

第十三届浙江省大学生物理实验与科技创新竞赛

基于Arduino的 蓝牙智能消毒机器人

• 让疫情防控与乡村振兴“同频共振” •

蓝牙
操控

环境
监测

自主
避障



目录

摘 要	1
1 研究背景	1
2 作品设计	2
2.1 系统总体设计	2
2.2 系统硬件设计	3
2.2.1 控制器模块	4
2.2.2 传感器模块	5
2.2.3 运动执行单元	8
2.2.4 图传系统	9
2.2.5 消毒喷洒装置	10
2.3 功能设计	10
2.3.1 自主消毒	10
2.3.2 遥控消毒	10
2.3.3 环境监测	10
2.4 整体运行流程	11
2.5 作品外观图	12
3 技术分析	13
3.1 机械感知	13
3.2 运动规划	13
3.3 WIFI 无线显示	13
3.4 环境监测技术	13
3.5 蓝牙操控技术	14
3.5.1 蓝牙模块与单片机通讯	15
3.5.2 蓝牙模块与手机 APP 通讯原理	15
3.6 运用的物理知识	16
4 作品特色	16
5 应用前景	17
参考文献	18
附录	19

基于 Arduino 的 蓝牙智能消毒机器人

——让疫情防控与乡村振兴“同频共振”

摘要 针对某些乡村的公共场所和高危交叉感染区需要进行环境数据监测、安全巡视及卫生消毒等工作，本项目提出并设计了一种蓝牙智能消毒机器人。系统以 Arduino 单片机作为控制器，配置多种传感器实现数据的采集，通过摄像头和无线模块实现图像信息的采集与传输，同时在机器人身上安放自动喷洒消毒装置，实现巡检、消毒及防疫功能。蓝牙智能消毒机器人具有自动巡回和手动控制两种控制方式，通过 PC 端的上位机软件或者手机端的 APP 软件实现机器人的控制与数据显示。

关键词 智能消毒；智能识别；蓝牙控制

1 研究背景

2022 年 3 月，新冠疫情再次在多地爆发，不仅阻滞了农村的产业发展、经济增长，还严重影响了农村居民的生存环境和生活条件，甚至打乱了乡村振兴战略既定的实施进度。因此，唯有将乡村疫情防控常态化落实、落地、落细，为农村产业发展、全民健康生活营造良好的氛围，才能凝聚农村居民投身乡村振兴的最大力量，促使乡村振兴战略继续有序、有效、有力地推进。

而落实乡村疫情防控常态化，消毒工作尤为重要。尤其是在众多人流流动密集的公共场合（如乡村文化展厅、产品交易市场等）以及返乡人员隔离区、乡镇诊所等高危交叉感染区，必须进行频繁的定期人工消毒工作，而人工消毒存在用工成本高、消杀频率低、覆盖不全面、工作效率低等问题，因此开发一种新型消毒机器人迫在眉睫。

经过我们对市场的调查，目前市场上的公共场合消毒装置有以下三种，如图 1、图 2 和图 3：



图 1 普通的塑料消毒瓶



图 2 大容量喷洒消毒装置



图 3 现有智能消毒装置

（1）普通的塑料消毒瓶：在需要消毒的情况下，人们自发地进行消毒保障安全，这种装置仅适合小范围消毒，对于大型公共场合费时费力，而且停留时间短，喷洒效果不均匀，消毒效率低，消毒人员在消毒过程中也容易受到感染。

（2）大容量喷洒消毒装置：溶液重量过大，消毒人员行动不便，耗费人力、工作效率也不高。

（3）现有智能消毒装置：此装置价格高，通常在基础建设较好、资金充裕的大型城市的公共场所存在，不够灵活并且占地空间大，仅适用于面积较大、地面平坦的场所。

目前市场存在消毒装置显然不能较好地满足乡村疫情防控消毒的需求，所以，为了抑制新冠病毒的传播、减少疫情传播的可能性、减轻工作人员的劳动力度、降低工作人员被感染的风险，我们决定开发一款基于 **Arduino** 的蓝牙智能消毒机器人，来满足乡村疫情防控常态化政策的落实。

2 作品设计

2.1 系统总体设计

本项目设计的蓝牙智能消毒机器人主要用于公共场合下的环境数据采集、图像信息传输等日常巡检工作，同时通过安放在机器人本体上的消毒喷洒装置，在巡检过程中实现消毒液喷洒功能，有效地减少了人力劳动，提高了工作效率，其外观示意图如图 4 所示。

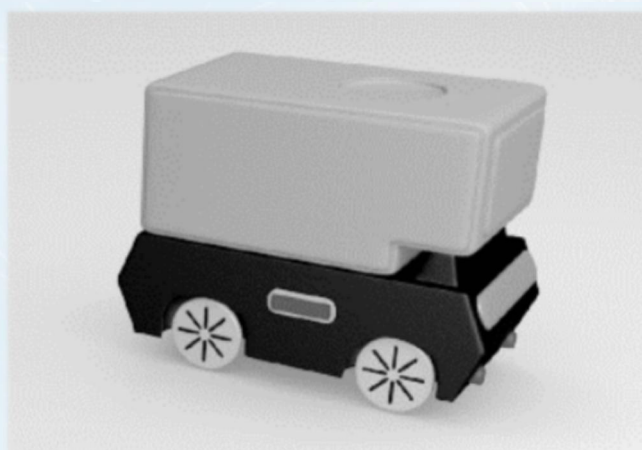


图 4 蓝牙智能消毒机器人模型设计

根据实际应用功能设计需求，蓝牙智能消毒机器人的移动控制方式包括自动循迹控制与远程手动控制两种：

①自动循迹控制利用避障传感器和单片机的操控判断电机方向、速度等参数的控制从而使机器人能够按照指定路线往复循环移动；

②远程控制则利用 PC 端的视频流网址实时查看摄像头传输回来的图像信息进行机器人的移动路线手动调整。

2.2 系统硬件设计

本项目设计的蓝牙智能消毒机器人的硬件系统主要包括机器人控制系统、境数据采集系统、图像信息采集系统等。

蓝牙智能消毒机器人的硬件系统以 Arduino UNO 为核心 STM32F103C8T6 为辅助数据处理模块，外围配置传感器模块、电源模块、运动执行单元、摄像头、无线模块以及消毒喷洒装置等，从而实现机器人的自主移动、环境数据检测、图像信息采集与传输、消毒液体喷洒等功能。

2.2.1 控制器模块

◆ Arduino UNO

Arduino UNO 是基于 ATmega328P 的 Arduino 开发板，它有 14 个数字输入/输出引脚（其中 6 个可用于 PWM 输出）、6 个模拟输入引脚，一个 16 MHz 的晶体振荡器，一个 USB 接口，一个 DC 接口，一个 ICSP 接口，一个复位按钮。它包含了微控制器所需的一切，使用者只须简单地把它连接到计算机的 USB 接口，或者使用 AC-DC 适配器，又或者使用电池，就可以驱动它。



图 6 Arduino UNO 实物图

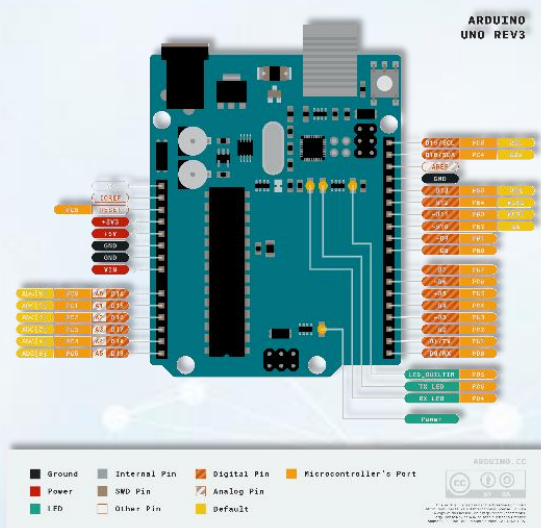


图 7 Arduino UNO 引脚图

2.2.2 传感器模块

传感器模块实现机器人巡检过程中的环境数据采集，主要包括温湿度传感器等，不同类型的传感器通过各自的数据传输方式与 Arduino 处理器进行连接，实现外部环境的实时检测。

◆ DHT11 数字湿温度传感器

DHT11 数字湿温度传感器采用单总线数据格式，即单个数据引脚端口完成输入输出双向传输。其数据包由 5Byte（40Bit）组成，数据分小数部分和整数部分，具体格式在下面说明。一次完整的数据传输为 40bit，高位先出。



图 8 DHT11 数字湿温度传感器

◆ 超声波避障模块

HC-SR04 超声波测距模块可提供 2cm-400cm 的非接触式距离感测功能，测距精度可达高到的非接触式距离感测功能，测距精度可达高到 3mm；模块包括超声波发射器、接收器与控制电路。(1)采用 IO 口 TRIG 触发测距，给最少 10us 的高电平信呈。(2)模块自动发送 8 个 40khz 的方波，自动检测是否有信号返回；(3)有信号返回，通过 IO 口 ECHO 输出一个高电平，高电平持续的时间就是超声波从发射到返回的时间。



图 9 超声波避障模块

◆ 空气烟雾检测

鉴于大棚、森林火灾率频发，本文从应用中安全生产、保证效益的角度出发，研究设计了对火情的预警及防控。这里选用 MQ-2 空气烟雾传感器，如图所示。检测大棚温室环境的液化气、丁烷、丙烷、甲烷、酒精、氢气、烟雾等的浓度，有效识别火情，避免火灾，降低损失。其探测浓度范围：100ppm-10000ppm 液化气和丙烷，300ppm-5000ppm 丁烷，5000ppm-20000ppm 甲烷，300ppm-5000ppm 氢气，100ppm-2000ppm 酒精。



图 6 MQ-2 空气烟雾传感器

◆ 光照检测模块

光敏电阻模块对环境光线最敏感，一般用来检测周围环境的光线的亮度，触发单片机或继电器模块等。模块在环境光线亮度达不到设定阈值时，DO 端输出高电平，当外界环境光线亮度超过设定阈值时，DO 端输出低电平；DO 输出端可以与单片机直接相连，通过单片机来检测高低电平，由此来检测环境的光线亮度改变；小板模拟量输出 AO 可以和 AD 模块相连，通过 AD 转换，可以获得环境光强更精准的数值。



图 7 光敏电阻传感器

◆ 声音检测模块

声音模块对环境声音强度最敏感，一般用来检测周围环境的聲音强度。模块在环境声音强度达不到设定阈值时，OUT 输出高电平，当外界环境声音强度超过设定阈值时，模块 OUT 输出低电平；小板数字量输出 OUT 可以与 STM32C8T6 直接相连，通过单片机来检测高低电平，由此来检测环境的聲音；小板数字量输出 OUT 能直接驱动继电器模块，由此可以组成一个声控开关。

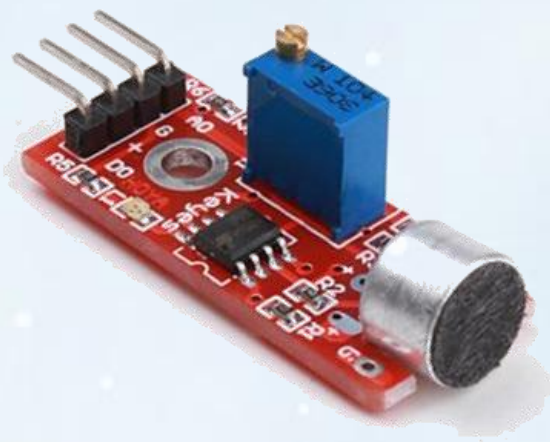


图 8 声音检查传感器

◆ 数据上传模块

使用 ESP8266-01S 模块将采集到的烟雾浓度，温湿度，声音大小和光照情况传递到 ONE-NET 平台实时监控。



图 9 ESP8266-01S 模块

2.2.3 运动执行单元

运动执行单元实现蓝牙智能消毒机器人的自主移动功能，由驱动模块、电机以及履带组成。

◆ 减速电机

电机采用减速电机，该行星减速电机能够把输入的低转矩高转速通过齿轮组转换成高转矩低转速输出，从而在变速中提供较大的合力矩，并且保持较平稳的速度传递。



图 10 减速电机

◆ L298 驱动直流电机

采用 L298 驱动直流电机，稳定性能强。L298N 是一种高电压、大电流电机驱动芯片，最高工作电压可达 46V，输出电流大，瞬间峰值可达 3A，持续工作电流 2A，额定功率 25W，内含 2 个 H 桥高电压大电流全桥驱动器，可用来驱动直流电机和步进电机等，有两个使能控制端，可驱动 1 个两相或四相步进电机或者 2 个直流电机。

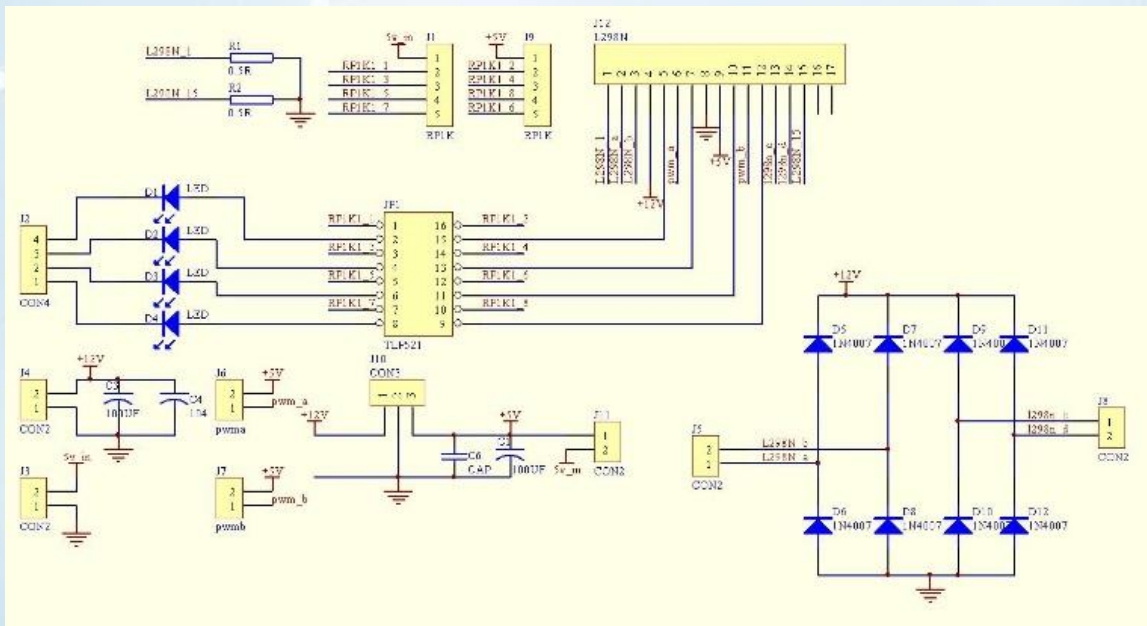


图 11 L298N 原理图



图 12 L298N 实物图

2.2.4 图传系统

◆ ESP32-CAM

图传系统选择了 ESP-CAM 作为控制系统，使用 ESP32-CAM 将画面通过视频流传递给我们的网页实现实时监控。ESP32-CAM 是安信可发布小尺寸的摄像头模组。该模块可以作为最小系统独立工作，尺寸仅为 2740.54.5mm。ESP32-CAM 可广泛应用于各种物联网场合，是物联网应用的理想解决方案。ESP32-CAM 采用 DIP 封装，直接插上底板即可使用，实现产品的快速生产，为客户提供高可靠性的连接方式，方便应用于各种物联网硬件终端场合。

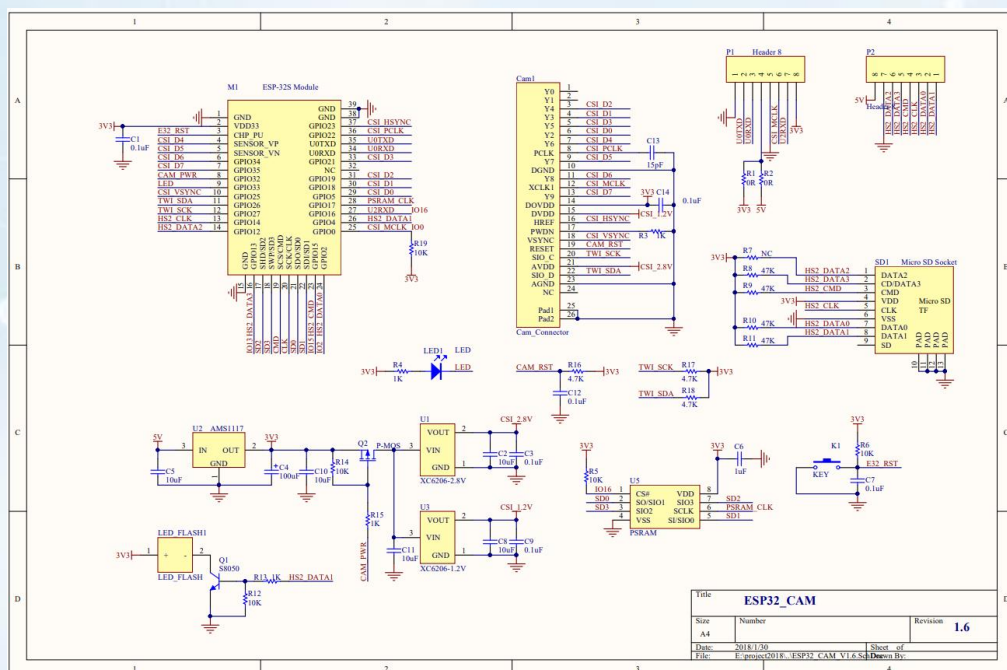


图 13 ESP32-CAM 电路原理图

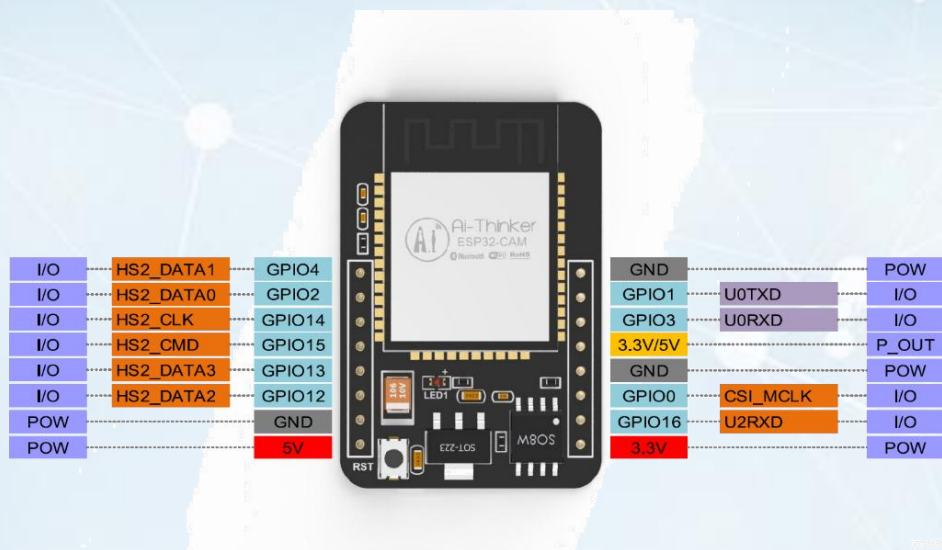


图 14 ESP32-CAM 引脚说明图

2.2.5 消毒喷洒装置

◆ 自吸隔膜水泵

消毒喷洒装置采用自吸隔膜水泵和雾化喷头实现，自吸隔膜水泵的泵体与电机分离，泵体内无机械部件、无磨损，具有自吸功能、热保护、运转平稳、可以长时间连续空转，接通电体内的液体开始自动减压回流，水管内的压力不会增加，方便消毒液体的喷洒。

2.3 功能设计

2.3.1 自主消毒

在固定的空间内，将蓝牙智能消毒机器人放置在空间内，打开电源开关，手机 APP 打开避障系统和消毒喷雾装置，让蓝牙智能消毒机器人在固定的空间内，完成自主消毒工作。

2.3.2 遥控消毒

在未知要消毒地点的安全性下，将消毒机器人放置在安全位置，打开蓝牙系统连接手机，打开消毒喷雾器与摄像头系统，使用者在安全的位置引导小车到未知地点进行消毒工作。

2.3.3 环境监测

打开蓝牙和 WIFI 网络，将环境信息传递给手机端以及 ONE-NET 平台，让处于安全位置的人了解消毒地点的环境信息。

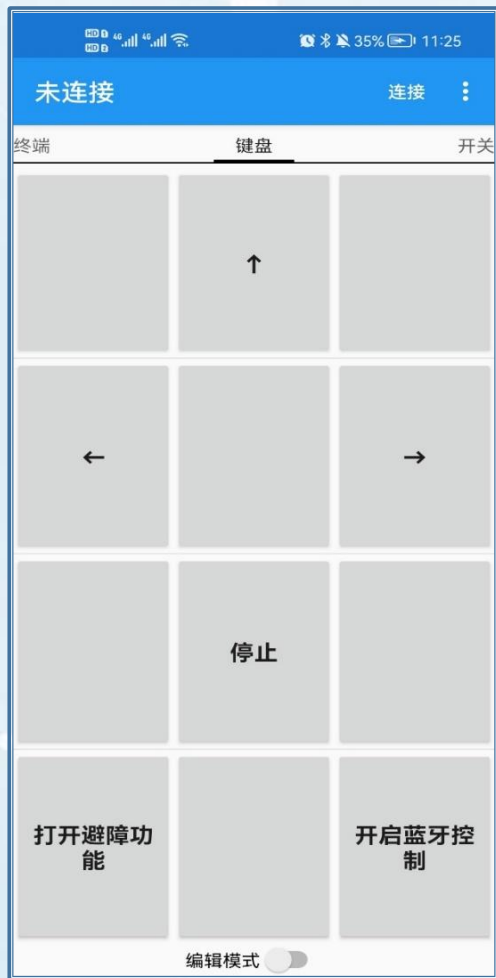


图 15 蓝牙操控图

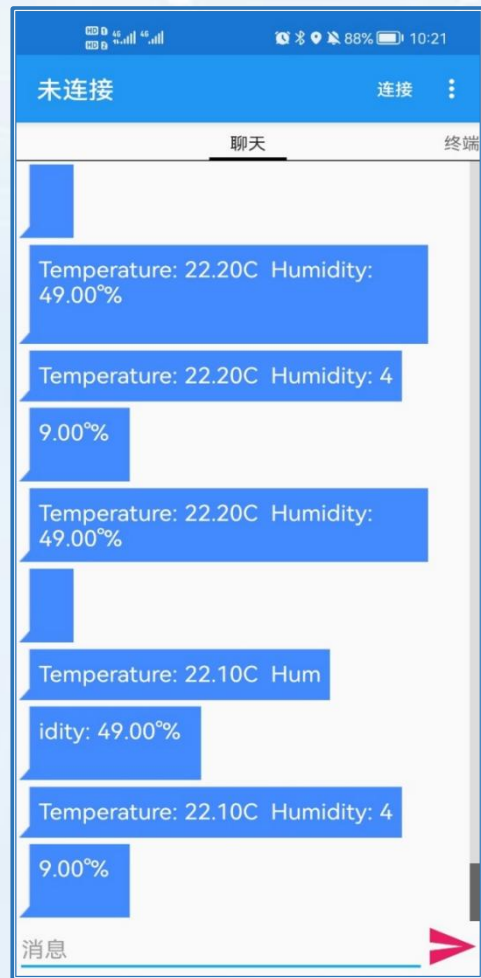


图 16 环境反馈图

2.4 整体运行流程

首先，使用者连接蓝牙智能消毒机器人的蓝牙系统，然后，选择是否打开自动避障功能，若不开启自动避障功能，即自动开启蓝牙控制系统，使用者直接在手机 APP 上根据 ESP32-cam 返回的视频流对小车进行操控，完成消毒任务；若打开自动避障功能，各传感器执行相应程序，主控板控制电机开始运行，蓝牙智能消毒机器人自动避开前进道路上的障碍物，完成消毒任务。

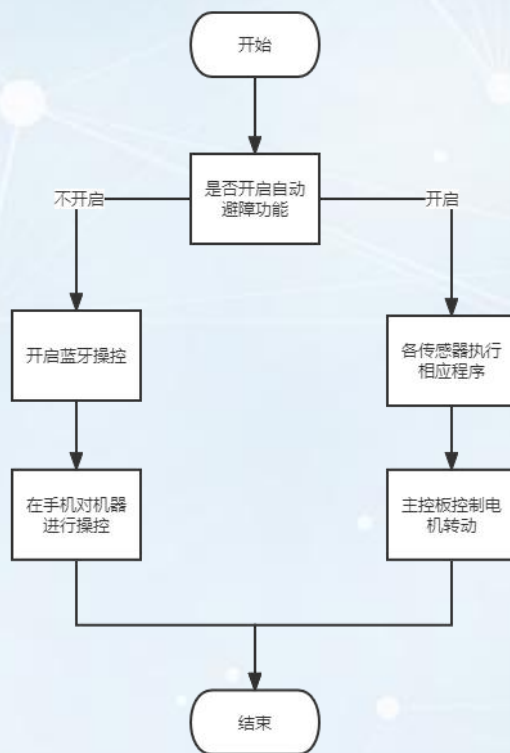


图 17 系统总体流程图

2.5 作品外观图

基于 Arduino 的蓝牙智能消毒机器人实物图如下：

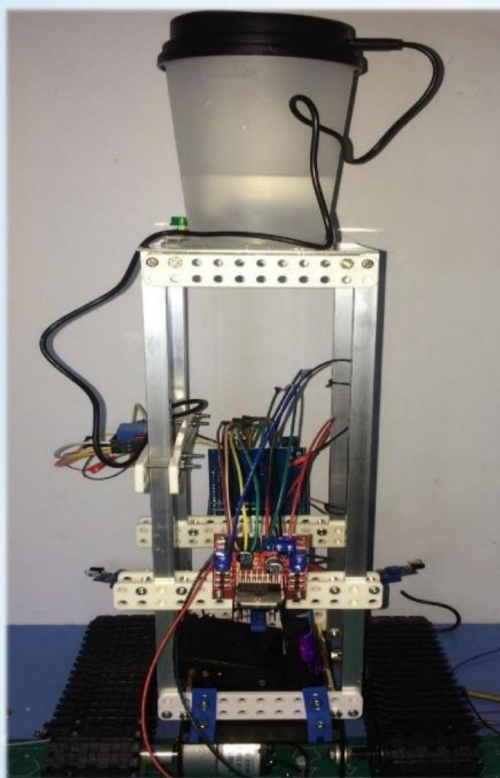


图 18 消毒机器人主视图

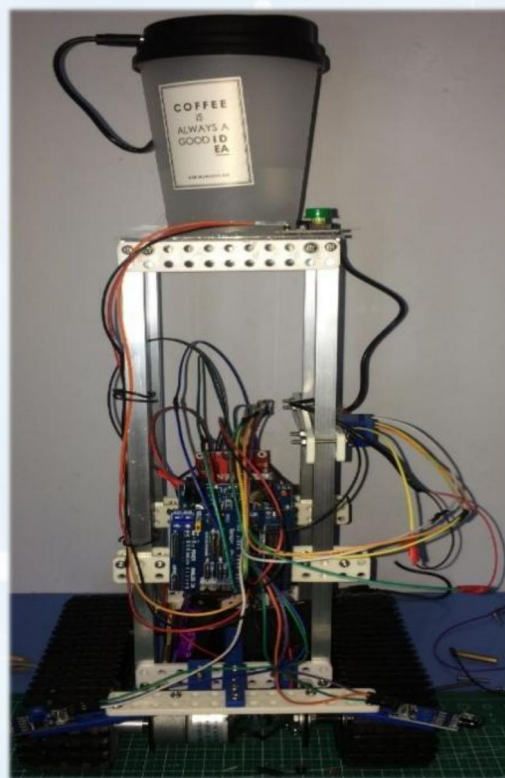


图 19 消毒机器人侧视图

3 技术分析

3.1 机械感知

消毒机器人系统要求在公共场合中能自主完成消毒任务,这需要机器人能够感知环境中的障碍物信息。机器感知技术通过信息收集处理建立准确的模型来表达所在环境的信息,不仅是实时地检测外界环境信息的途径,更是确保机器人实现自主导航等功能的前提。使用不同传感器获取的数据信息不同,在进行机器感知时,需要多个传感器的信号综合处理才能确定机器人的工作状态。

3.2 运动规划

运动规划技术是实现消毒机器人系统自主避障,从而到达指定目的地的技术基础,运动规划技术根据最低耗损原则并结合所感知的环境信息规划出最优化的路线,并控制机器人从初始位置无碰撞地到达目标位置。

3.3 WIFI 无线显示

使用 ESP32-CAM 实现 WIFI 无线显示,我们只需要在 Arduino 安装 ESP32 开发环境,搭配 USB 串口实现电脑和 ESP32-CAM 模块的连接。在示例的代码中将 ESP32 要连接的 WIFI 的账号密码输入,在串口中进行调试,调出视频流的 IP 地址,即可在网页上查看摄像头拍摄的实时画面。

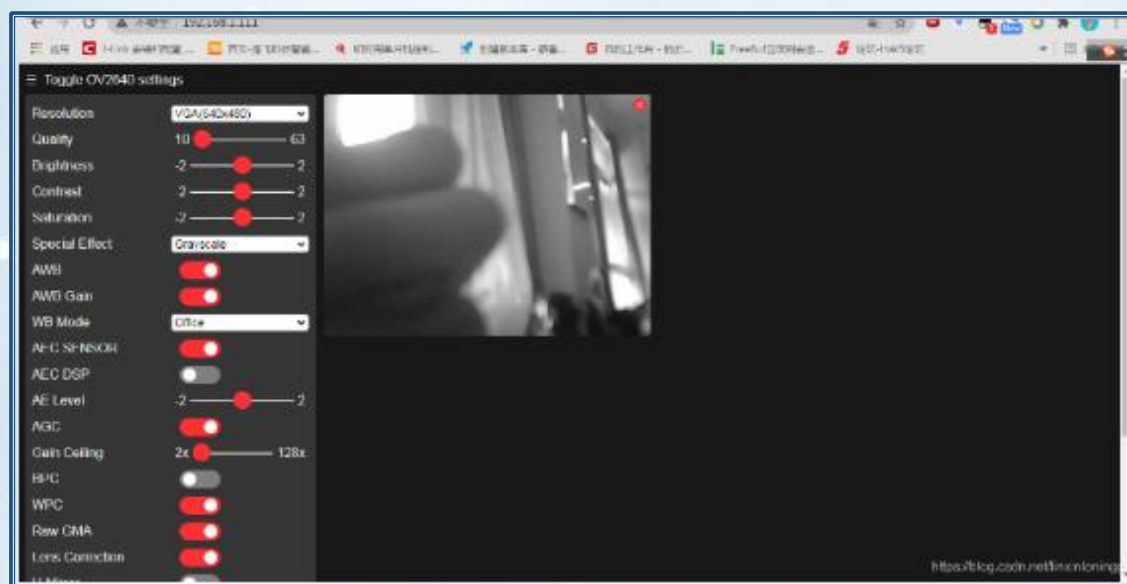


图 20 视频流反馈图

3.4 环境监测技术

采用 DHT11 传感器,用户 MCU 发送一次开始信号后,DHT11 从低功耗模式转换到高速模式,等待主机开始信号结束后,DHT11 发送响应信号,送出 40bit

的数据，并触发一次信号采集，用户可选择读取部分数据。从模式下，DHT11 接收到开始信号触发一次温湿度采集，如果没有接收到主机发送开始信号，DHT11 不会主动进行温湿度采集。采集数据后转换到低速模式。

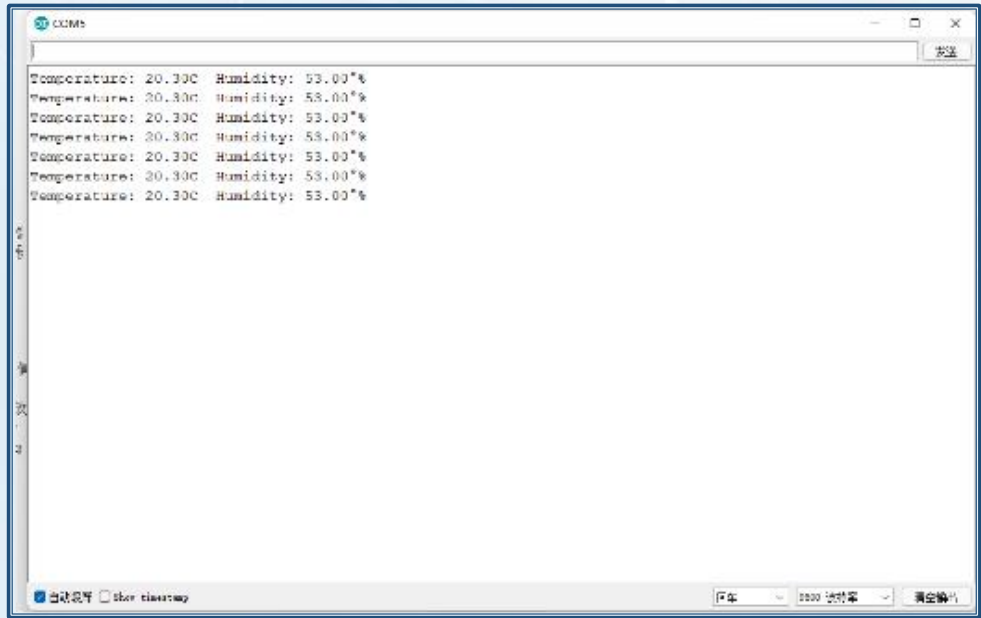


图 21 串口反馈环境信息图

3.5 蓝牙操控技术

蓝牙模块的通信示意图如下：两个设备主控芯片或单片机分别连接各自的蓝牙模块，即将主控芯片与蓝牙模块的串口控制引脚交叉连接。因蓝牙模块自带透传功能，简单来说就是主控芯片串口什么数据，蓝牙模块就转发什么数据，所以也可以把主控芯片的串口看作一个带有无线传输的串口。



图 22 HC-05 实物图

有主从机之分，模块出厂默认从机模式。如需要设置为主机，需要通过 AT 指令对蓝牙进行设置。

3.5.1 蓝牙模块与单片机通讯

模块与供电系统为 3.3V 的 MCU 连接时，串口交叉连接即可（模块的 RX 接 MCU 的 TX、模块的 TX 接 MCU 的 RX）；模块与供电系统为 5V 的 MCU 连接时，可在模块的 RX 端串接一个 220R~1K 电阻再接 MCU 的 TX，模块的 TX 直接接 MCU 的 RX，无需串接电阻。



图 23 HC-05 与单片机通讯

3.5.2 蓝牙模块与手机 APP 通讯原理

带有蓝牙模块的单片机与手机 APP 的通信示意图，如下；蓝牙模块作为从机（蓝牙模块出厂默认为从机模式），安卓手机的蓝牙作为主机；手机在蓝牙界面上主动去搜索蓝牙设备，当搜索到设备“HC-05”时，点击该设备名称，此时会弹出输入匹配密钥，密钥为“1234”；蓝牙配对成功后，打开蓝牙调试助手，点击“连接设备”，然后点击“扫描新设备”，然后点击蓝牙名称，即可完成连接。连接好蓝牙后，APP 就可显示单片机发送的数据。

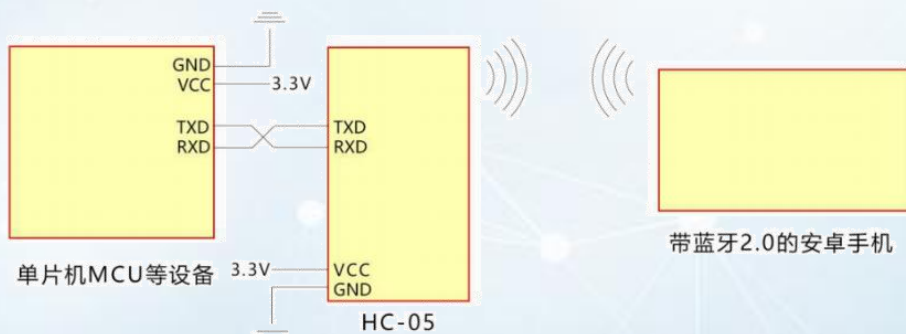


图 24 HC-05 与手机 APP 通讯

3.6 运用的物理知识

作品运用了电学、光学、力学、电磁学的物理知识。



图 25 运用的物理知识

蓝牙智能消毒机器人装置中的部件连接以及电路规划都运用了电学的知识，电池给各模块供电，使其能够正常工作运转。

蓝牙智能消毒机器人感知环境中障碍物信息的温湿度传感器运用了电磁学的知识，传感器检测到空气中的温湿度后按一定规律变换成光信号和电信号输出；而红外避障传感器运用了光学的知识，通过测量激光射出并接收到反射光的时间躲避障碍物，实现精准测距。

运动执行单元中单片机运行操控主体、电机驱使机器人前进以及无线模块实现与单片机通讯、与手机 APP 通讯也运用了电磁学的知识。

装置还运用了力学知识，行驶时会受到重力、摩擦力、阻力等，并在力的作用下停止或稳步前进。

4 作品特色

（一）人机交互功能

蓝牙智能消毒机器人结合蓝牙系统、单片机串口通讯技术与 WIFI 反馈视频流完成人机交互。人可以根据机器人图传系统传达的周围环境来制定机器人喷洒范围和行进路线并传达给机器人，机器人也可以根据人定制的范围和路径结合喷洒过程中的实际情况高效地完成喷洒。

（二）多样性的消毒模式

此机器人拥有两种消毒模式——已知地点消毒和未知地点消毒。当操作人员清楚了解机器人周围的环境时，可以让机器人根据温湿度传感器和红外避障传感器感应周围环境，按照事先规划好的喷洒范围自主行进；当操作人员不知道机器

周围环境的安全性时，则可以通过机器上的摄像头探测周围环境，再确定机器人行进路线。

（三）自主导航和避障功能

蓝牙智能消毒机器人采用蓝牙控制的导航技术和红外避障模块来识别环境，实现自主导航和避障功能。机器人可以感应周围环境并及时作出反应，当感应到近距离有人时，会主动停止喷洒消毒液体，避免喷洒到人；当感应到前方存在障碍物时，会主动避让重新规划行进路线。

（四）巡检和监测功能

为了满足农村的多样化需求，此蓝牙智能消毒机器人还拥有定时巡检功能和环境监测功能，设定巡检时间，机器人会自主避障按时完成巡检工作，巡检过程中同时打开传感器模块，温湿度传感器、空气烟雾传感器、光照传感器监测机器人行进时的周围环境，帮助人们及时发现村庄周围的异常环境。

5 应用前景

新冠疫情之下，消毒机器人的应用价值日益凸显，其被广泛应用于医院、学校、商场、办事大厅等人流密集场所，有效减少了病毒通过飞沫、气溶胶和物品表面传播的风险，在防疫一线发挥了重要作用。为了加快乡村振兴步伐，实现乡村疫情防控常态化的重要性也愈发凸显，而智能消毒机器人可在饲养场、果园、工厂、文化展馆、交易市场等公共场所开展消毒工作，避免人工消毒工作时被病毒感染情况出现的同时，有效遏制病毒造成的疫情传播。

本款基于 Arduino 的蓝牙智能消毒机器人具有自主避障、蓝牙控制、环境检测三大功能，从乡村环境复杂的公共场合对消毒机器人的真实需求出发，在考虑操作复杂程度、产品性价比的情况下，解放人的双手，完成高速率、高质量、高覆盖的消毒工作。同时本款机器人基于物联网等高新技术，顺应了智能化趋势，有着扎实的质量、技术保证，操作方便简单，能持续保持市场占有率。毫无疑问，本款基于 Arduino 的蓝牙智能消毒机器人将会赢得市场的青睐。

参考文献

- [1] 肖志强,周书民,汪志成.防疫消毒自动导航小车系统设计[J].仪表技术,2022(02):30-33.
- [2] 周加全,莫春枝,梁虹梅,覃丹红,颜梦微.智能家用消毒机器人设计[J].中国科技信息,2022(12):114-116.
- [3] 温景阳. 移动消毒防疫机器人室内定位与路径规划研究[D].湖北文理学院,2022.
- [4] 张雄,刘浩,钟宙明,覃坤雪,陈永强,李猛.消毒防疫智能巡检机器人的设计[J].电子制作,2021(01):23-24+42.
- [5] 林楠.城市社区消毒机器人[J].设计,2020,33(06):23.

附录

程序代码：

```
#include "DHT.h"

#define DHTPIN 12

#define DHTTYPE DHT11 //温湿度引脚

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

int IApin = 4;

int IBpin = 5;

int ICpin = 6;

int IDpin = 7;

int bizhang1 = 8; //左边避障传感器

int bizhang2 = 9; //右边避障传感器

int ENA = 3;

int ENB = 11;

#define LED 13

#define KEY 2

float Temp = 0,Humi = 0;//温湿度的值

int KEY_NUM = 0; //按键键值存放变量，不等于 1 说明有按键按下

unsigned int val = 0;//蓝牙接收变量

static unsigned char nOpenbizhang = 0;

void setup() {

    pinMode(IApin,OUTPUT);

    pinMode(IBpin,OUTPUT);

    pinMode(ICpin,OUTPUT);

    pinMode(IDpin,OUTPUT);

    pinMode(bizhang1,INPUT);

    pinMode(bizhang2,INPUT);

    pinMode(ENA,OUTPUT);

    pinMode(ENB,OUTPUT);

    pinMode(LED,OUTPUT); //定义 LED 为输出引脚
```

```

pinMode(KEY,INPUT_PULLUP);    //定义 KEY 为带上拉输入引脚

dht.begin();//温湿度初始化

Serial.begin(9600);  //串口初始化
}

void loop() {

    Temp = dht.readTemperature();//获取温度
    Humi = dht.readHumidity();//获取湿度
    Serial.print("Temperature: ");
    Serial.print(Temp);
    Serial.print("C  Humidity: ");
    Serial.print(Humi);
    Serial.println
    ("°% ");

    ScanKey();           //按键扫描程序，当按键按下时候，该子程序会修改 KEY_NUM 的值
    if (Serial.available()) {
        String rev = Serial.readString();
        if(rev == "go")
        {
            run();//1 是前进
        }
        else if(rev == "left")
        {
            left();//2 是向左
        }
        else if(rev == "right")
        {
            right();//3 是向右
        }
        else if(rev == "stop")
        {

```



```
    stop();//4 是停止
}
else if(rev == "open")
{
    nOpenbizhang = 1;
}
else if(rev == "close")
{
    nOpenbizhang = 0;
}
}
//Serial.print(1);
if(nOpenbizhang == 0)
{
}
else if(nOpenbizhang == 1)
{
    if((digitalRead(bizhang1) == LOW)&&(digitalRead(bizhang2) == LOW))
    {
        run();
    }
    else if((digitalRead(bizhang1) == HIGH)&&(digitalRead(bizhang2) == LOW))
    {
        right();
    }
    else if((digitalRead(bizhang1) == LOW)&&(digitalRead(bizhang2) == HIGH))
    {
        left();
    }
}
else if(KEY_NUM == 1)                //是否按键按下
```

```
{
    digitalWrite(LED,!digitalRead(LED));    //LED 的状态翻转
}
else
{
    run();
}

}

delay(1000);
}
void run()
{
    digitalWrite(IApin,HIGH);
    digitalWrite(IBpin,LOW);
    digitalWrite(ICpin,LOW);
    digitalWrite(IDpin,HIGH);
    analogWrite(ENA,255);
    analogWrite(ENB,255);
}
void right()
{
    digitalWrite(IApin,HIGH);
    digitalWrite(IBpin,LOW);
    digitalWrite(ICpin,LOW);
    digitalWrite(IDpin,LOW);
    analogWrite(ENA,255);
    analogWrite(ENB,255);
}
void left()
```

```

{
    digitalWrite(IApin,LOW);
    digitalWrite(IBpin,LOW);
    digitalWrite(ICpin,LOW);
    digitalWrite(IDpin,HIGH);
    analogWrite(ENA,255);
    analogWrite(ENB,255);
}

void stop()
{
    digitalWrite(IApin,LOW);
    digitalWrite(IBpin,LOW);
    digitalWrite(ICpin,LOW);
    digitalWrite(IDpin,LOW);
    analogWrite(ENA,255);
    analogWrite(ENB,255);
}

void ScanKey()           //按键扫描程序
{
    KEY_NUM = 0;          //清空变量
    if(digitalRead(KEY) == LOW)    //有按键按下
    {
        delay(20);        //延时去抖动
        if(digitalRead(KEY) == LOW)    //有按键按下
        {
            KEY_NUM = 1;    //变量设置为 1
            while(digitalRead(KEY) == LOW); //等待按键松手
        }
    }
}
}

```