

基于农业物联网的室内养殖环境调节系统

孙焕然, 曹健*, 张泽梁*

北华大学计算机科学技术学院, 吉林 吉林

收稿日期: 2024年1月20日; 录用日期: 2024年2月20日; 发布日期: 2024年2月27日

摘要

随着农业物联网的快速发展, 智能化养殖逐渐走进大众视野, 为实现室内养殖环境的自动监测与调节, 本文设计了基于农业物联网的室内养殖环境调节系统。该系统以STM32F103ZET6微控制器为主控, 以温湿度传感器、烟雾浓度传感器和光照强度传感器等为主要传感器, 实时采集环境中温湿度、烟雾浓度和光照强度等参数, 通过ESP8266模块实时将所采集到的数据上传至数据中心进行数据可视化处理, 并通过与适宜环境条件参数对比进行自动调节操作, 直至参数达到适宜条件范围内。实验证明, 该系统在误差范围内实现了室内养殖基本的环境测量和调节功能, 具有较好的可靠性。

关键词

农业物联网, 智能化养殖, 传感器网络, STM32

Indoor Breeding Environment Adjustment System Based on Agricultural Internet of Things

Huanran Sun, Jian Cao*, Zeliang Zhang*

School of Computer Science and Technology, Beihua University, Jilin Jilin

Received: Jan. 20th, 2024; accepted: Feb. 20th, 2024; published: Feb. 27th, 2024

Abstract

With the rapid development of the agricultural Internet of Things, intelligent breeding has gradually entered the public eye, in order to realize the automatic monitoring and adjustment of the indoor breeding environment, this paper designs an indoor breeding environment adjustment system.

*通讯作者。

tem based on the agricultural Internet of Things. The system is controlled by an STM32F103ZET6 microcontroller, with temperature and humidity sensors, smoke concentration sensors and light intensity sensors as the main sensors, real-time collection of temperature and humidity, smoke concentration and light intensity and other parameters in the environment, through the ESP8266 module real-time upload the collected data to the data center for data visualization processing, and by comparing with the parameters of suitable environmental conditions for automatic adjustment operation until the parameters reach the range of suitable conditions. Experiments show that the system realizes the basic environmental measurement and adjustment functions of indoor breeding within the error range, and has good reliability.

Keywords

Agricultural Internet of Things, Intelligent Farming, Sensor Networks, STM32

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

农业物联网是物联网在农业生产、经营、管理和服务中的应用，它使用传感器、摄像头等感知设备采集农业生产过程、农产品物流以及动植物本体的相关信息，通过移动通信网和互联网将获取的海量农业信息进行传输和融合处理，最后通过智能化操作终端实现农业产前、产中和产后的过程监控、科学决策和实时服务[1]。农业物联网在畜牧养殖、渔业、农产品流通等方面具有广泛的应用前景。

近年来，基于物联网技术的智慧农业解决方案不断涌现，如智慧温室、智慧养殖和智慧农田等，它们升级了传统的农业生产模式，实现了生产的自动化、信息化和可视化管理，提高了农业资源的利用效率。基于农业物联网技术的农业生产逐渐从以人力为中心、依赖于孤立机械的生产模式转向以数据为中心，网络化、智能化和数字化的生产模式[2]。

实时、准确地监测室内养殖环境参数并自动调节环境，使得室内养殖环境适宜农畜生长，是农业物联网需要解决的一个重要问题。文献[3]提出了搭建一个远程温室控制系统，由温湿度传感器 SHT10、CO₂ 传感器 COZIR 及光照传感器实时采集温室的环境参数反馈给 STM32 处理机进行数据处理，并通过控制机械结构进行自动调节。然而，该文献中使用的通信技术为短距离、安全性不高的串口通信。文献[4]提出了通过传感器技术、无线通信技术和互联网技术将室内各类环境检测量进行集中采集、处理、数据上传、报警等，从而实现智能家居环境监控与显示功能，但却使用了外设和功能相对较少、具有较低处理能力和存储容量的 AT89S52 微控制器作为主控设备，很难满足现代农畜养殖需要。文献[5]提出了通过智能环境监测及调控系统自动获取牛舍内部的空气温湿度、CO₂ 浓度和 NH₃ 浓度等数据，并自动控制风机等装置改善牛舍内环境。然而，该文献仅仅对空气参数进行了测量并没有考虑其他环境因素，而且对于环境的调节方式也比较单一。

因此，本文设计了一个基于 STM32 单片机的室内养殖环境调节系统。它不仅可以测量室内养殖常见的空气浓度参数，还可以测量养殖环境中的光照强度、灰尘浓度以及部分可燃气体的气体浓度，并通过不断与采集到的数据实时进行对比从而调节舵机、直流电机等成本更加便宜且效果更好的装置，从而保证室内养殖环境始终处于适宜范围。系统还采用了无线通信技术和互联网技术将养殖室内的环境变化实时、安全地显示在远程手机端，帮助农户做到足不出户就可以了解到养殖室内的环境变化。

2. 总体框架

本系统由 STM32F103ZET6 微控制器为主控设备, 通过温湿度传感器、烟雾浓度传感器、光照强度传感器、灰尘浓度传感器和部分气体浓度传感器对室内温度、湿度、烟雾浓度、光照强度、灰尘浓度和部分气体浓度进行监测[6], 并实时与所设阈值进行对比, 若超出所设阈值范围主控设备将驱动由舵机、继电器、直流电机等电子元件组成的机械装置进行自动调节。例如, 通过控制舵机转动调节遮光板角度改变室内光照强度; 通过将继电器当作开关控制风扇和喷洒装置调节温湿度; 通过控制直流电机转速实现换气速度调节。同时, 由 ESP8266 模块作为中间枢纽, 将数据实时显示在手机端。

系统总体设计如图 1 所示, 分为数据采集模块、通信模块和驱动模块, 数据采集模块由各类环境参数传感器构成, 通信模块由 ESP8266 模块为主要构成, 驱动模块则由相关电子元件和机械结构组成。

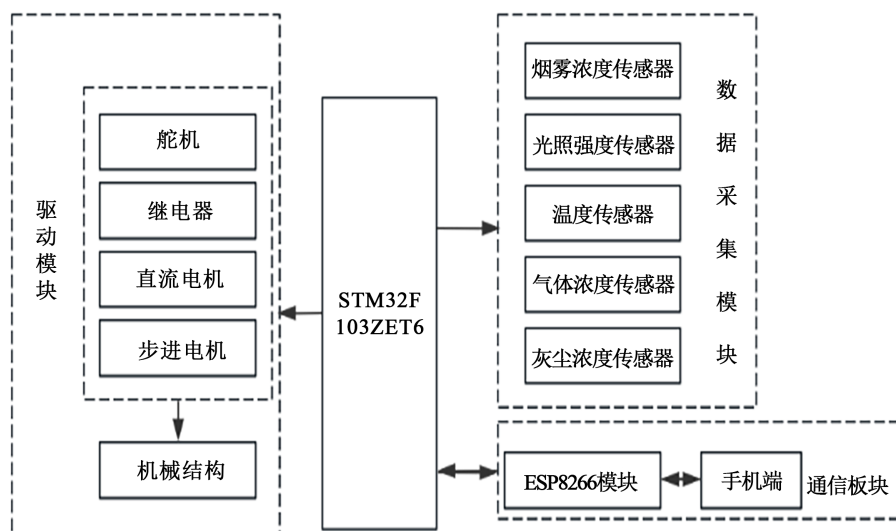


Figure 1. General structure diagram
图 1. 总体结构图

3. 主要设计

3.1. 主控模块

本系统选择 STM32F103ZET6 微处理器为主控设备。它是一款 STMicroelectronics 生产的 32 位 ARM Cortex-M3 核心的主控芯片[7], 具有高性能、低功耗和实时性的特点。它相较于文献[4]使用的 AT89S52 微处理器具有 USART、SPI、I2C、CAN 等更丰富的外设接口和硬件加速器如 FPU 单元、浮点单元提高运算速度。它还内置了 DSP 指令集, 增强了数字信号处理能力。此外, 它支持 Flash 和 RAM 存储器存储程序代码和临时数据, 它的运行频率还可以达到 72MHz, 提供了较高的处理速度。这些使它更适合于开发工业自动化、智能家居、车载系统等嵌入式系统。

利用软件 Keil uVision5 编译代码驱动 STM32 芯片。Keil uVision5 是一款集成开发环境, 专为嵌入式系统开发而设计。它包含编辑器、编译器、调试器等工具, 还提供了对 STM32 芯片的全面支持, 包括官方的 CMSIS (Cortex Microcontroller Software Interface Standard) 库和设备支持包 (Device Support Pack), 为驱动主控芯片和后续的开发设计带来了很大的便利。

利用 C 语言对 STM32 单片机进行编程。C 语言是一种高级编程语言, 同时也具有很多低级语言编程的灵活性[8], 语言程序直观, 结构性好, 很容易维护和移植。编程效率和代码执行效率高, 生成的机器

代码也相对简洁，所以在现在的单片机编程语言中，C 语言才会占据绝对的主导地位，广泛用于嵌入式系统。

3.2. 数据采集模块

数据采集是为了将室内环境的温湿度、烟雾浓度、光照强度等信息进行采集并整理，数据处理流程图如图 2 所示，设备初始化后，传感器进行数据采集，通过判断是否到达刷新时间和通信模块是否正常进行数据的相关处理。

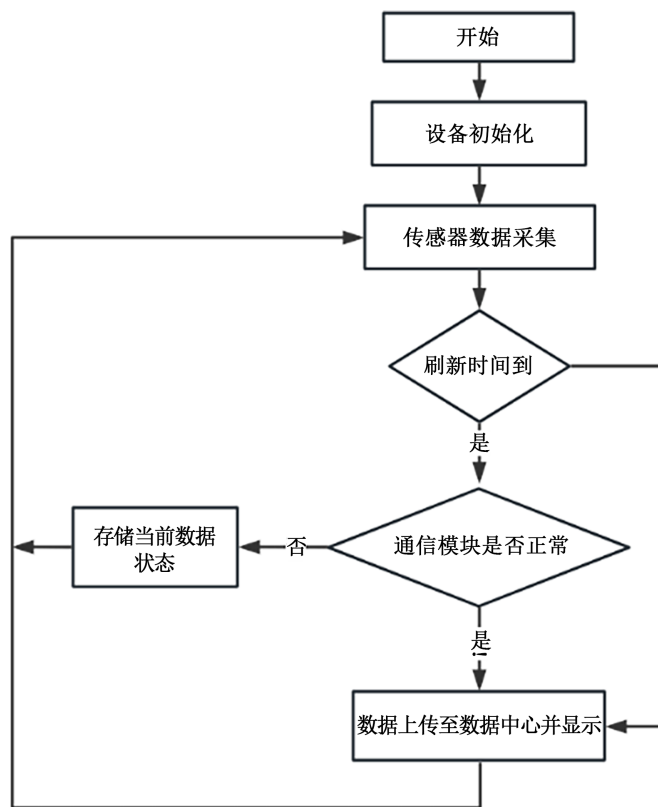


Figure 2. Data processing flow diagram
图 2. 数据处理流程图

3.2.1. 温湿度传感器模块

温湿度传感器模块主要由 DHT11 传感器构成。DHT11 是一种含有以校准数字信号输出的温湿度复合传感器，常用于测量环境中的温度和湿度。它具有高精度、快速响应和稳定性等特性[9]，其工作原理是通过采集环境中的温湿度信息，并将其转换为数字信号。模块内部包含一个专用的电阻式测湿元件和一个 NTC 测温元件，通过传感器读取环境湿度和温度值，湿度测量范围为 20%~90%，温度测量范围为 0℃~50℃。

将 DHT11 模块的电源引脚连接到 STM32 的电源引脚，地引脚连接到 STM32 的地引脚，数据引脚连接到单片机的 GPIO 引脚，如图 3 所示。通过单片机的 GPIO 引脚与 DHT11 的数据引脚进行通信，具体来说，发送一系列的脉冲信号给 DHT11 并接收响应，这包括一个低电平的启动信号和通过检测 DHT11 传输的数据位获取到的温湿度数据。对获得的温湿度数据进行合适的处理，如单位转换、数据滤波等操作，最终显示出结果。

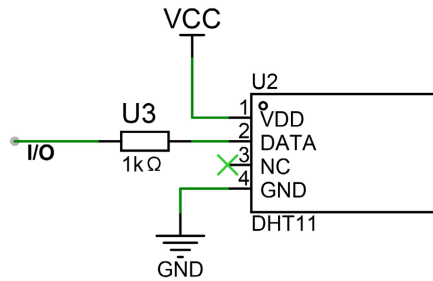


Figure 3. DHT11 module connection diagram
图 3. DHT11 模块连接图

3.2.2. 烟雾浓度传感器模块

该模块以 MQ-2 烟雾传感器为主要组成模块, MQ-2 可用于检测空气中的烟雾、甲烷、丙烷、液化石油气等可燃气体的气体浓度变化, 发现可能的危险情况并触发相应的报警信号。

将 STM32 和 MQ-2 烟雾传感器通过电路连接起来, 通常, MQ-2 模块上有 VCC、GND、DO (数字输出) 和 AO (模拟输出) 引脚, 将 VCC 引脚和 GND 引脚连接到 STM32 的 3.3 V 引脚和地引脚上, 将 AO 引脚连接到 STM32 中的一个可用的模拟输入引脚, 如图 4 所示。在代码中初始化 ADC (模数转换器), 使其能够接收到来自 MQ-2 传感器的模拟输出信号, 使用 ADC 转换函数, 读取 MQ-2 传感器的模拟输出值, 此值便代表了烟雾浓度的程度。再将读取到的模拟值转换为实际的烟雾浓度值, 最终传送到手机端。

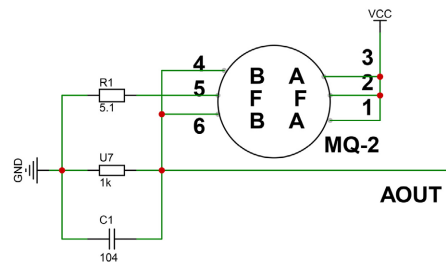


Figure 4. MQ-2 module connection diagram
图 4. MQ-2 模块连接图

3.2.3. 光照强度传感器模块

该模块由 BH1750 传感器主要构成。BH1750 是一种数字光照强度传感器, 用于测量环境中的光照强度。该传感器基于 I2C 接口, 具有高分辨率和低功耗的特点。其工作原理基于 CMOS 技术, 能够提供精确的 1 lx 到 65,535 lx 光照强度读数, 这使其成为了许多电子项目中常用的光照强度传感器之一。

将 BH1750 模块的电源和地引脚分别与 STM32 的电源和地引脚连接, SDA 和 SCL 引脚分别连接到 STM32 中 I2C 接口对应的引脚, 如图 5 所示。在 STM32 上配置 I2C 接口, 使其支持与 BH1750 通信, 最后读取所测量到的结果, 并进行相应的处理。

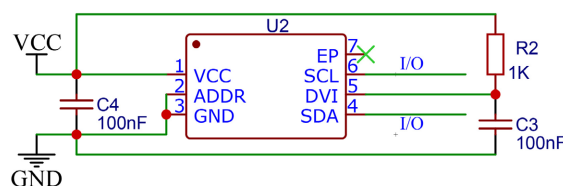


Figure 5. BH1750 module connection diagram
图 5. BH1750 模块连接图

3.2.4. 灰尘浓度传感器模块

该模块以 GP2Y1010AU0F 传感器为主要组成。GP2Y1010AU0F 是一款光学灰尘浓度传感器，也被称为颗粒物浓度传感器或 PM2.5 浓度传感器，它通过红外发射二极管和光敏三极管的组合可以测量到空气中的小颗粒物浓度。它能够检测出直径在 0.8 微米到 2.5 微米之间的颗粒物，并根据测量结果输出相应的电压信号。

GP2Y1010AU0F 传感器原理是使用定时器来生成 PWM 信号用于激活传感器的激光二极管，使用 ADC 和定时器来读取传感器的数据。根据传感器的数据手册进行数据处理和校准，将 ADC 读数转换为灰尘浓度值。

3.2.5. 气体浓度传感器模块

该模块主要为了采集环境当中的 CO₂、氨气和硫化氢气体浓度，使用 SGP30 传感器测量 CO₂ 气体浓度，MQ137 传感器测量氨气浓度，MQ136 传感器测量硫化氢气体浓度。具体连线方式如图 6 所示。

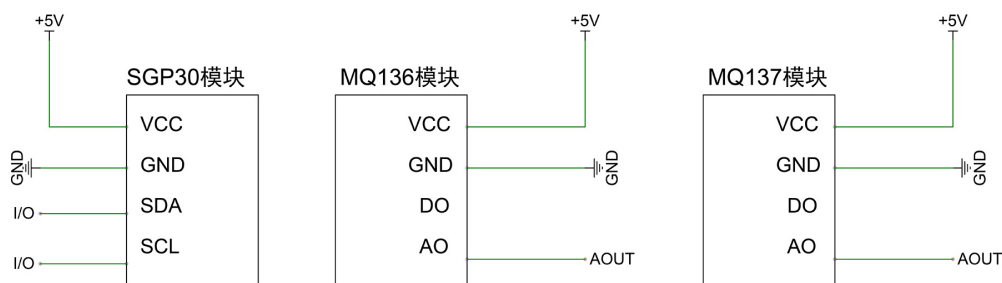


Figure 6. Wiring diagram of the gas concentration sensor module

图 6. 气体浓度传感器模块连线图

SGP30 传感器测量的原理基于光学测量和电化学传感技术的结合，采用了先进的光学元件来检测空气中的 CO₂ 分子，并结合电化学传感器来测量其浓度。具体来说，SGP30 传感器使用一个光源和光学滤波器来产生特定波长的光。当 CO₂ 分子存在时，这些光通过空气样品与 CO₂ 分子发生特定的吸收，传感器测量经过样品的光的强度并分析吸收的特征，从而推断出 CO₂ 分子的浓度。

MQ137 传感器的工作原理基于半导体敏感元件的电阻变化。通过检测半导体敏感元件的电阻变化，利用氨气与元件表面发生的化学反应，实现对氨气浓度的测量。

MQ136 传感器的测量是基于电化学传感器的原理，使用一种特殊的材料(MQ136 膜)来吸收硫化氢气体。该材料对硫化氢气体具有很高的选择性，当硫化氢气体进入 MQ136 膜时，它会与膜中的材料发生反应导致电化学性能发生变化，从而产生与硫化氢气体浓度成比例的电信号。

3.3. 通信模块

通信部分主要由 ESP8266 模块组成，它是一个小型的 Wi-Fi 模块处理器[10]，具有低功耗、高效率、易用性和低成本等特点。它是一种常见的数据通信模块，内置了一个微型处理器和一个内存块，能够与互联网进行连接实现数据的传输。

在确保 STM32 和 ESP8266 通过串口或者其他可用的通信接口连接在一起的前提下，配置 ESP8266。初始化 ESP8266，并通过 AT 指令将其配置为 Wi-Fi 客户端模式，并在 STM32 上安装合适的驱动程序以支持与 ESP8266 的通信。使用 ESP8266 的 AT 指令来建立与手机端的 TCP 连接，在手机端下载相应的应用程序或使用手机自带的网络调试工具，通过 TCP/IP 协议与 ESP8266 进行通信。一旦连接建立，可以使用 STM32 通过 ESP8266 与手机端进行双向数据传输。通过 STM32 读取传感器数据，然后将该数据通

过 ESP8266 发送给手机端如图 7 所示, 也可以从手机端接收数据, 并使用 ESP8266 将其传输到 STM32 进行处理。



Figure 7. Diagram of the mobile phone page
图 7. 手机端页面图

3.4. 驱动模块

将所设阈值与数据采集模块所采集到的数据进行实时对比, 当数据超出阈值, 说明环境已不在适宜范围内, 驱动模块则开始发挥作用。

3.4.1. 舵机

通过使用 STM32 微控制器的 PWM 输出可以实现驱动舵机改变角度。将舵机控制信号线连接到 STM32 的一个 PWM 引脚上, 具体连线如图 8 所示。选择一个可用的 PWM 定时器, 并设置它的预分频值、计数周期和工作模式。舵机通过接收不同占空比的 PWM 信号来调整角度, 通常 0 度对应于 0% 的占空比, 180 度对应于 100% 的占空比。

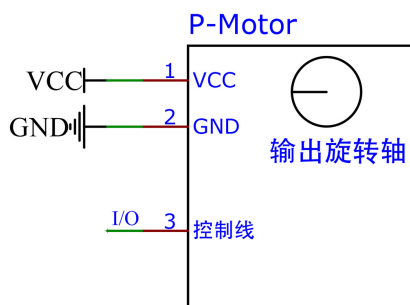


Figure 8. Servo connection diagram
图 8. 舵机连线图

3.4.2. 直流电机

与舵机一样，直流电机也需要使用 STM32 的 PWM 输出方式。先将直流电机与电机驱动模块 L298N 连接，再按照使用手册将 L298N 模块与 STM32 相应引脚连接，最后通过改变 PWM 的占空比从而改变直流电机的转速。

3.4.3. 继电器

驱动继电器的基本原理是通过 STM32 的 IO 口控制继电器模块的触发信号，将其与外部设备连接的电路开关打开或关闭。选择好继电器的触发方式，将继电器模块的 IN 引脚连接到 STM32 的任意一个 IO 引脚作为控制信号，通过 IO 引脚的电平变化控制继电器开关。

4. 硬件测试与分析

为测试数据传输的实时性，本文将部分环境测量传感器模块连接至洞洞板上，并通过杜邦线与 STM32F103ZET6 开发板进行连接。实物图如图 9 所示，图内包含温湿度传感器模块、烟雾浓度传感器模块、光照强度传感器模块和 ESP8266 模块。

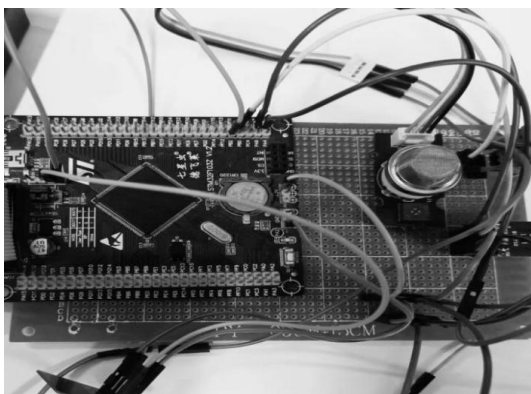


Figure 9. Part of the physical connection diagram
图 9. 部分实物连线图

以十分钟为单位时间，分别记录六次温度、湿度、光照强度和烟雾浓度的数值，绘制出折线图如图 10 和图 11 所示，图中横坐标为数据测量次数，纵坐标温度单位为℃，湿度单位为%，光照强度单位为 Lux，烟雾浓度单位为 ppm，数值如表 1 所示。

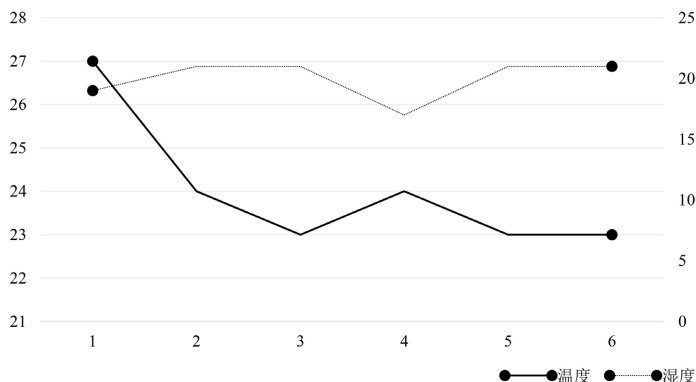


Figure 10. Line chart of temperature and humidity data
图 10. 温、湿度数据折线图

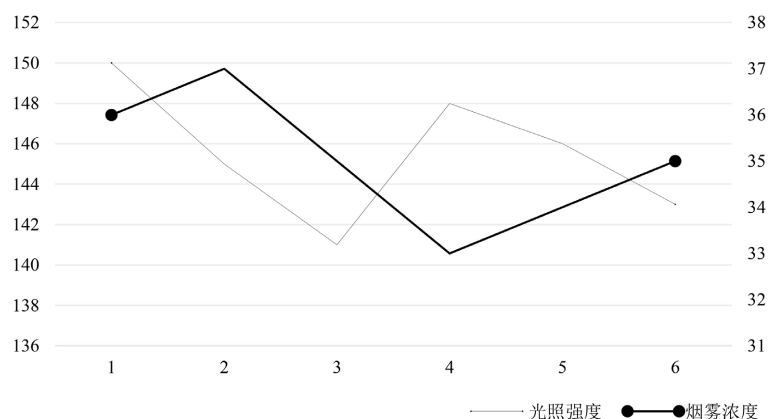


Figure 11. Line chart of light intensity and smoke concentration data

图 11. 光照强度、烟雾浓度数据折线图

Table 1. Measurement parameter data

表 1. 测量参数数据

	温度(°C)	湿度(%)	光照强度(Lux)	烟雾浓度(ppm)
第一次	27	19	150	36
第二次	24	21	145	37
第三次	23	21	141	35
第四次	24	17	148	33
第五次	23	21	146	34
第六次	23	21	143	35

经测试，结果显示在正常使用传感器且无线通信畅通的情况下，传感器所采集到的数据几乎可以实时、准确地呈现在手机端。

为验证驱动部分是否可以正常运行，本文通过驱动舵机和直流电机进行测试。测试过程如图 12、图 13 所示。测试发现，当改变代码中光照强度的数值实现光照强度从强到弱发生变化时，舵机可以顺利完成从 0°到 90°转动。当改变代码中粉尘浓度数值实现粉尘浓度逐渐升高时，直流电机转速可以实现逐步加快。

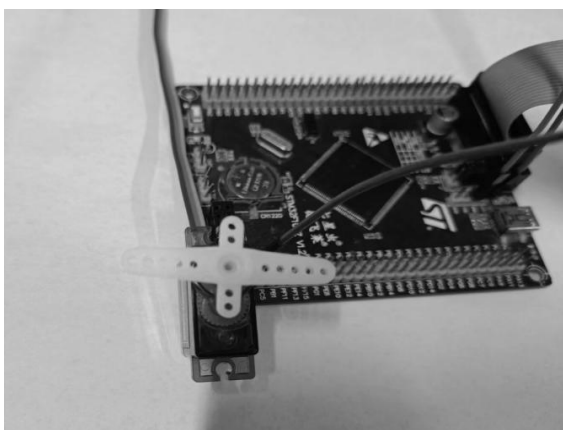


Figure 12. Servo drive diagram

图 12. 舵机驱动图

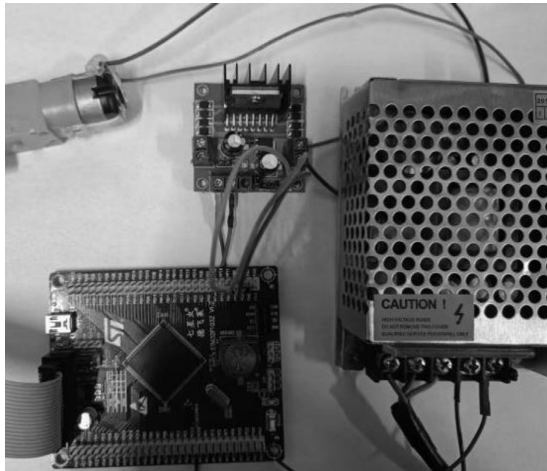


Figure 13. DC motor drive diagram

图 13. 直流电机驱动图

5. 结束语

本文列举了温湿度传感器、烟雾浓度传感器和光照强度传感器等环境测量的主要传感器,通过STM32单片机对传感器的控制以及与手机端的连接实现了实时远程监控室内环境,使农户足不出户就可以实时观察到养殖场内环境的变化。通过对所设阈值与所采集到的数据进行对比,驱动相应机械结构改善室内环境条件,最大程度保证室内养殖环境一直处于适宜状态。但由于传感器种类较少,部分环境条件无法测量,对于数据处理和数据可视化部分也有一些不足。后续在此基础上可以进一步优化系统,例如提供预警和相关建议,同时也可以考虑增加更多类型的传感器以拓宽数据采集的领域,为农户提供更全面、准确的环境信息[11],还可以通过驱动其他更好的机械设备改善室内环境,为室内养殖提供更好的环境条件。

基金项目

吉林省教育科学规划课题(GH21216)“基于智慧课堂的《计算机程序设计》课程O2O混合式教学模式研究与实践”;北华大学教育教学改革研究课题“新工科视域下智能科学与技术专业特色人才培养研究与实践”;北华大学博士启动基金“工业物联网可靠路由机制研究”;吉林省教育厅科学技术研究项目(JJKH20220056KJ)和吉林省科技发展计划项目(20210203050SF)的阶段性成果。

参考文献

- [1] 许世卫. 我国农业物联网发展现状及对策[J]. 中国科学院院刊, 2013, 28(6): 686-692.
- [2] 刘洋, 张钢, 韩璐. 基于物联网与云计算服务的农业温室智能化平台研究与应用[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(11): 3331-3335.
- [3] 王丹丹, 宗振海, 陈慧珊, 等. 基于STM32的智能温室远程控制系统的的设计[J]. 浙江农业学报, 2014, 26(3): 791-796.
- [4] 田苗苗, 崔维娜, 王迪, 等. 基于单片机的室内环境监测系统[J]. 海峡科技与产业, 2021, 34(9): 63-66.
- [5] 赵超越, 陈思衡, 沈洋, 等. 基于环境阈值的智能牛舍监测与调控系统设计[J]. 现代化农业, 2023(11): 94-96.
- [6] 李思宇. 高层建筑火灾监控系统研究[D]: [硕士学位论文]. 廊坊: 华北科技学院, 2023.
- [7] 宛传友, 侯飞, 丁一宁, 等. 基于ARM+FPGA的卫星电源控制器通用测试系统[J]. 自动化与仪表, 2022, 37(9): 53-56.
- [8] 李岩. C语言程序设计基础与上机指导[M]. 北京: 清华大学出版社有限公司, 2006.

- [9] 韩丹翱, 王菲. DHT11 数字式温湿度传感器的应用性研究[J]. 电子设计工程, 2013, 21(13): 83-85.
- [10] 张紫轩, 项阳, 童安科, 等. 机械臂手势识别技术的研究及应用[J]. 工业控制计算机, 2023, 36(12): 61-63.
- [11] 佟素娟, 薛同来, 王宿仲, 等. 无线传感器网络在现代环境监测中的应用[J]. 工业控制计算机, 2023, 36(12): 116-117+123.