

基于轻量化AI与边缘计算的精准农业无人机监测系統研究

赵毅, 关其炎, 于泉, 邵佳悦, 梁天, 徐博航, 王家硕

河北建筑工程学院机械工程学院, 河北 张家口

收稿日期: 2025年7月6日; 录用日期: 2025年8月8日; 发布日期: 2025年8月14日

摘要

本设计针对传统农业监测效率低、数据精准度不足等问题, 构建基于人工智能与无人机技术融合的智能农业监测解决方案。系统搭载多光谱、热成像等高精度传感器, 通过无人机低空飞行实现农田作物生长状况等关键信息的快速采集。助力农业生产降本增效, 为智慧农业发展提供技术支撑与实践参考。

关键词

人工智能, 无人机系统, 精准农业, 多光谱传感器, 农田监测

Research on Precision Agriculture UAV Monitoring System Based on Lightweight AI and Edge Computing

Yi Zhao, Qiyan Guan, Quan Yu, Jiayue Shao, Tian Liang, Bohang Xu, Jiashuo Wang

School of Mechanical Engineering, Hebei University of Architecture, Zhangjiakou Hebei

Received: Jul. 6th, 2025; accepted: Aug. 8th, 2025; published: Aug. 14th, 2025

Abstract

This design aims to solve the problems of low efficiency and insufficient data accuracy of traditional agricultural monitoring, and builds an intelligent agricultural monitoring solution based on the integration of artificial intelligence and drone technology. The system is equipped with high-precision sensors such as multispectral and thermal imaging, and can quickly collect key information such as the growth status of farmland crops through low-altitude drone flight. It helps agricultural production reduce costs and increase efficiency, and provides technical support and practical reference for

文章引用: 赵毅, 关其炎, 于泉, 邵佳悦, 梁天, 徐博航, 王家硕. 基于轻量化AI与边缘计算的精准农业无人机监测系统研究[J]. 计算机科学与应用, 2025, 15(8): 126-137. DOI: 10.12677/csa.2025.158203

the development of smart agriculture.

Keywords

Artificial Intelligence, Drone System, Precision Agriculture, Multispectral Sensor, Farmland Monitoring

Copyright © 2025 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. 研究背景及现状

随着农业现代化进程加快，传统农业生产面临资源浪费、监测效率低下、灾害响应滞后等严峻挑战[1]。现有的农业监测手段多依赖人工巡查或单一功能设备，缺乏对农田环境、作物生长状态的全域感知与智能联动，难以满足精准农业对数据实时性、准确性和决策科学性的需求。基于此，本设计通过无人机搭载多源传感器，结合人工智能与大数据分析技术[2]，实现物理农田与数字管理系统的实时交互，为农业生产提供精准化、智能化解决方案[1]。

2. 农田监测系统工作原理

2.1. 可燃气体远程报警系统

在现实农业作业中，很多农户大部分时间都不在农田中，特别是在农业生产基地，沼气池泄露、农药仓库挥发、农机燃油泄露等场景存在可燃/有害气体风险。因此，当有人在可燃气体发生泄漏的现场时，就会造成更大的安全威胁。所以本系统的扩展功能是当检测到可燃气体的浓度达到第一级警情时就通过控制系统[3]通知出门在外的农户主或管理人员，使其能提前被告知险情，以便及时得到处理。避免重大事故的发生！

本系统主要由远距离无线发送和接收两部分组成。无线发送部分安装在农田中运行的无人机监测系统中，接收部分由农户主随身携带，可燃气体远程报警系统框图如图1所示。

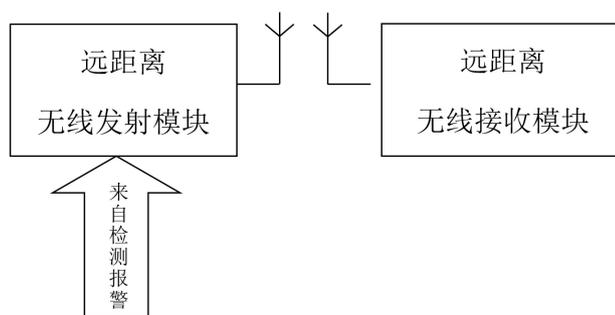


Figure 1. Block diagram of remote alarm system for combustible gases

图1. 可燃气体远程报警系统框图

2.2. 远程控制排风及沼气关闭系统部分电路

该电路由继电器 K1 和 K2、排气扇、电磁阀等组成。分别用单片机的 P2.1、P2.2 脚控制，都是低电

平有效。当泄漏气体浓度达到或超过所设置的最高浓度允许值时,通过软件将 P2.1、P2.1 置 0,此时三极管 VT、VT 均导通,继电器 K1、K2 工作,其常开触点闭合[3],排气扇工作,进行换气,电磁阀电路接通,将气体管道关闭。当气体浓度下降到某一值时,也可以通过软件将 P2.1、P2.2 置 1,此时三极管 VT、VT 均截止,继电器 K1、K2 停止工作,常开触点断开[4]。关闭排风扇和电磁阀电路,排风扇停止工作,气体管道打开。电磁继电器:接点宜采用双接点结构。驱动电路的三极管为 PNP 型 S8550 三极管和阻值为 1 K 的电阻。在继电器的两端都要并联上一个二极管一防止在断电时继电器的方向电压将三极管击穿。开关和按键要求:开关和按键应坚固、耐用并清晰地标注出其功能。探测器外壳应选用不燃烧材料和难燃烧材料(氧指数 ≥ 32)。

2.3. 农业监测 - 作物异常预警设计

2.3.1. 作物病虫害及生长异常监测预警装置

1) 图像采集

图像采集是将 CCD 摄像机采集到的农作物叶片、植株图像,经过高精度的 A/D 转换后得到的数字作物图像,作物病虫害及生长异常预警系统框架图如图 2 所示。

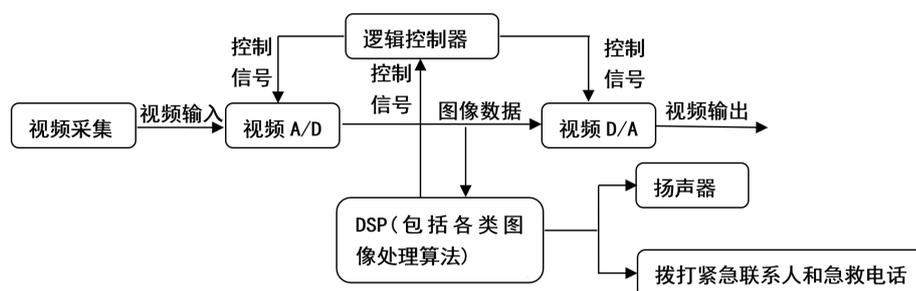


Figure 2. Framework diagram of crop pest and disease warning system and growth abnormality
图 2. 作物病虫害及生长异常预警系统框架图

2) 可编程逻辑器

可编程逻辑器包括 FLASH、SDRAM 和 CF 卡三部分[5]。FLASH 存储器具有可在系统进行带电擦写,掉电后信息不丢失的功能,用它来保存系统自启动代码以及系统程序代码。SDRAM 存储器的存取速度较高,用它来存放系统运行时的代码以及临时数据图像。CF 卡接在 EMIF 的 CE2 空间[5],用来存储原始图像数据和识别结果。

3) 图像分析和处理

从开发时间和实时性这两方面考虑,结合 PC 机和 DSP 对采集的信息进行处理,从而更高效地对采集作物的生长状况进行实时判别。PC 机使用,能减少开发时间;将计算机平台上关于视觉识别的函数库移植到 DSP 上,减少 DSP 开发的难度;利用 DSP 浮点运算强的特点,增强疲劳检测判别模块的实时性。

数字多媒体处理器 TM320DM642 是整个作物检测和异常状态识别系统的核心。它的任务是对得到的数字作物图像进行处理和识别,将处理的数据存入数据存储器,将识别的结果送到 LCD 显示器进行显示。

4) 图像显示、报警

图像显示部分采用 LCD。报警器采用扬声器输出。DSP 在接收到采集的原始图像后,将调用体征检测程序进行处理。采用模式识别的方式、由粗到精的策略检测作物的特征,由于没有红外照明的“亮点”效应,在整幅图像中直接检测特定体征难度较大,作物生长状态检测流程图如图 3 所示。

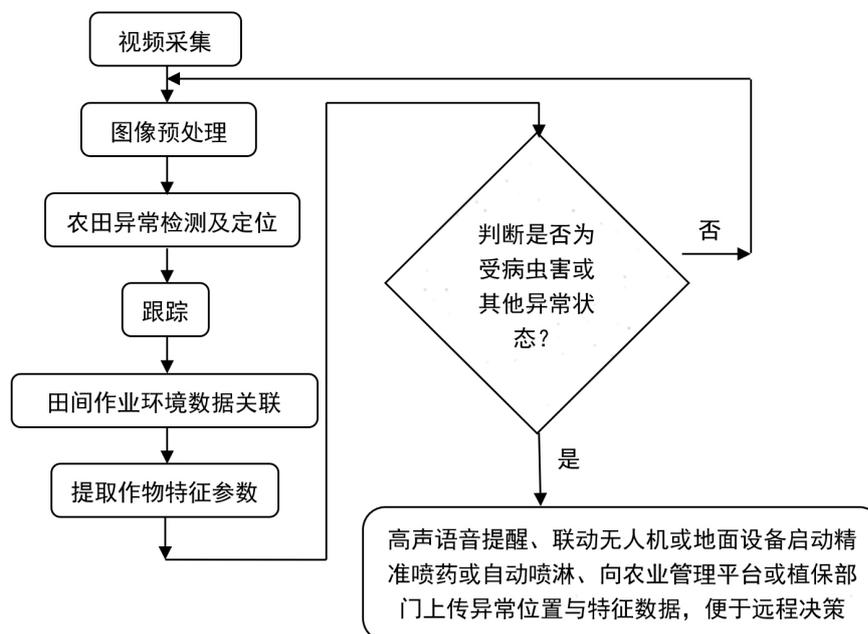


Figure 3. Flowchart for crop growth status detection
图 3. 作物生长状态检测流程图

所以在本系统中, 先检测出农作物秸秆躯干区域, 然后在两部区域中分析细微体征, 并根据作物枝叶运动的特点, 采用了基于 Kalman 滤波的叶片跟踪方法, 进一步提高了作物体征的检测速度。

最后通过处理得到的二值化图像判断果实的开合度, 根据检测出来的果实闭合时间和枝叶摆动频率等线索判断其生长状态。当连续多帧不能正常检测出果实的状态时, 系统能够自动重新初始化[6], 开始新的检测周期。

- 1) 对采集的图像进行预处理, 包括光照补偿、中值滤波等;
- 2) 对补偿后的图像通过果实表皮特征检测、去除假果、定位需求部分, 并采用 Kalman 预测跟踪;
- 3) 通过枝叶检测算法得到的枝叶的生长晃动程度, 计算枝叶状态特征, 包括叶片大小, 摆动频率和 PERCLOS 等, 并对比个参数与生长状态的相关关系;
- 4) 若判断为异常状态, 传出相应报警信号并进行相应应急操作, 并处理下一帧图像。

2.3.2. 无人机携带农药余量监测设计

1) 固定型光学液滴报警器

电源: 直流+5 V

适用于 500 ml 点滴瓶

使用方法: 将农药罐放于瓶座上, 插上喷洒管, 然后开启电源(插上电源)。报警器则开始工作。当瓶里的液体剩余大约 8%左右时, 报警器将发出报警声。

2) 称重型农药报警器

工作电压: 直流+5、-5

适用: 各种大小的药剂瓶

使用方法: 将药剂瓶放于装置下面的吊钩上, 插上电源, 本装置则开始工作。当瓶中的液体剩余小部分时则由比较电路得到报警信号报警器就开始报警[7]。显示的数值可经过可变电阻调整。每次更换不同品种的药剂瓶时显示值都不同, 需要重新确定, 农药余量监测电路图如图 4 所示。

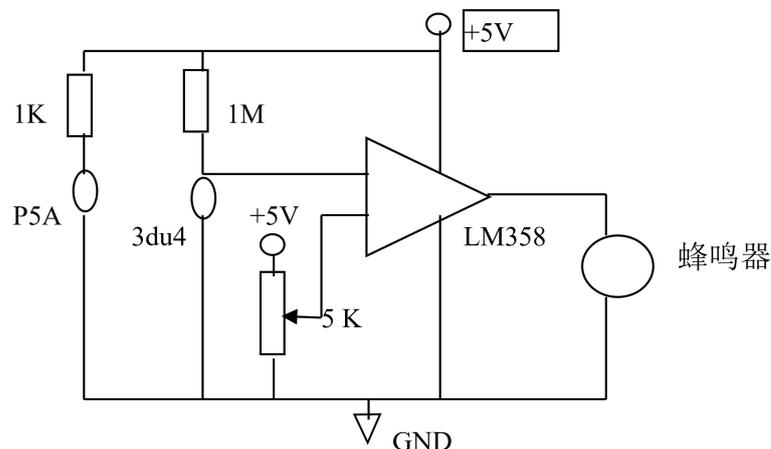


Figure 4. Circuit diagram for pesticide residue monitoring
图 4. 农药余量监测电路图

2.3.3. 农田监测外来人员入侵智能报警器

实时反映农田安全情况。当出现安全问题报警时能立即发送信息到农户移动通讯工具中，防外来人员入侵报警系统流程图如图 5 所示。

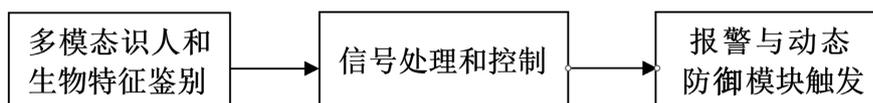


Figure 5. Flowchart of anti-intrusion alarm system for unauthorized personnel
图 5. 防外来人员入侵报警系统流程图

本模块集成于农业监测无人机系统，通过复用其原有摄像头与红外传感器，结合开源人脸识别算法，实时比对农户成员数据库。当检测到陌生面孔持续出现超过 10 秒，立即触发声光报警(85 dB 蜂鸣 + 红色呼吸灯闪烁)，同步联动农田智能栅栏关闭并推送警报至用户手机，防外来人员入侵系统电路图如图 6 所示。

采用动态检测优化技术，可区分路人短暂停留与可疑徘徊行为，误报率控制在 5% 以内，所有异常事件自动生成带时间戳的 10 秒短视频存档，作为农田安防“黑匣子”，三轴加速度传感器监测流程如图 7 所示。

该报警器能够实时监测物品的状态信息。通过三轴加速度传感器来监测前后、左右、上下共 6 个方向的运动信息，来检测物品是否被移动，并通过无线的方式及时通知物主。包括：检测器和接收报警器。

检测器：加速度传感器模块，使用三轴加速度传感器来监测前后、左右、上下共 6 个方向的运动信息；和 CPU 模块，包括 8 位 CPU 和 ZigBee 模块，和所述加速度传感器模块连接；和电源模块，用于输出 3 伏电压供电与所述 CPU 模块和所述加速度传感器模块提供电源。同时本装置锂电池供电。

接收报警器：CPU 模块用于接收检测器部分无线通信模块的信息；和声光报警模块，声光报警通知物主与所述 CPU 模块连接；和电源模块，用于输出 3 伏电压供电与所述 CPU 模块提供电源。同时本装置锂电池供电。

创新之处在于：通过定时获取三轴加速度传感器的前后、左右、上下共 6 个方向的运动信息，来检测物品移动和振动两种状态，提高了检测的准确性，同时使用系统具有低功耗性，便于电池供电，便于携带，无线的方式，不存在人身威胁，达到能够防盗报警作用。

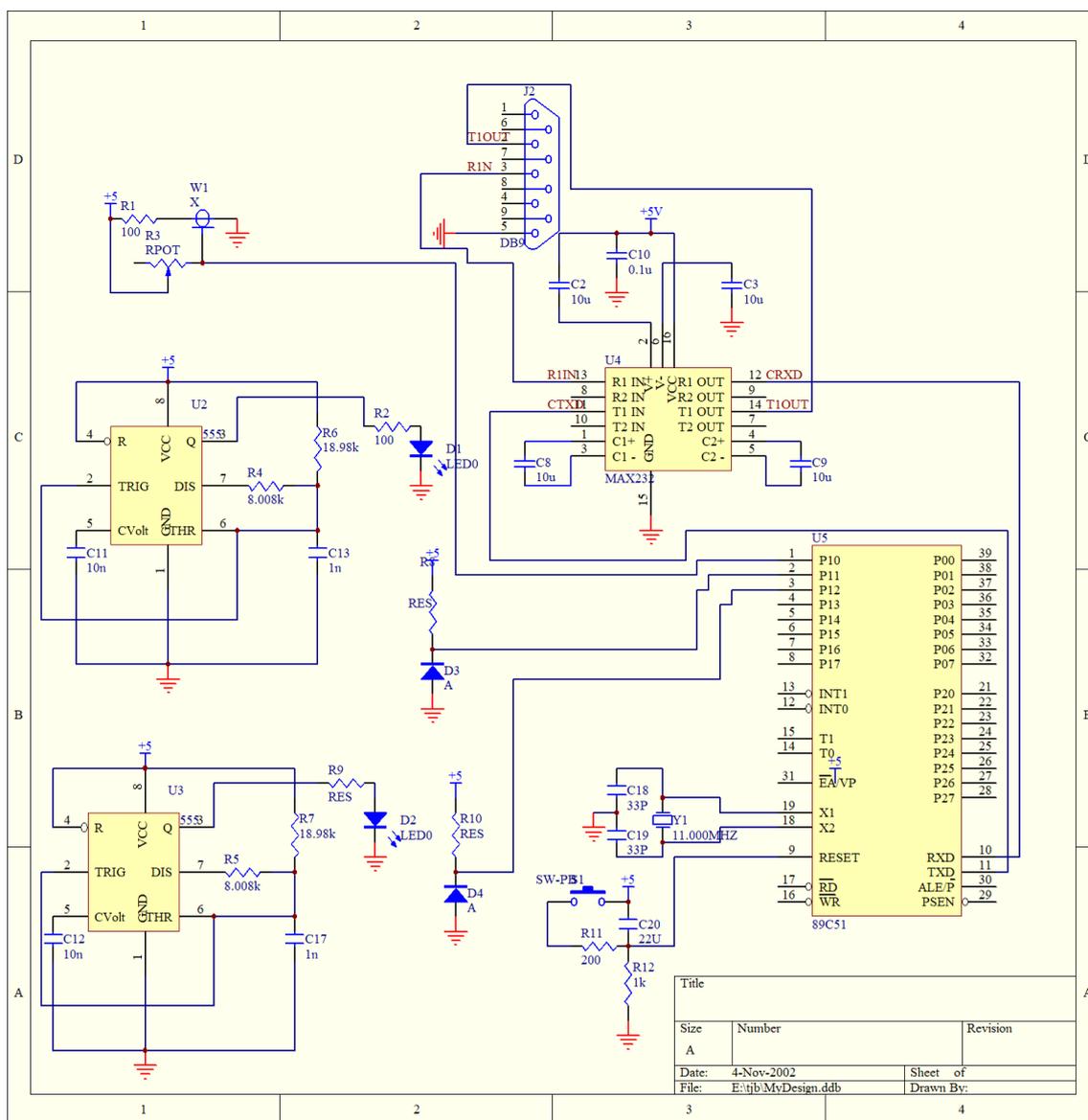


Figure 6. Circuit diagram of anti-intrusion system for unauthorized personnel
图 6. 防外来人员入侵系统电路图

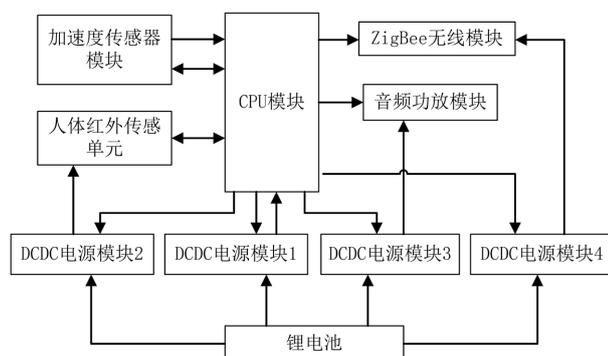


Figure 7. Monitoring process for three-axis accelerometer
图 7. 三轴加速度传感器监测流程

3. 无人机系统控制端工作原理

- 1) 将地面控制终端通过高速无线通信模块与无人机建立连接，确保数据传输的稳定性与低延迟；
- 2) 在地面控制终端安装农探低空卫士专用应用软件，完成设备初始化设置[5]。用户可在软件中设定监测任务，如选择监测区域、监测时间、监测参数(作物光谱、土壤墒情、气象数据等)，并根据需求配置无人机飞行路径与传感器工作模式；
- 3) 操作发射器按键：单击“上/下翻页键”切换监测数据页面，单击“放映键”启动当前农田区域的动态监测演示，单击“文档一/二/三/四”按键调用不同类型的历史数据或预设方案，单击“切换键”在实时监测数据与历史文档间切换，单击“关闭键”结束当前监测任务。

3.1. 农业监测系统设计

农业监测系统设计包含软件与硬件模块设计，以及软硬件协同处理流程设计两部分。

3.1.1. 软、硬件模块设计

1) 硬件模块设计

为实现遥控监测目的，本设计由 4 个硬件模块组成：无线电发射器(无人机遥控器)、无线电接收器(地面 USB 接口模块)、USB HUB (扩展传感器接入)和键盘控制器(数据转译单元)。硬件模块如图 1 所示。发射器将操作信号(如飞行路径、传感器启停)发射后，接收器接收信号并通过键盘控制器转译为计算机指令，触发数据调取或分析操作。USB HUB 与键盘控制器相连，可接入土壤传感器、气象站等外部设备扩展监测维度，农田监测硬件模块设计图如图 8 所示。

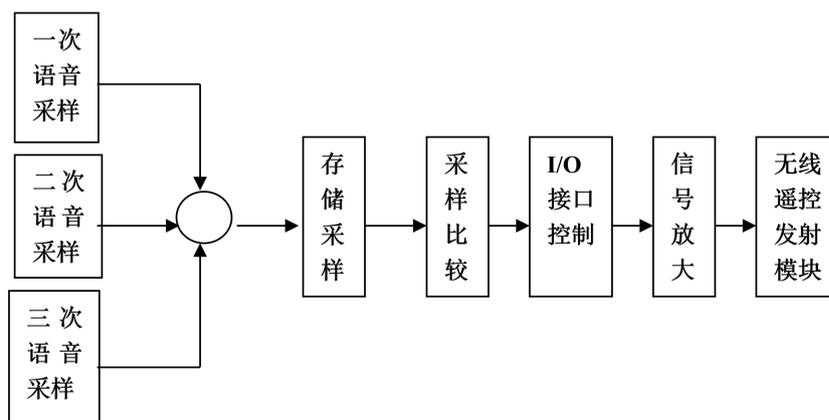


Figure 8. Design diagram of hardware modules for farmland monitoring
图 8. 农田监测硬件模块设计图

2) 软件模块设计

为实现热键调用监测文档的功能，软件由三个程序模块组成。首先需向操作系统注册监测任务对应的热键指令。当用户按下发射器热键后，应用程序通过系统消息传递机制捕获信号，判断触发的热键类型，最后执行对应操作。

3.1.2. 软、硬件处理流程设计

1) 硬件处理流程设计

无人机采集的监测信号经传感器初步处理后，由无线电发射器进行编码并发射；地面接收模块捕获信号，完成解码处理后传输至计算机。计算机系统通过内置算法识别信号类型[7]，判断该信号是否与软

件中预设的指令匹配。若匹配成功，则直接执行对应操作；若不匹配，则根据信号特征执行软件中的通用功能。

2) 软件处理流程设计

农探低空卫士软件处理流程包含三大核心阶段：监测任务配置、热键指令响应与异常处理，具体流程如图 9 所示。

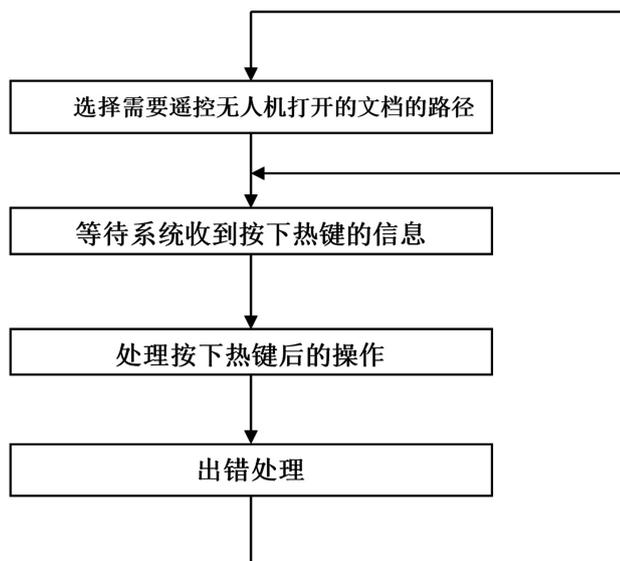


Figure 9. Flowchart of software processing
图 9. 软件处理流程图

在整个处理流程中，除需操作者在软件界面选择监测任务关联的文档路径外，其余环节均由应用程序自动执行。应用程序核心流程包括系统热键注册与指令识别执行两大模块：

系统热键注册：程序启动后，向计算机系统注册与无人机发射器对应的热键指令，建立硬件按键与软件功能的映射关系。

指令识别执行：当发射器热键按下时，程序实时捕获系统消息，解析按键对应的指令代码，自动触发关联功能，并通过可视化界面反馈执行结果。

4. 无人机硬件功能方案设计

4.1. 数据采集与传输模块设计

为实现无人机数据采集与多设备协同，本设计采用高性能集成芯片 ISP1130 作为核心控制单元，负责键盘指令解析、USB/无线信号传输及多传感器数据融合。芯片集成多通道 ADC 接口[8]，可同时接入光谱传感器、气象模块等设备，通过 SPI/I2C 总线实现数据同步采集。数据采集与传输模块建构设计如图 10 所示。

图中虚线部分为多传感器扩展接口电路，可实现无人机监测设备的灵活接入。当传感器信号通道(如光谱通道 A1~A8、气象通道 B1~B16)与主控芯片的任意引脚连接时，可触发对应的数据采集指令。通过组合通道最多可支持 $8 \times 16 = 128$ 路信号输入，满足多维度农田监测需求(如作物光谱、土壤墒情、微气候数据)。图中传感器信号通道与光耦隔离模块[9] (2 号引脚为信号输入、1 号引脚为接地端)连接，通过光电隔离增强抗干扰能力，确保数据传输稳定性。

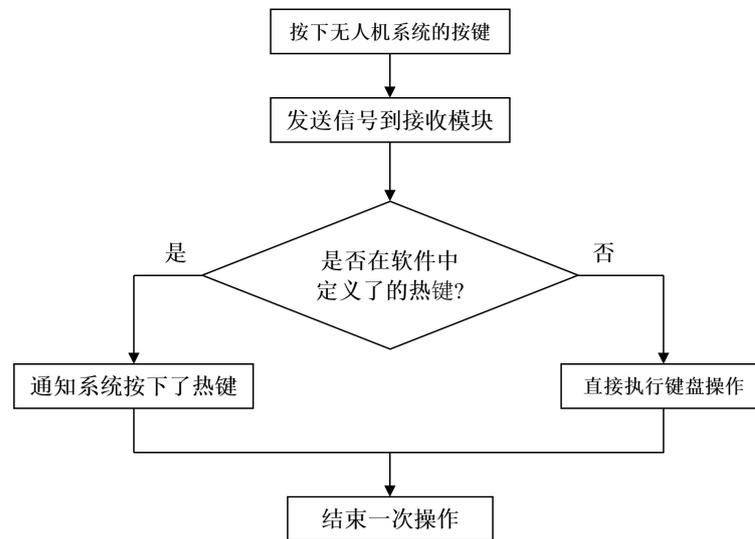


Figure 10. Design of data acquisition and transmission module construction
图 10. 数据采集与传输模块建构设计

4.2. 无线通信与信号处理模块设计

在无线信号编解码方面, 本设计采用 SC2262/SC2272 芯片组作为核心解决方案[10]。发射器通过 SC2262 芯片对监测指令(如飞行路径、传感器参数)进行编码, 通过射频模块发送至无人机; 无人机端的 SC2272 芯片完成信号解码, 驱动执行机构完成对应操作。

4.3. 无线通信与信号处理模块设计

SC2262 和 SC2272 芯片的第 1 至第 8 引脚支持三种状态(电源正极、接地、浮空), 可组合出 $3^8 = 6561$ 种地址编码方式, 通过统一引脚编码规则实现无线电指令的抗干扰传输。

在发射端, 当操作无人机遥控器按键(如 SW0~SW3 对应“数据采集”“返航”等指令), SC2262 芯片第 17 引脚输出携带地址码的编码脉冲信号, 经射频电路发射至无人机。接收端的 SC2272 芯片通过第 14 引脚[11]捕获信号, 若地址编码匹配, 其第 10~13 引脚将输出与按键对应的控制信号, 无线电接收与解码器电路图如图 11 所示。

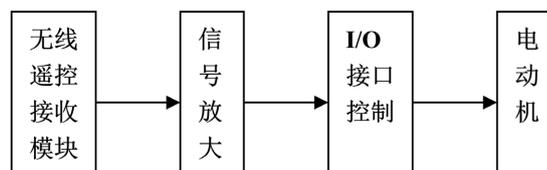


Figure 11. Circuit diagram of radio receiver and decoder
图 11. 无线电接收与解码器电路图

通过与非门电路对 SW0~SW3 进行交叉编码, 可组合出 16 种指令类型, 覆盖农田监测场景中的核心操作, 如触发多光谱成像(对应热键 F1)、生成病虫害报告(F2)、切换灌溉方案(F3)、紧急返航(F4)等, 实现指令与无人机功能的精准映射。

4.4. 无人机抗恶劣天气方案设计

该热线式风速传感器[12], 其原理是加热电阻线的能量损失正比于气体流速。该电路由主控快速自动

平衡电桥、线性电路和供桥电路三部分组成。在无风时,调节电位器 W_1 使桥路平衡,则 $V_A = V_B$,桥路输出电压 V_E 不变,加热电阻 R_w 恒定加热时,其温度 T_w 保持在设定的控制点上。风速加大时,加热电阻 R_w 的温度降低,阻值减小, V_B 发生变化,桥路不平衡, A、B 两点之间产生电位差,差压经差动放大器放大,经调整管调整,使 R_w 的电流增大,直到 R_w 的温度 T_w 回到原来的控制点上,电桥重新平衡为止。此过程,桥路输出电压经线性处理电路处理后,输出反映风速变化的电压 V_{01} 。这样,我们可以通过输出电压 V_{01} 知道风速的大小,通过与电压比较器的连接可以设置风速大过设定值时电动机工作。线性电路可采用精密的对数和反对数放大电路构成。通过线性电路我们可以控制 V_{01} 的大小,然后作为电压比较器的输入端电压和 V_{ref} 作比较。

在电压比较器中,输入端 V_i 和热线式风速传感器的输出端连接,输入电压 V_i 和参考电压 V_{REF} 比较,当 V_i 大过 V_{REF} 时,电压比较器输出高电平[13]。在图 2 中,可以通过测试风速,然后再调整 V_{REF} 的大小,通过按照人们的意愿自行设置临界风速,使风速大过临界值时,自动关闭无人机螺旋桨顶盖。电压比较器用 LM339。VCC 5V, V_{REF} 待测,电阻 3 到 5 千欧姆。

该下雨报警电路由湿敏传感器,延迟放大电路,输出报警电路及电源电路等组成。

延迟放大电路由晶体管 V1 到 V3,半导体二极管 VD,充电电容器 C1,电位器 RP1 和有关外围元器件组成。

输出报警电路由集成电路 IC,放大管 V4,电阻 R 和外围阻容元件组成[14]。

电源电路由电源开关 S,电源 GB 和滤波电容器 C3 组成。

接通电源开关 S 后,电源 GB 为整机各电路提供工作电压。

无雨时,湿敏传感器两端的电阻值几乎无穷大,晶体管 V1 截止, V2 导通,二极管 VD 和晶体管 V3 均截止,集成电路 IC 因触发端(TRI)始终为低电平而不工作,输出低电压。经过或门电路不作用。

一旦下雨,湿敏传感器两端因水液导电而由高电阻状态变为低电阻状态,使 V1 正偏导通, V2 截止,电源电压经 RP 对电容 C1 充电,当 C1 充电结束后,VD 和 V3 相继导通, V3 发射极输出的高电平使 IC 受触发而工作,从 IC 的输出端(O/P)输出电信号,该信号经 V4 放大后,再输出高电压,作用于或门电路。

调节 RP 的电阻值,可改变报警电路动作的延迟时间,改变 R3 的电阻值,可改变输出电压的大小,即可适应或门电路的门限打压,或门电路如图 12 所示。



Figure 12. OR gate circuit

图 12. 或门电路

输入端 A、B 分别与下雨预报警电路输出端和电压比较器输出端连接,当有风大过设定值或有雨时,或门电路输出端输出电压[15],再通过功率放大电路带动发动机工作。

上边电路是用来控制下排气口上电动机的电路图,主要是要实现在有信号源的情况下(出现大风或下雨),螺旋机翼顶盖能实现自动关闭,且关闭完成后电动机立即停止工作。当没有信号源输入情况下(没风没雨),顶盖就自动打开并最终停在最右端,以等待新的信号。

下面是对左边的电路原理作分析:电路中主要有 1 个具有四套触点的继电器(欧姆龙制 MY4), 1 个交流接触器, 2 个限位开关, 12 V 直流电源, 220 V 交流电源,电动机等。原来没有信号源输入时,由于耦合轴处于顶盖的最右边, S2 处于断开状态,电路处于开路,电动机不工作。当有信号时直流继电器工

作,从而使交流接触器电路接通,线圈 a、b 两端有信号源输入时,线圈 KM1 工作, g、h 两端的 KM1 闭合, MY4 中的线圈 KM 工作,四组触点同时从左边打到右边,这时 1、9; 2、10 分别接通,电动机实现正转工作,一直到达顶盖的最左边,挡下 S1,由于 e、f 两端的 KM1 处于断开,所以电路处于开路,电动机停止工作。

当信号源没有后, g、h 两端的 KM1 断开, MY4 中的 4 套触点回到左边。7、11; 8、12 分别接通,由于 S2 已处于闭合状态,电路接通,电动机反向工作。直到窗运动到最右边挡下 S2,断开电路。

4.5. MATLAB 数据拟合

在实际的工程操作中,往往会产生很多组复杂的实验数据,可能与实验室理想数据之间的关系出现偏差,很难直接计算出各变量之间的精确表达式,这时候就需要利用计算机软件去拟合一个最接近的函数关系式,这种拟合可以最大限度地反应已知数据之间的相互关系。

MATLAB 编程效率较高,语句简单,方便绘图,从而使数据处理更加高效快捷,因此选用 MATLAB 来进行数据分析和拟合。数据拟合的目的是使用一个较为简单的函数去逼近一个复杂的、未知的函数,在 MATLAB 中数据拟合的原理是最小二乘原理(即最小平方法),通过最小化误差的平方和来寻找数据的最佳函数匹配[16]。

基于 OpenCV 双目测距原理可知,理论上,摄像头投影中心到目标物体的距离 Z 与视差 D 之间的关系为:

$$Z = K/D \quad (1)$$

式中: Z ——距离(mm); D ——视差; K 为常数。

由公式可知,距离 Z 和视差 D 是成反比例关系,即在距离较近的地方,较小的距离变化会引起较大的视差变化;而在距离较远的地方,较大的距离变化仅引起较小的视差变化,由此可见,双目测距也有很大的局限性,就是距离太远的时候就会产生很大的误差,而且对光十分敏感。

通过分析,采用 MATLAB 多项式拟合的方式来获得距离和视差的函数关系。首先采用二次多项式拟合,如图二次多项式拟合结果,数据偏差大,并不能达到最佳效果;接着采用三次方多项式,结果依然不够理想,直到四次多项式时,才能达到最接近的状态,因此选用此四次多项式函数最为准确,此时数据偏差最小。

参考文献

- [1] 胡伟. 基于鸿蒙系统的农业检测器的设计探索[J]. 村委主任, 2024(14): 55-57.
- [2] 戴修纯, 邓敬颂, 刘志城. 农业检测实验室质量体系运行[J]. 农业开发与装备, 2022(9): 95-97.
- [3] 曹铂潇, 潘飞, 赵嘉智, 代瑞婕, 范全鑫, 焦浩然. 基于 IPv6 移动平台的农业检测与识别系统[J]. 中国教育网络, 2021(7): 56-58.
- [4] 孙红, 李松, 李民赞, 刘豪杰, 乔浪, 张瑶. 农业信息成像感知与深度学习应用研究进展[J]. 农业机械学报, 2020, 51(5): 1-17.
- [5] 陈韵秋. 智能农业检测系统的研究与设计[D]: [硕士学位论文]. 淮北: 淮北师范大学: 2019.
- [6] 田均成. 基于云平台的智能农业环境检测系统的研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2017.
- [7] 孙红伟. 基于 Cortex-A9 的智能农业检测与控制系统[D]: [硕士学位论文]. 济宁: 曲阜师范大学, 2016.
- [8] 何光宇. 农业环境信息检测方法与装置研究[D]: [硕士学位论文]. 扬州: 扬州大学, 2022.
- [9] 苏秀永, 杨杰, 李星华, 杨磊. 基于 UAV 遥感技术的高标准农田耕种状况监测与时空分析[J]. 江西农业学报, 2025, 37(6): 68-72
- [10] 曹冬然, 解文博, 苏绪宝, 袁帅. 基于物联网的移动农业监测车系统设计[J]. 乡村科技, 2025, 16(10): 146-149.

-
- [11] 王帅, 王晓, 梁峰, 王风云, 樊阳阳, 吐逊艾力·依明, 宋华鲁, 徐浩, 封文杰. 我国在无人机农业监测与农事作业上的应用研究进展[J]. 山东农业科学, 2025, 57(6): 171-180.
- [12] 张文渊, 吕福海. 智慧农业中基于人工智能的无人机遥感数据处理与无线通信优化研究[J]. 中国宽带, 2024, 20(12): 92-94.
- [13] 孙凤霄, 霍敏霞, 王昊, 段宇翔. 基于增强现实与物联网的农业监测系统研究[J]. 物联网技术, 2024, 14(12): 35-37.
- [14] 肖海玲. 基于嵌入式 LoRa 技术的无线远程农业监测系统设计[J]. 湖南邮电职业技术学院学报, 2024, 23(4): 22-28.
- [15] 琚丽君, 高攀. 高精度卫星遥感数据在农业监测中的优化策略研究[J]. 仪器仪表用户, 2024, 31(11): 63-65.
- [16] 郭宗辉. 基于 LoRa 通信技术的农业监测系统设计[J]. 智能物联技术, 2024, 56(5): 72-75.