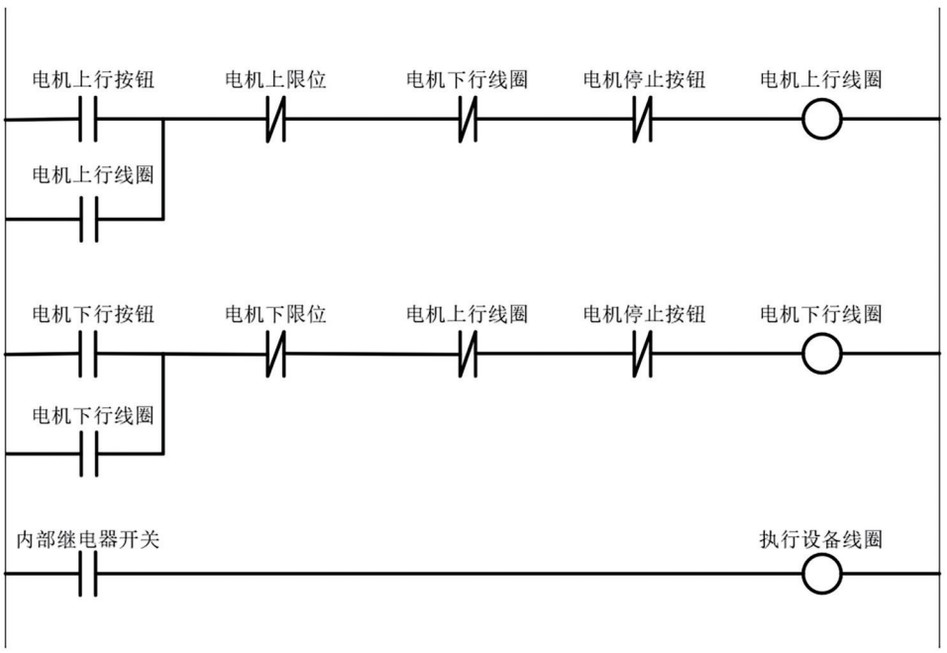
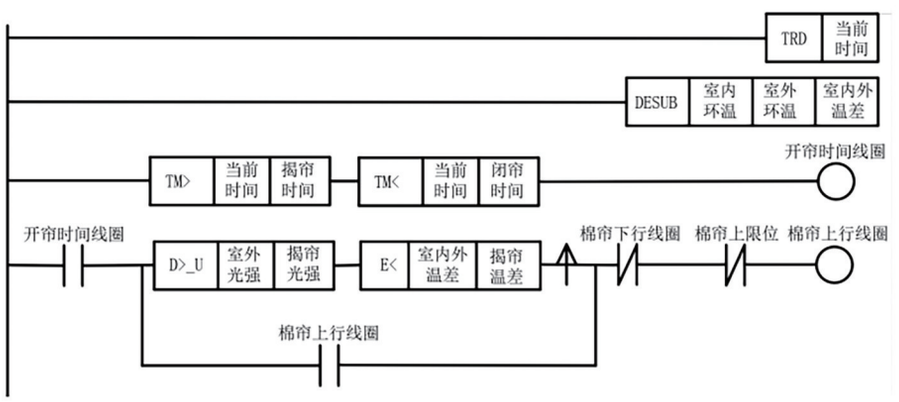
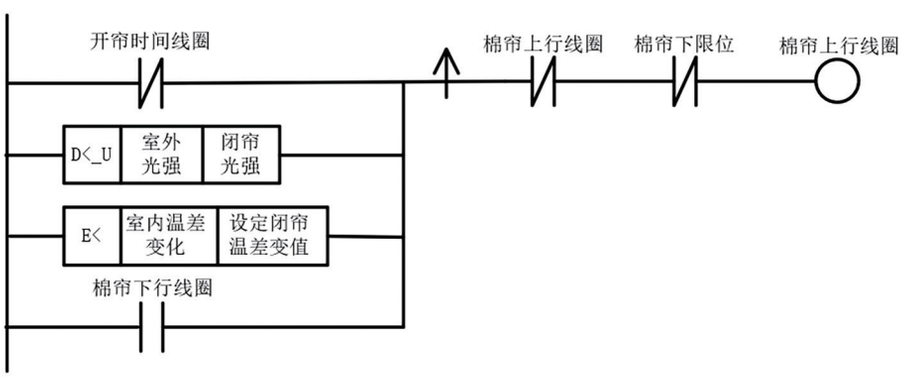


图4　手动控制梯形图程序示例

Fig. 4　Manual control of ladder diagram program example



(a) 自动揭帘



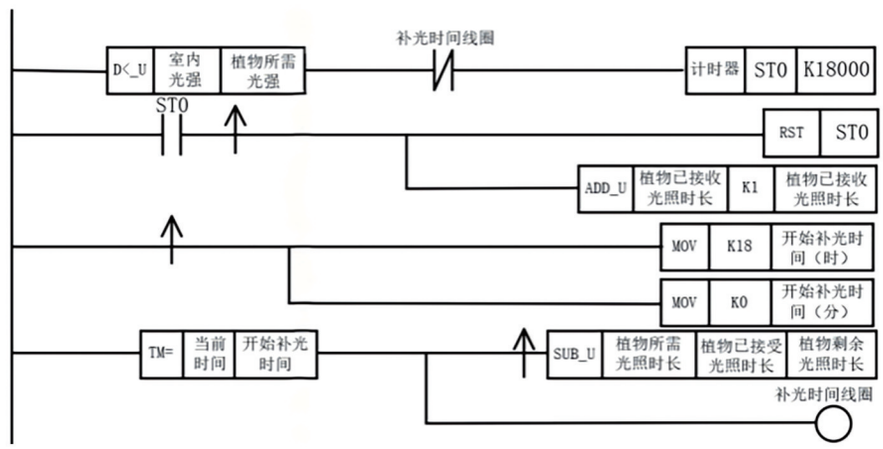
(b) 自动闭帘

图5　自动揭帘和闭帘梯形图程序

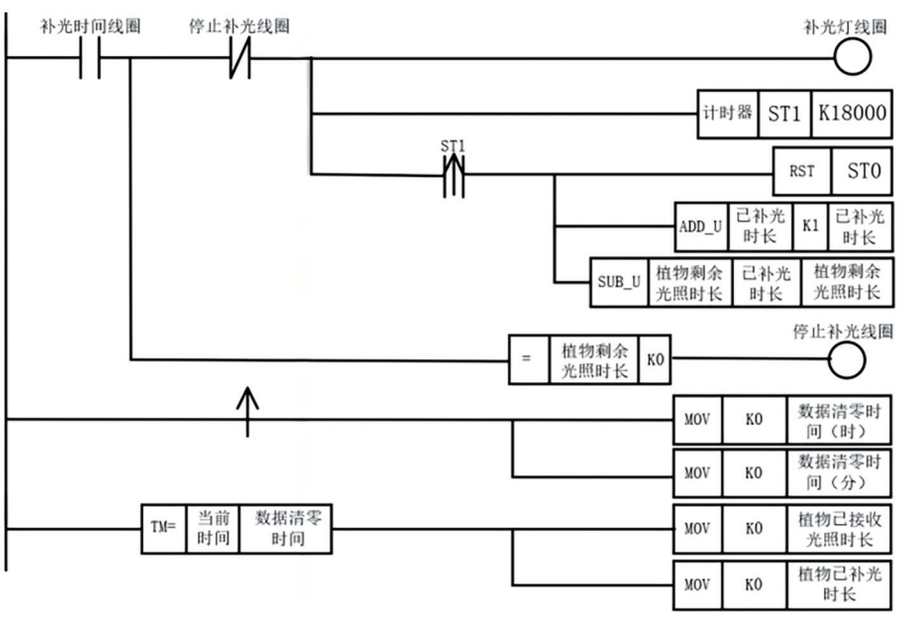
Fig. 5　Ladder diagram program for automatic curtain opening and closing

化情况。当室外光照强度低于设定阈值,或检测到室内温度变化率由正转负,且变化率超过设定阈值,系统也将立即执行闭帘操作,防止日光温室温度快速下降,确保环境稳定。

③补光灯自控程序。补光灯自控程序梯形图如图6所示，系统自动补光控制程序依据PLC内部时钟、室内光照强度、植物所需光照强度及每日光照时长等多项变量编写。每日揭帘后，程序开始监测室内光照强度。当室内光照强度达到植物需求值，程序启动计时器记录植物当日已接受自然光照时长。如果当日时间已达到用户设定的补光时间，程序停止计时，并计算剩余需补光时长，随即自动开启补光灯。补光灯每运行30 min，系统更新当日累计补光时长，并持续计算当日剩余需补光时间，如果当日植物剩余需补光时长为零，系统自动关闭补光灯停止补光任务。此外，程序于每日0点自动清空前一日的光照数据，为新一天的补光调控提供初始条件。



（a）植物接收光照时长计算程序



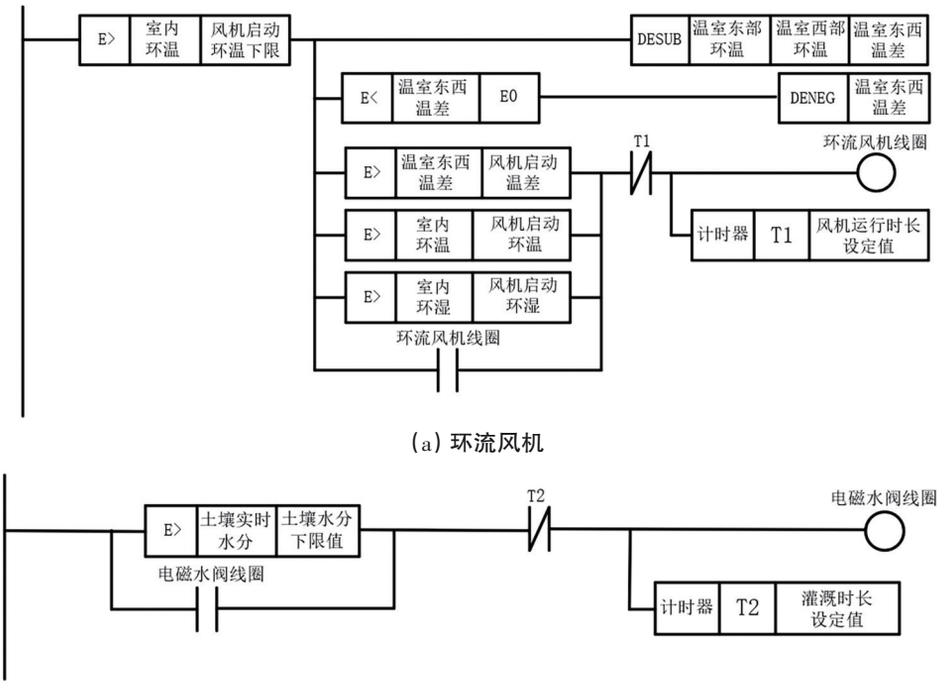
（b）补光灯补光时长计算程序

图6 自动补光梯形图程序

Fig. 6 Automatic lighting correction ladder diagram program

④环流风机自动控制程序。环流风机自控程序梯形图程序如图7-a所示，系统环流风机自动控制程序基于日光温室内部温度、东西区域温差及空气湿度等环境参数进行编写。当室内温度低于用户设定的最低阈值时，风机不予启动。当检测到室内温度超过该最低温度阈值后，程序将实时计算日光温室东西两侧的温差绝对值，并对室内温度、室内湿度及东西部温差3项指标进行判断。当其中任意一项超过用户设定的阈值，系统立即触发环流风机启动指令，增强日光温室内空气流通，改善热量与湿度的空间分布。

⑤电磁水阀自动控制程序。电磁水阀自控程



(a) 环流风机

(b) 电磁水阀

图 7　环流风机和电磁水阀自启动梯形图程序

Fig. 7　Self-starting ladder diagram program for circulating fan and electromagnetic water valve

序梯形图如图 7-b 所示，系统电磁水阀自动控制程序基于对各区域土壤水分含量的实时监测进行编写。当检测值低于用户设定的土壤水分下限，系统立即驱动对应区域的电磁水阀线圈通电，开启当前区域灌溉任务。当灌溉时间达到用户设定值后，程序自动切断电源，关闭水阀，完成灌溉任务。

4　系统远程监控功能的实现

4.1　系统的远程连接

系统远程监控功能基于触摸屏内置移动网络数据传输模块实现。触摸屏将收集到的系统数据和操作界面信息进行封装打包后上传至云服务器，用户在计算机或手机端利用 Mcgs 物联助手软件，连接触摸屏上传数据的云服务器，从而可将打包好的数据进行解析并读取，实现系统的远程监测与远程控制功能。

其实现方式如下：首先，用户需要在触摸屏设置界面进行触摸屏无线网络的连接和触摸屏与云服务器的连接；其次，用户需要在计算机或手机端的 Mcgs 物联助手软件中，添加触摸屏上传数据的云服务器以及云服务器端口；最终，用户通过输入触摸屏的设备编号和设备密钥，将触摸屏添加至其账户下，从而可实现系统触摸屏与计算机或手机的远程无线连接。远程连接相关功能界面截图如图 8 所示。

4.2　系统远程监控功能介绍

①远程画面同步。本系统利用触摸屏 VNC 画面同步技术，实现了对触摸屏界面的远程实时查看与操控。用户可以远程实时查看触摸屏当前画面，并可以远程操作当前画面，实现画面切换、执行设备的启停控制、自动控制参数值的修改，以及日光温室实时环境数据的查看等。

②远程联机功能。当触摸屏与计算机通过云服务器建立稳定连接后，用户可在 Mcgs 物联助手运维界面中点击联机按键，建立计算机与触摸屏的远程无线通信。通信建立成功后，用户可在触摸屏配套设置软件中，实现触摸屏程序的远程下载与上传操作。

③远程穿透功能。本系统利用触摸屏作为桥梁，结合触摸屏的远程联机功能和串口穿透功能，实现了计算机与触摸屏所连接下位机的远程无线通信。该功能支持远程上传或下载下位机程序、读取或写入下位机设备参数以及监控下位机运行状态等多种通信功能。

④文件远程传输功能。本系统利用触摸屏的远程 FTP 功能，实现了触摸屏内部数据向计算机的



(a) 触摸屏网络连接界面　(b) 触摸屏云服务器连接界面

(c) 计算机端服务器连接界面　(d) 手机端服务器连接界面

图8　系统远程连接设置界面

Fig. 8　System remote connection settings interface

远程下载。利用远程联机功能建立计算机与触摸屏的远程无线连接，并打开远程FTP对话框后，用户可通过复制粘贴的方式，将触摸屏文件区环境数据文件远程下载至计算机。

5　系统测试

5.1　环境数据采集测试

在本系统的实际测试过程中，所有传感器节点与触摸屏均实现了正常通讯。每个传感器所采集的数据能够实时且准确地显示在触摸屏的数据显示画面中。触摸屏内置的数据融合程序具备强大的数据处理能力，能够有效剔除异常值，并借助加权融合算法对剩余的有效数据进行精准处理，最终将处理后的数据清晰地展示在数据显示页面左下角。此外，系统每隔5 min便会自动存储一次传感器数据，且具备足够的存储容量，最多可保存10 d以上的数据。用户可以通过触摸屏预览已存储的数据，并且能够根据自身需求导出所选时间段内的数据，以便于后续的分析与处理[24-26]。系统部分测试数据如表1所示，土壤温度和水分数据会因传感器埋入土壤深浅及其土壤类型导致一些数据的变化较慢。环境数据传感器现场布设图片如图9所示。

5.2　系统控制功能测试

当系统通过触摸屏主控制界面选择手动模式时，用户可在现场手动拨动对应的执行设备开关，设备将在1 s内迅速启动运行。与此同时，该设备的运行状态指示灯会点亮，触摸屏控制界面上对应设备的图标会由红色变为绿色，直观地提醒用户设备已启动并处于运行状态。系统落地控制柜实物图如图10所示。

当触摸屏主控制界面切换至自动模式时，用户可通过触摸屏自控参数界面设定相关自动控制参数。设定完成后，系统将依据预设参数进行实时监测与判断。当某些参数值大于或小于设定值且满足自控要求时，PLC梯形图中的对应指令会导通并进入下一步判断。若执行设备的所有启动条件均满足，设备将自动启动。整体运行表现与最初自动程序设计的预期高度一致。

表 1　系统部分环境数据采集测试数据

Table 1　Test data for partial environmental data collection of the system

数据类别	时间	测点 1	测点 2	测点 3	测点 4	测点 5	测点 6	测点 7	测点 8
	2025-01-06 12:25	28. 2	25. 6	26. 0	32. 0	27. 5	29. 2	28. 1	32. 5
环境温度/℃	2025-01-06 12:35	28. 1	25. 9	26. 7	33. 1	28. 4	29. 8	28. 7	33. 4
	2025-01-06 12:45	28. 0	26. 0	26. 3	32. 8	29. 6	29. 8	28. 5	34. 1
	2025-01-06 12:25	40. 1	57. 5	56. 0	47. 0	55. 3	49. 3	52. 4	45. 2
环境相对湿度/%	2025-01-06 12:35	40. 2	57. 4	55. 3	46. 3	54. 3	51. 0	52. 9	45. 1
	2025-01-06 12:45	40. 1	58. 0	56. 7	47. 6	52. 8	51. 6	54. 0	44. 8
	2024-12-30 15:01	704	694	653	665	623	699	707	754
二氧化碳浓度/10^{-6}	2024-12-30 15:11	673	667	653	662	616	703	706	756
	2024-12-30 15:26	684	704	707	697	686	762	707	790
	2024-12-31 10:10	7 435	3 319	6 617	6 675	2 829	5 284	/	/
室内光照强度/lx	2024-12-31 10:20	7 330	3 480	6 989	6 556	2 824	5 114	/	/
	2024-12-31 10:30	7 191	3 515	7 059	6 759	2 843	5 226	/	/
	2025-02-25 11:02	14. 7	11. 8	9. 6	11. 4	13. 1	8. 4	9. 3	16. 2
土壤温度/℃	2025-02-25 11:12	14. 7	11. 8	9. 6	11. 4	13. 1	8. 4	9. 3	16. 4
	2025-02-25 11:22	14. 6	11. 9	9. 6	11. 4	13. 1	8. 4	9. 3	16. 7
	2025-02-25 11:02	12. 6	12. 2	6. 5	7. 9	10. 3	10. 2	12. 0	12. 3
土壤相度湿度/%	2025-02-25 11:12	12. 6	12. 2	6. 5	7. 9	10. 3	10. 2	12. 0	12. 1
	2025-02-25 11:22	12. 4	12. 2	6. 5	7. 9	10. 2	10. 2	12. 0	12. 0

注：表中室内光照强度测试点 7 与测试点 8 的“/”表示测试点 7 与测试点 8 没有进行室内光照强度值的监测。



图 9　传感器现场布设图

Fig. 9　On site layout diagram of sensors

5. 3　系统远程功能测试

本系统的远程控制功能实测结果表明，当设备处于在线状态时，用户点击画面同步功能后，触摸屏的当前画面能够实时传输至计算机，用户可对触摸屏画面进行实时操作。画面传输延迟一般不超过 30 s，且当用户通过画面同步功能点击设备开关时，相应设备能在 2 s 内做出正确反应；通过联机功能，用户可将新的组态程序顺利下载到触摸屏内部运行，且在新的程序远程下载至触摸屏时，不会导致触摸屏与云服务器断开连接；当触摸屏与 PLC 通信正常时，借助触摸屏远程穿透功能，用户可在 PLC 编程软件中输入与 PLC 相同的 IP 地址，成功建立计算机与 PLC 的远程连接，从而实现程序下载、运行状态监控、寄存器参数值修改、开关量取反等功能。



图 10　系统控制柜实物图

Fig. 10　Physical picture of system control cabinet

6 结论

本研究通过优化日光温室农作物的生长环境,进而提高农作物产量与质量,并以服务农业科研与日光温室智能化管理为目标,以内蒙古农业大学海流图科技园区双层膜日光温室为研究对象,设计并实现了一套日光温室远程监测及自动调控系统。研究首先通过需求分析完成了系统总体方案设计,随后创新性地融合了Modbus RTU通信协议、LoRa无线传输技术、数据加权融合算法、计算机组态技术、PLC可编程控制技术等工业自动化领域的先进技术,构建了完整的硬件系统并编写了系统软件程序。系统在完成现场安装调试后,经过多轮测试与优化,实现了对日光温室内部环境参数的实时采集、远程监测与调控、自适应调控等功能。该系统不仅为科研人员深入探究作物生长环境提供了有力的技术支撑,也为日光温室工作人员的日常管理带来了极大的便利,具有良好的推广应用前景,有望在现代农业生产中发挥重要作用。

参考文献:

[1] 郭程莉. 日光温室蔬菜生产中的影响因素与可持续发展策略[J]. 农业工程技术,2023,43(36):76-77.

[2] 李 强,郭 峰,江 稔. 日光温室的研究现状与发展趋势[J]. 煤气与热力,2023,43(10):34-37.

[3] 李道亮,杨 昊. 农业物联网技术研究进展与发展趋势分析[J]. 农业机械学报,2018,49(1):1-20.

[4] 陈 进,傅晟捷,关卓怀,等. 基于LoRa技术的联合收获机群通信方法[J]. 农业工程学报,2022,38(16):81-89.

[5] 聂鹏程,张 慧,耿洪良,等. 农业物联网技术现状与发展趋势[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2021,47(2):135-146.

[6] 伏俊伟,贺小伟,王旭峰,等. 温室环境控制方法现状分析及发展研究[J]. 中国农机化学报,2024,45(4):58-65.

[7] 郑贵林,汪体成. 基于LoRa的温室环境智能监控系统的设计[J]. 江苏农业科学,2019,47(10):216-219.

[8] 洪宝棣,王春光,刘海洋,等. 基于无线物联网的北方寒冷地区温室环境测控系统的实现[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2019,40(5):55-59.

[9] 张东升,王 齐,孙克洲,等. 基于NB-IoT的肉鸡养殖环境监测系统设计与实现[J]. 家畜生态学报,2025,46(2):98-102+128.

[10] 吴朋林. 温室大棚智能控制系统研究[D]. 济南:山东大学,2015.

[11] WU J,TANG X Z,LEI J L. Design of wireless monitoring system for greenhouse based on LoRa[J]. Journal of Physics:Conference Series,2020,1650(2):022075.

[12] HUAN J,LI H,WU F,et al. Design of water quality monitoring system for aquaculture ponds based on NB-IoT[J]. Aquacultural Engineering,2020,90:102088.

[13] 张宝雯,王春光,宗哲英,等. 对日光温室远程监控APP的设计与开发[J]. 农机化研究,2018,40(11):213-216.

[14] 孙建英,陈浩然,王 帅,等. 基于PLC和触摸屏的日光温室环境参数控制器设计[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2020,41(3):62-67.

[15] EFFAH E,GHARTEY G,AIDOO J K,et al. Hardware development and evaluation of multihop cluster-based agricultural IoT based on bluetooth low-energy and LoRa communication technologies[J]. Sensors,2024,24(18):6113.

[16] 张 宁. 基于互联网的无线通信PLC智慧农业温室系统[J]. 工业控制计算机,2024,37(11):21-23.

[17] 张春慧,王 祯,付景强,等. 基于PLC的北方冬季羊只饮水控制系统设计[J]. 黑龙江畜牧兽医,2021(7):52-54+59+155.

[18] 杨金鑫,王志明. 基于多无线传感器的改进数据融合算法[J]. 仪表技术与传感器,2020(8):118-121.

[19] 王海清. 基于云平台的智能温室大棚的设计与研究[D]. 贵阳:贵州大学,2018.

[20] GONZÁLEZ-VIDAL A,MENDOZA-BERNAL J,RAMALLO A P,et al. Smart operation of climatic systems in a greenhouse[J]. Agriculture,2022,12(10):1729.

[21] 李晓凯. 基于PLC的双层膜日光温室保温通风控制系统研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2024.

[22] HUANG M Y. Design of intelligent greenhouse control system based on MCGS and PLC[J]. Journal of Physics:Conference Series,2023,2510(1):012022.

[23] 侍昌阳,朱德兰,王亚利,等. 基于模糊自适应控制的温室温度调控[J]. 农业工程学报,2024,40(14):190-198.

[24] 于玉婷,柳平增,王秀丽,等. 北方番茄日光温室温度传感器布设位置研究[J]. 中国农业科技导报,2023,25(3):107-118.

[25] 许 可,冯 丹,王 枫,等. 基于数据融合的日光温室传感器布设[J]. 沈阳工业大学学报,2019,41(1):91-97.

[26] 张庆松,吴文娟. 基于传感器部署优化的农业温室环境低功耗监测方法[J]. 西南大学学报(自然科学版),2025,47(6):236-247.